



**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA FLUORESCÊNCIA DE DISSILICATO DE LÍTIO  
E ZIRCÓNIA APÓS IMERSÃO EM SOLUÇÕES PIGMENTANTES**

Trabalho submetido por  
**Filipa Martins Amante**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

**Outubro de 2019**





**INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ**

**MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA**

**AVALIAÇÃO DA FLUORESCÊNCIA DE DISSILICATO DE LÍTIO  
E ZIRCÓNIA APÓS IMERSÃO EM SOLUÇÕES PIGMENTANTES**

Trabalho submetido por  
**Filipa Martins Amante**  
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por  
**Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes**

**Outubro de 2019**



*É com um enorme sentimento de Saudade que dedico este trabalho ao meu Pai, um Homem inteligente e trabalhador, por me ter acompanhado em todas as etapas da minha vida, incluindo o meu percurso académico, mas que, com enorme mágoa minha, não conseguiu estar aqui presente para me ver terminar.*



## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar, à minha orientadora, Prof. Doutora Inês Caldeira Fernandes, por se ter demonstrado inteiramente disponível, por me ter transmitido confiança e por me ter guiado e apoiado durante a elaboração de todo este trabalho.

Ao Professor Doutor Luís Filipe Vieira Ferreira pela partilha do seu conhecimento, material e espaço para a realização deste estudo.

Ao Professor Doutor Mário Polido pela disponibilidade e acesso ao Laboratório de Biomateriais.

À Maria Beatriz Pereira Courela pela disponibilização do material necessário à minha investigação.

Ao Professor Luís Costa, do departamento de prótese dentária do Instituto Universitário Egas Moniz, pela sua grande disponibilidade e apoio nas etapas iniciais da minha investigação.

Ao Professor Luís Proença por me ter ajudado na análise dos dados.

Ao Doutor Mário Soromenho, por me ter ajudado a compreender e aprofundar os conceitos relacionados à fluorescência.

À minha mãe, um agradecimento do tamanho do MUNDO, por ser o meu pilar, por ser um grande exemplo na minha vida, por toda a paciência e apoio incondicional e porque, sem a minha mãe, nada disto seria possível.

À minha amiga, Andreia Sales, que para mim faz mais que parte da família e que esteve sempre pronta para me ajudar.

Ao meu colega de box, João Ferreira, por ter sido o meu irmão durante todo este percurso, por todas as gargalhadas partilhadas, por me ter aturado todos os dias, incluindo nos meus momentos de mau humor, mas, acima de tudo, por ter estado sempre presente, independentemente da situação.

Ao meu grupo de amigos, sendo que TODOS eles são importantes. Foram a minha família durante estes 5 anos e com eles criei memórias que irei levar comigo no coração. Sem dúvida que sem eles não teria sido a mesma coisa.

Ao Instituto Universitário Egas Moniz, por ter sido a minha casa e por me ter permitido ter uma formação de excelência, preparando-me para a próxima etapa da minha vida.



## RESUMO

**Objetivo:** O objetivo deste estudo consistiu na avaliação e comparação *in vitro* da fluorescência, de espécimes de Dissilicato de lítio e Zircónia, após a imersão em soluções pigmentantes.

**Materiais e Métodos:** 8 espécimes de Dissilicato de lítio e 8 de Zircónia, com formato quadrangular, de dimensões de 7 mm por 7 mm e 2 mm de espessura, foram imersas em soluções pigmentantes, sendo estas: saliva artificial, café, vinho tinto e *black vodka*. Os espécimes foram imersos, nas mesmas condições, durante 2 horas, num período de 15 dias. Dois dos espécimes não foram submetidos a qualquer solução. Os gráficos da intensidade de fluorescência, para cada espécime, foram obtidos a partir de um espectrofluorímetro, sendo os dados posteriormente tratados através de uma análise qualitativa e interpretativa.

**Resultados:** A exposição dos espécimes de cerâmica aos fluídos pigmentantes diminuiu, de forma significativa, o valor da intensidade de fluorescência inicialmente registado. A alteração de fluorescência mais acentuada foi detetada na cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália), sob a ação do café. No caso da cerâmica IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein), o vinho tinto foi o que provocou mais alterações. Em ambas as cerâmicas, a saliva artificial foi a solução que menos influenciou os valores da intensidade de fluorescência.

**Conclusões:** As duas cerâmicas sofreram diferentes alterações de fluorescência, perante as diferentes soluções pigmentantes, sendo esta alteração dependente da composição, do acabamento e do tipo de agente pigmentante.

**Palavras-Chave:** Cerâmica, Pigmentação, Propriedades óticas, Fluorescência



## **ABSTRACT**

**Objective:** The aim of this *in vitro* study was to evaluate and compare the fluorescence of Lithium disilicate and Zirconia specimens, after immersion in staining solutions.

**Materials and Methods:** 8 quadrangular Lithium disilicate specimens and 8 quadrangular Zirconia specimens, with dimensions of 7 mm by 7 mm, and 2 mm in thickness, were immersed in pigment solutions, being these: artificial saliva, coffee, red wine and black vodka. The specimens were immersed, under the same conditions, for 2 hours over a period of 15 days. Two of the specimens were not subjected to any solution. The fluorescence intensity graphs, for each sample, were obtained from a spectrofluorimeter and the data was subsequently processed through a qualitative and interpretative analysis.

**Results:** The exposure of ceramic specimens to pigment fluids significantly decreased the initially recorded fluorescence intensity value. The most pronounced fluorescence change was detected in CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) ceramic, under the action of coffee. In the case of IPS e.max CAD HT A3 / B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) ceramic, the red wine caused the most changes. In both ceramics, artificial saliva was the solution that least influenced the fluorescence intensity values.

**Conclusions:** The two ceramics suffered different fluorescence alterations, considering the different pigmenting solutions, being this alterations dependent on the composition, finishing and type of pigmenting agent.

**Keywords:** Ceramics, Pigmentation, Optical Properties, Fluorescence



# ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras .....	7
Índice de Tabelas .....	9
Índice de Gráficos.....	11
Abreviaturas e Siglas .....	13
I. INTRODUÇÃO .....	15
II. REVISÃO DA LITERATURA .....	17
1. Estética e Biomimetismo .....	17
2. O Dente Natural.....	20
2.1 Esmalte .....	20
2.2 Dentina .....	21
3. Propriedades Óticas .....	23
3.1 Cor .....	23
3.2 Propriedades Óticas Primárias.....	25
3.2.1-Matiz .....	25
3.2.2 – Valor .....	25
3.2.3 – Croma .....	26
3.3 Luz.....	26
3.3.1 – Espectro Eletromagnético.....	26
3.3.2 – Reflexão.....	27
3.3.3 – Refração.....	28
3.4 Propriedades Óticas Secundárias.....	28
3.4.1 – Translucidez.....	28
3.4.2 – Opalescência.....	29
3.4.3 – Metamerismo .....	29
3.4.3 – Fluorescência .....	29
4. Alterações Cromáticas.....	31

4.1 Pigmentação Dentária.....	31
4.2 Pigmentação Cerâmica .....	32
5. Sistemas Cerâmicos Dentários .....	32
5.1 Cerâmicas Vítreas.....	34
5.1.1 Cerâmicas Feldspáticas.....	34
5.1.2 Cerâmicas Sintéticas.....	34
5.1.2.1 Dissilicato de Lítio .....	35
5.1.3 Cerâmicas Infiltradas por vidro .....	36
5.2 Cerâmicas Policristalinas.....	37
5.2.1 Zircónia.....	37
5.3 Cerâmicas Híbridas.....	39
III. OBJETIVOS E HIPÓTESES DE ESTUDO .....	41
IV. MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
1. Materiais utilizados .....	43
1.1 Código dos espécimes .....	45
2. Métodos .....	46
2.1 Luminescência induzida por laser .....	48
V. RESULTADOS .....	51
VI. DISCUSSÃO.....	71
VII. CONCLUSÕES .....	75
VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
IX. ANEXOS	

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> - Estética e Biomimetismo: a) Fotografia inicial de um caso clínico, evidenciando desarmonia na posição e tamanho, com desgaste e erosão dentária; b) Resultado final, após reabilitação com facetas cerâmicas; c) Facetas de cerâmica utilizadas após a sinterização e glaze (adaptado de Ojeda, Gutiérrez & Marusic, 2017). .....	19
<b>Figura 2</b> - Microscopia eletrônica de varredura: a) camada de esmalte que recobre a dentina; (b) complexa distribuição dos prismas de esmalte; c) e d) perspectivas da relação entre os prismas e espaço interprismático, sendo que em c) é longitudinalmente e em d) trata-se de uma vista transversal, onde é possível observar o espaço interprismático (adaptado de Nanci, 2018).....	21
<b>Figura 3</b> - Dentina e polpa: a) odontoblastos que revestem a polpa; b) imagem de maior ampliação que mostra os prolongamentos dos odontoblastos que se estendem até à dentina (adaptado de Nanci, 2018).....	22
<b>Figura 4</b> - Sistema de cores Munsell: o eixo vertical acromático corresponde ao valor. O matiz é ilustrado pelas diferentes famílias de cores organizadas num círculo de 360 graus. O croma é representado pela distância entre eixo do valor e do matiz (adaptado de Ritter et al., 2019).....	25
<b>Figura 5</b> - Espectro eletromagnético (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012).....	27
<b>Figura 6</b> - Imagem representativa do fenômeno de reflexão: a) reflexão especular; b) reflexão difusa (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012). ....	27
<b>Figura 7</b> - Imagem representativa do fenômeno de refração (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012).....	28
<b>Figura 8</b> - Esquema representativo do sistema cerâmico dentário (adaptado de Gracis et al., 2015).....	33
<b>Figura 9</b> - Materiais utilizados: a) IPS e.max CAD HT A3/ B40, Ivoclar Vivadent®; b) ICE Zirkon Transluzent 95H12, Zirkozahn®; c) Micrótomato de tecidos duros Accutom -50; d) Seringa graduada; e) Disco diamantado NTI-Kahla GmbH; f) Pinça ASA DENTAL 0601-5. ....	44
<b>Figura 10</b> - Soluções utilizadas: a) Água destilada “Auchan”; b) Saliva artificial (pH= 6,3-6,4); c) Vinho tinto “Galodoro”; d) <i>Black Vodka Eristoff Black</i> ; e) Café <i>Sical</i> “Clássico”.....	45

<b>Figura 11</b> - Espécimes armazenados nas respectivas placas de petri: a) Espécimes da cerâmica de zircônia armazenados nas placas de petri correspondentes à saliva, café, vinho tinto e <i>black vodka</i> ; b) Espécimes da cerâmica de dissilicato de lítio armazenados nas placas de petri correspondentes à saliva, café, vinho tinto e <i>black vodka</i> .....	46
<b>Figura 12</b> - Imersão dos espécimes nas respectivas bebidas pigmentantes: saliva artificial pH= 6,3-6,4 (Fusayama et al., 1963), Café <i>Sical</i> “Clássico”, Vinho tinto “Galodoro” Ano 2016, Black Vodka Eristoff Black.....	47
<b>Figura 13</b> - Lavagem dos espécimes com 50 ml de água destilada “Auchan”.....	47
<b>Figura 14</b> - Espectrofluorímetro do Instituto Superior Técnico: a) Espectrofluorímetro utilizado na avaliação dos Espectros de Fluorescência, onde se observa a fonte de luz e a célula para a leitura dos espécimes; b) Sensor óptico ICCD Andor modelo i-Star 720 associado à Unidade de atraso.....	48
<b>Figura 15</b> - Esquema representativo do sistema de Fluorescência induzida por laser (adaptado de Ferreira, 1999).....	49
<b>Figura 16</b> - Espécime DO.....	51
<b>Figura 17</b> - Espécime ZO.....	52
<b>Figura 18</b> - Espécime DS.....	54
<b>Figura 19</b> - Espécime DC.....	55
<b>Figura 20</b> - Espécime DV.....	57
<b>Figura 21</b> - Espécime DB.....	58
<b>Figura 22</b> - Imagem representativa das alterações de fluorescência na cerâmica IPS e.max CAD HT A3/B40, tendo em conta todas as soluções pigmentantes: da esquerda para a direita, iniciando na que provoca menos alterações (DS), finalizando na que provoca mais alterações (DV).....	60
<b>Figura 23</b> - Espécime ZS.....	61
<b>Figura 24</b> - Espécime ZC.....	62
<b>Figura 25</b> - Espécime ZV.....	64
<b>Figura 26</b> - Espécime ZB.....	65
<b>Figura 27</b> - Imagem representativa das alterações de fluorescência na cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta todas as soluções pigmentantes: da esquerda para a direita, iniciando na que provoca menos alterações (ZS), finalizando na que provoca mais alterações (ZC). ....	67

## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Código dos espécimes segundo o tipo de cerâmica, na ausência de solução pigmentante. ....	45
<b>Tabela 2</b> - Código dos espécimes segundo o tipo de cerâmica e considerando o meio de imersão. ....	46
<b>Tabela 3</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DO - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - na ausência de imersão em soluções pigmentantes. ....	52
<b>Tabela 4</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZO – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - na ausência de imersão em soluções pigmentantes. ....	53
<b>Tabela 5</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DS - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em saliva artificial. ....	54
<b>Tabela 6</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DC - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em café <i>Sical</i> “Clássico”. ....	56
<b>Tabela 7</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DV - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em Vinho tinto “Galodoro”. ....	58
<b>Tabela 8</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DB - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em <i>Black Vodka Eristoff Black</i> . ....	59
<b>Tabela 9</b> - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes na cerâmica IPS e.max CAD HT A3/ B40, tendo em conta o espécime intacto DO. ....	60
<b>Tabela 10</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZS – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em saliva artificial. ....	62
<b>Tabela 11</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZC – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em café <i>Sical</i> “Clássico”. ....	63
<b>Tabela 12</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZV – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em Vinho tinto “Galodoro”. ....	65
<b>Tabela 13</b> - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZB – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em <i>Black Vodka Eristoff Black</i> . ....	66
<b>Tabela 14</b> - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes na cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta o espécime intacto ZO. ....	67

***Tabela 15*** - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes nas duas cerâmicas estudadas - IPS e.max CAD HT A3/ B40 e CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - tendo em conta os espécimes intactos DO e ZO..... 68

## Índice de Gráficos

<b>Gráfico 1</b> - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 na ausência de solução pigmentante. ....	52
<b>Gráfico 2</b> - Espectro de fluorescência de CAD/ CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 na ausência de solução pigmentante.....	53
<b>Gráfico 3</b> - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em saliva artificial. ....	54
<b>Gráfico 4</b> - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em café <i>Sical</i> “Clássico”. ....	56
<b>Gráfico 5</b> - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em Vinho tinto “Galodoro”. ....	57
<b>Gráfico 6</b> - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em <i>Black Vodka Eristoff Black</i> .....	59
<b>Gráfico 7</b> - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em saliva artificial.....	61
<b>Gráfico 8</b> - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em café <i>Sical</i> “Clássico”. ....	63
<b>Gráfico 9</b> - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em Vinho tinto “Galodoro”.....	64
<b>Gráfico 10</b> - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em <i>Black Vodka Eristoff Black</i> .....	66
<b>Gráfico 11</b> - Comparação dos valores de IPS e.max CAD HT A3/B40, tendo em conta o espécime de controlo e todos os meios de imersão. ....	68
<b>Gráfico 12</b> - Comparação dos valores de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta o espécime de controlo e todos os meios de imersão.....	69



## Abreviaturas e Siglas

CAD/CAM	<i>Computer-aided design/ Computer-aided manufacturing</i>
CIE	<i>Comission internationale de l'Eclair</i>
DB	Espécime de dissilicato de lítio sujeito a <i>black vodka</i>
DC	Espécime de dissilicato de lítio sujeito a café <i>Sical</i>
DO	Espécime de dissilicato de lítio não sujeito a bebida pigmentante
DS	Espécime de dissilicato de lítio sujeito a saliva artificial
DV	Espécime de dissilicato de lítio sujeito a vinho tinto
Hz	Hertz
ICCD	<i>Intensified charge-coupled device</i>
MPa	Megapascal
µm	Micrómetros
LIL	Luminescência induzida por laser
ml	Mililitros
mm	Milímetros
nm	Nanómetros
PSZ	Zircónia parcialmente estabilizada
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silício
TZP	Zircónia tetragonal policristalina
UV	Ultravioleta
u.a.	Unidades arbitrárias
Y-TZP	Zircónia policristalina tetragonal estabilizada com ítrio
ZB	Espécime de zircónia sujeito a <i>black vodka</i>
ZC	Espécime de zircónia sujeito a café <i>Sical</i>
ZO	Espécime de zircónia não sujeito a bebida pigmentante

ZrO <sub>2</sub>	Dióxido de Zircónia
ZS	Espécime de zircónia sujeito a saliva artificial
ZTA	Alumina reforçada com zircónia
ZTC	Compósitos temperados com zircónia
ZV	Espécime de zircónia sujeito a vinho tinto

## **I. INTRODUÇÃO**

O grande desafio da Medicina Dentária, ao longo das últimas décadas, tem sido repor as peças dentárias perdidas à semelhança dos dentes naturais hígidos. Hoje em dia, com a evolução constante das técnicas restauradoras e dos seus materiais é possível a recuperação da função, assim como da estética (Francci et al., 2012).

A combinação da saúde oral e da função oral, juntamente com as propriedades óticas, refletem o êxito do tratamento. É também necessário ter em consideração os requisitos dos pacientes que, cada vez mais, se refletem na obtenção de um sorriso harmonioso visando o bom convívio em sociedade e conseqüente ascensão profissional (Guerra, Neves & Almeida, 2007).

O aumento das exigências dos pacientes por procedimentos estéticos tem sido cada vez maior. Partindo desse princípio, todas as restaurações, diretas ou indiretas, devem ser feitas de modo criterioso e responsável para que o resultado seja uma reabilitação duradoura, funcional e com aspeto natural (Lima, Figueiredo & Andrade, 2013).

A estética da reabilitação dentária depende do material escolhido para reproduzir com precisão a aparência de um dente verdadeiro. No entanto, a seleção é multifatorial e dependente da subjetividade do profissional, do paciente e do meio ambiente, o que dificulta a escolha do material adequado (Chu, Devigus & Mielezsko, 2004).

Pela sua semelhança ao dente natural, a cerâmica é considerada a melhor alternativa de tratamento. Além do comportamento ótico notável, esta apresenta propriedades de biocompatibilidade que lhe permitem a adaptação aos tecidos orais, promovendo a integridade biomecânica, estrutural e uma estética dentária de excelência (O'Brien, 2002).

As propriedades óticas são o principal fator responsável pela aparência das estruturas dentárias, tendo origem na interação da luz com o esmalte, dentina e polpa. No entanto, a capacidade de mimetismo da dentição natural já é uma realidade. Isto é, a fluorescência, opalescência e translucidez, presentes nos tecidos dentários, são características que encontramos igualmente nos sistemas cerâmicos (Guerra et al., 2007; Montenegro, Silva & Firoozmand, 2016)

A fluorescência caracteriza-se pela propriedade em que um objeto emite luz num comprimento de onda maior com o que foi absorvido. O dente natural emite fluorescência azul sob a ação da luz ultravioleta. Um material restaurador fluorescente, para além de minimizar o efeito metamérico, adiciona vitalidade à restauração, tornando-a mais branca e brilhante à luz do dia (Meller & Klein, 2015).

Sob a exposição a determinados tipos de iluminação os materiais restauradores não fluorescentes surgem como áreas ou pontos negros no sorriso, causando embaraço não só aos pacientes, mas também ao profissional de saúde.

A obtenção clínica da fluorescência torna-se então relevante, uma vez que restaurações verdadeiramente estéticas devem reproduzir a cor dos dentes naturais independentemente das condições de iluminação. Desta forma, durante o planeamento de restaurações estéticas, os clínicos devem ter em consideração a reprodução não só da forma e da cor, mas também das características intrínsecas dos dentes naturais, nunca esquecendo as expectativas, o estilo de vida e a profissão dos seus pacientes.

Uma vez que os dentes naturais sofrem alterações estruturais com a exposição a certos alimentos e bebidas pigmentantes e/ou ácidas, o presente estudo pretende avaliar a existência dessas mesmas alterações ao nível da cerâmica, através da análise dos valores da fluorescência.

## II. REVISÃO DA LITERATURA

### 1. Estética e Biomimetismo

O termo “estética”, derivado da palavra grega "Aesthesis", foi criado em 1750 para designar a ciência da beleza em contraste com a ciência da lógica, dando origem à verdade (Bolla, Gantha, & Sheik, 2014).

Foi a partir do século XVIII que a Medicina Dentária foi reconhecida como uma área separada, estabelecendo-se assim os seus diversos ramos. O líder que promoveu o movimento da sua modernização foi Pierre Fauchard (1678-1761), o Pai da Medicina Dentária Moderna. Ele, juntamente com vários colegas, defendeu diversas práticas estéticas, como por exemplo o uso de coroas douradas como “facetas” de esmalte (Bolla et al., 2014).

À medida que a medicina dentária evoluía como profissão, já era possível encontrar, na literatura, referências sobre a importância da estética. Um dos primeiros conceitos criados consistia na correspondência entre a forma do dente e a cor, em harmonia com a idade e o género (Bolla et al., 2014).

Os primeiros autores que referenciaram a estética dentária estavam em concordância num ponto significativo: era exigida a realização de um princípio básico na aparência humana - a individualidade. Os fundamentos estéticos são a beleza, a naturalidade e a individualidade e é importante idealizar ou harmonizar o artificial com o natural. A Estética é a ciência com regras estabelecidas e uma arte que requer habilidade e gosto (Bolla et al., 2014).

Segundo Lombardi (1973), o ideal é a “*Unidade com variedade*”. Unidade significa "unicidade". É a organização das partes para dar ao indivíduo o efeito total de um "todo". Temos a unidade estática e a unidade dinâmica. A unidade com a variedade, isto é, a unidade dinâmica, é necessária para tornar uma reabilitação natural porque, embora os elementos devam ser unidos como um todo, devem ser unidos de forma interessante.

Frush e Fischer indicaram que o género, personalidade e idade poderiam ser usados como diretrizes para a seleção, disposição e caracterização de dentes, de forma a "realçar a aparência natural do indivíduo". A maioria concorda que a previsão de uma

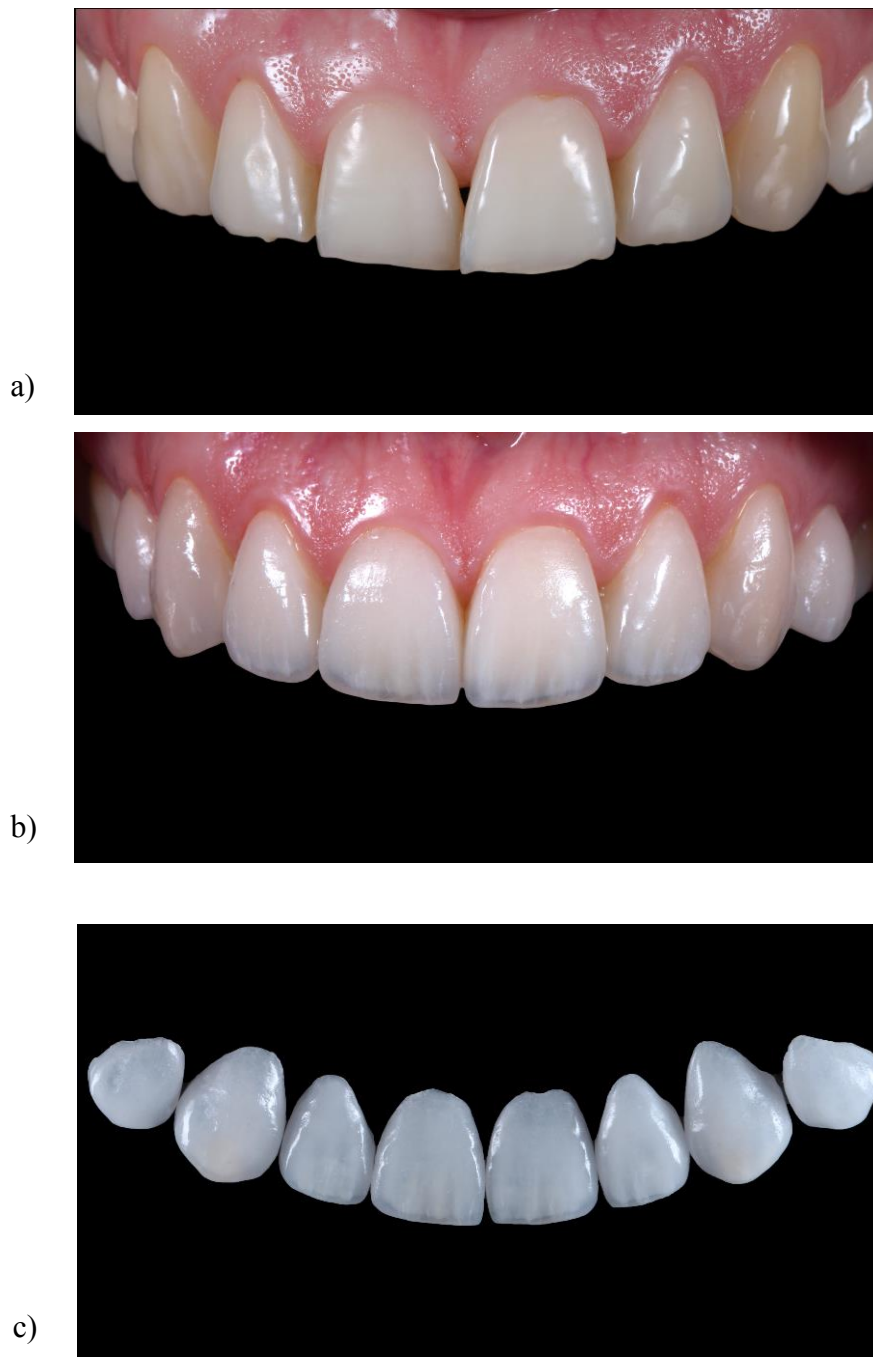
personalidade é mais subjetiva. No entanto, um estudo evidenciou que diferentes arranjos de dentes projetam diferentes traços de personalidade (Bolla et al., 2014).

Com o avanço da estética, os princípios da percepção visual foram associados aos princípios artísticos. A suposição era de que a reabilitação é uma obra de arte e, portanto, deveria ser mantida nos mesmos padrões de visualização que as pinturas ou esculturas artísticas. Toda a composição dentária deve ser complementar ao rosto e a si mesma, evitando-se a construção de um sorriso mecânico ou com falta de exclusividade. Proporção, equilíbrio, dominância e cor são alguns dos princípios que devem ser empregues (Bolla et al., 2014).

Com a introdução de todos estes conceitos, foi também possível uma evolução gradual dos materiais dentários. As cerâmicas são conhecidas pela sua excelência em reproduzir artificialmente os dentes naturais (figura 1). No século XVIII foi aplicada, pela primeira vez, como dente artificial nas próteses totais. A partir do século XX passou a ser utilizada para a confecção de restaurações metalocerâmicas e, mais tarde, surgiram as restaurações livres de metal (Gomes, Assunção & Santos, 2008).

A rápida evolução científica das cerâmicas tem como intuito melhorar as propriedades físicas e mecânicas, de forma a satisfazer as necessidades estéticas que são cada vez mais exigidas pela sociedade moderna. Neste contexto, é necessário conhecer cada sistema cerâmico disponível, desde as suas principais características até às suas limitações, para saber aplicar de forma correta em cada situação clínica específica. (Gomes et al., 2008; Willard & Chu, 2018).

O campo da estética dentária tem uma importância crítica para o bem-estar dos pacientes. A satisfação pessoal com o sorriso transmite a sensação de bem-estar físico e emocional. Como tal, a perda de dentes, com consequente efeito na aparência facial, está associada a trauma psicológico. É desta forma que esta arte tenta suavizar as marcas do tempo impostas no rosto e permite que as pessoas encarem o seu mundo com novo entusiasmo e confiança (Bolla et al., 2014).



**Figura 1** - Estética e Biomimetismo: a) Fotografia inicial de um caso clínico, evidenciando desarmonia na posição e tamanho, com desgaste e erosão dentária; b) Resultado final, após reabilitação com facetas cerâmicas; c) Facetas de cerâmica utilizadas após a sinterização e glaze (adaptado de Ojeda, Gutiérrez & Marusic, 2017).

## **2. O Dente Natural**

Durante muito tempo prevaleceu a ideia de que os dentes serviam apenas para fins estéticos. No entanto, nos últimos anos, o papel da preservação dos dentes saudáveis, com impacto na saúde oral e bem-estar geral, tornou-se mais evidente (Balic, 2018).

Os dentes constituem aproximadamente 20% da área da superfície da boca. A mastigação é a função mais comumente associada à dentição humana, mas estes são também essenciais para a fala adequada (Nanci, 2018).

O dente propriamente dito apresenta uma complexa composição de matrizes mineralizadas e tecidos moles, precisamente modelados entre si. É constituído pelo esmalte duro, acelular e inerte, formado por células epiteliais. O esmalte é suportado pela dentina, que por sua vez, se classifica como um tecido conjuntivo duro, menos mineralizado, mais resiliente e vital, formado e sustentado pela polpa dentária, que é um tecido conjuntivo mole (Nanci, 2018).

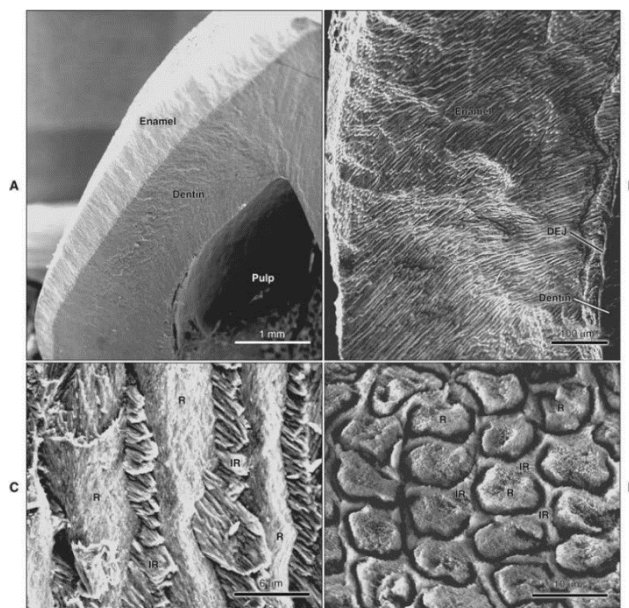
### **2.1 Esmalte**

O esmalte traduz-se num manto epitelial protetor que forma a coroa dos dentes. É translúcido e a sua cor varia desde o amarelo claro, ao branco acinzentado. Também varia em espessura, atingindo um valor máximo de aproximadamente 2,5 mm nas superfícies de trabalho. Esta variação influencia a cor do esmalte, uma vez que a dentina subjacente, de cor amarelada, é visível através das regiões mais finas (Nanci, 2018).

O seu alto grau de mineralização e a sua complexa organização permitem que o esmalte resista a grandes forças mastigatórias e a ataques contínuos por ácidos alimentares e fontes bacterianas. Este tecido, quando totalmente formado, consiste em aproximadamente 96% de minerais e 4% de material orgânico e água. O conteúdo inorgânico do esmalte é o fosfato de cálcio cristalino (hidroxiapatite) substituído por íons carbonato, que também são encontrados no osso, cartilagem calcificada, dentina e cimento (Nanci, 2018).

O esmalte maduro tem a maior parte de sua espessura constituída por unidades estruturais que têm o nome de prismas (figura 2). As zonas periféricas desses primas denominam-se regiões interprismáticas e completam a estrutura cristalina do esmalte. Os

crístais de hidroxiapatite, que constituem os primas de esmalte, são extremamente longos, medindo de 60 a 70 nm de largura e 25 a 30 nm de espessura. O fosfato de cálcio é o responsável pelo contorno hexagonal dos crístais, que é claramente visível no perfil da secção transversal no esmalte em maturação. No entanto, os crístais completamente maduros não apresentam a forma perfeitamente hexagonal, mas sim um contorno irregular, originado pela pressão entre primas, durante a fase final de seu crescimento (Nanci, 2018).



**Figura 2** - Microscopia eletrónica de varredura: a) camada de esmalte que recobre a dentina; b) complexa distribuição dos primas de esmalte; c) e d) perspetivas da relação entre os primas e espaço interprismático, sendo que em c) é longitudinalmente e em d) trata-se de uma vista transversal, onde é possível observar o espaço interprismático (adaptado de Nanci, 2018).

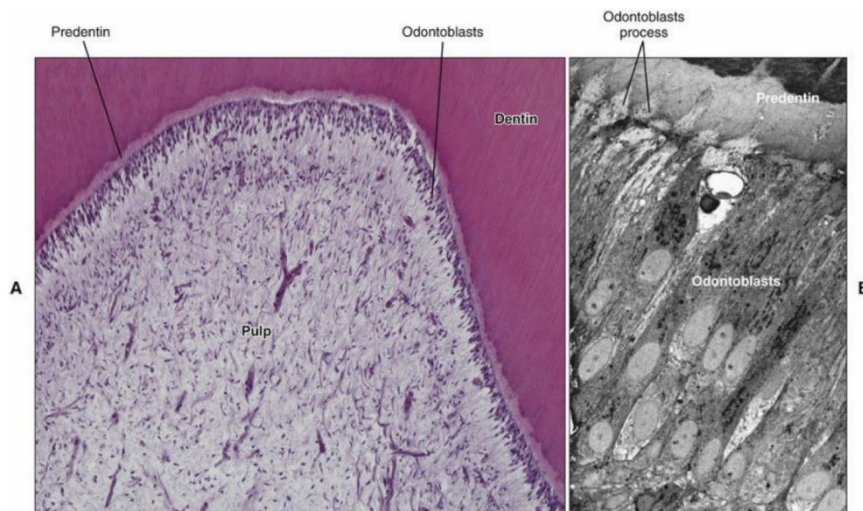
## 2.2 Dentina

Devido ao seu conteúdo mineral excepcionalmente alto, o esmalte apresenta-se como um tecido frágil que não resiste às forças da mastigação sem fratura, a menos que tenha o suporte de um tecido mais resistente, como a dentina (Nanci, 2018).

A dentina é a porção de tecido duro presente no complexo pulpo-dentinário e que forma a maior parte do dente. É um tecido avascular, mineralizado, branco-amarelado e elástico, que envolve a câmara pulpar (figura 3) (Nanci, 2018).

No seu estado maduro, a dentina é composta por aproximadamente 70% de material inorgânico, 20% de material orgânico e 10% de água. O componente inorgânico da dentina é a hidroxiapatite, mas na forma de pequenas placas. A fase orgânica é cerca de 90% de colagénio, com inclusões fracionais de várias proteínas da matriz não colagénia e lípidos (Nanci, 2018).

Um dos aspetos característicos deste tecido dentário é a sua permeabilidade, proveniente dos túbulos estreitamente compactados que atravessam toda a sua espessura e que contêm as extensões citoplasmáticas dos odontoblastos. Estes, por sua vez, estão alinhados ao longo da borda interna da dentina, contra uma camada de pré-dentina, onde formam o limite periférico da polpa dentária. A dentina é um tecido sensível, com capacidade reparadora, uma vez que os odontoblastos podem ser estimulados a depositar mais dentina, se a ocasião assim o exigir (Nanci, 2018).



**Figura 3** - Dentina e polpa: a) odontoblastos que revestem a polpa; b) imagem de maior ampliação que mostra os prolongamentos dos odontoblastos que se estendem até à dentina (adaptado de Nanci, 2018).

### **3. Propriedades Óticas**

#### **3.1 Cor**

A cor é um fenômeno da luz e uma percepção visual que permite a diferenciação de objetos. Os pré-requisitos primários para percepção da cor incluem três elementos variáveis: um objeto, uma fonte de luz e um observador. Quando um destes fatores se altera, a percepção da cor varia (Agrawal & Kapoor, 2013).

Sem luz, a cor não existe. A fonte de luz necessária provém da forma visível de radiação eletromagnética, entre os 400 e 700 nanômetros. Quando esta atinge um objeto, como por exemplo, o dente, uma porção dessa energia é absorvida, transmitida ou refletida. A percepção da cor depende da habilidade subjetiva do nosso sistema visual em combinar e interpretar as interações físicas entre a luz e o objeto. A quantidade de luz que chega ao olho do observador estimula uma sensação subjetiva, a qual experienciamos como cor. Por outras palavras, a percepção da cor vem principalmente da interpretação do cérebro, não sendo propriamente uma propriedade inerente do objeto. Por esta razão, pode ser definida como uma sensação físico-psíquica provocada no olho, pela luz visível, e interpretada pelo cérebro (Ritter, Boushell & Walter, 2019).

A determinação da cor, em medicina dentária, pode ser obtida por crítica visual ou por via instrumental. A determinação visual da cor é o método mais frequentemente aplicado na prática clínica, embora seja inconsistente e não confiável. A sua avaliação visual está dependente do comportamento fisiológico e psicológico do observador, em resposta à estimulação da energia radiante. Podemos nos deparar com inconsistências resultantes de fatores não controlados, como a fadiga, envelhecimento, emoções, condições de iluminação e posição do objeto, assim como o fenômeno de metamerismo (Agrawal & Kapoor, 2013).

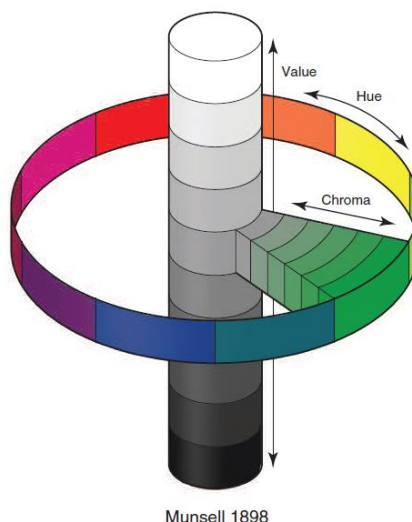
Por outro lado, a análise instrumental da cor oferece uma potencial vantagem sobre a determinação visual, pois as leituras são objetivas e podem ser quantificadas, sendo obtidas mais rapidamente. Têm sido utilizados instrumentos como espectrofotômetros e colorímetros numa tentativa de superar os problemas relacionados com a correspondência da cor em medicina dentária, embora sejam também passíveis de erros (Agrawal & Kapoor, 2013).

Estes instrumentos recorrem a uma relação numérica e quantitativa para definir a cor, a qual foi estabelecida pela Comissão Internacional da Iluminação (CIE – *Commission Internationale de l’Eclairage*), em 1978. Foram assim introduzidos os principais sistemas de cor, conceitos de diferença de cor ( $\Delta E$ ) e padrões de iluminação usados nas ciências da cor (Della Bona, Pecho & Ghinea, 2015).

Este sistema de cores foi nomeado “CIE Lab” e baseia-se na Teoria Tricromática da cor, onde a sua percepção é baseada em três recetores de cor separados no olho: o Vermelho, Verde e Azul (Radaelli, Schuhb & Federizzi, 2012).

Neste espaço de cores tridimensionais os três eixos são  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ . O eixo  $L^*$  é uma medida de valor/clareza de um objeto e é quantificada numa escala onde o preto perfeito tem um valor de  $L^*=0$  e uma perfeita reflexão tem um  $L^*$  de 100. O  $a^*$  é uma medida da quantificação do tom vermelho ( $+a^*$ ) ou verde ( $-a^*$ ). Por sua vez, o eixo  $b^*$  quantifica o amarelo, para valores positivos, ou o azul, quando em valores negativos. As coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  aproximam-se de zero para cores neutras e aumentam a sua magnitude para cores mais intensamente saturadas. A vantagem do sistema CIE Lab é que as diferenças de cor podem ser expressas em unidades, sendo posteriormente relacionadas à percepção visual e significância clínica (Radaelli et al., 2012).

Existem muitos outros sistemas de cores disponíveis, mas, por diversos motivos, incluindo o reconhecimento mundial, consistência, flexibilidade e simplicidade, o sistema de cores Munsell tornou-se o padrão para a correspondência da cor em medicina dentária (figura 4). Trata-se de uma figura tridimensional que inclui um eixo acromático, que se estende no centro e que vai do puro branco ao puro preto, progredindo numa escala de cinzas. As cores estão dispostas sequencialmente em torno do cilindro central e os raios representam as gradações do croma, que vão desde o eixo incolor até o tom mais puro do arco. Existem três dimensões tradicionais da cor, as quais serão mencionadas mais à frente (Vadher et al., 2014).



**Figura 4** - Sistema de cores Munsell: o eixo vertical acromático corresponde ao valor. O matiz é ilustrado pelas diferentes famílias de cores organizadas num círculo de 360 graus. O cromatismo é representado pela distância entre o eixo do valor e do matiz (adaptado de Ritter et al., 2019).

## 3.2 Propriedades Óticas Primárias

### 3.2.1-Matiz

Matiz é o atributo da cor que permite a distinção entre diferentes famílias de cores. É caracterizado como a combinação de comprimentos de onda, dentro do espectro visível, que compõem a cor visualizada, mesmo que o comprimento de onda específico dessa cor não esteja presente. Em termos dentários, a matiz é representada por A, B, C ou D no guia de cores *Vita Classic*, que é frequentemente utilizado (Vadher et al., 2014).

### 3.2.2 – Valor

A dimensão do valor refere-se à luminosidade de uma cor. É a escala vertical acromática que vai desde o preto ao branco, representando todos os tons de cinzento. Um alto valor equivale a um objeto brilhante que tem menor quantidade de tons cinza, por outro lado, objetos de baixo valor têm maiores quantidades de cinza e, conseqüentemente, são mais escuros (Ritter et al., 2019).

### **3.2.3 – Croma**

Croma é o grau de saturação do matiz e descreve a força, intensidade ou vivacidade de uma cor. Quanto mais longe do eixo vertical acromático (valor), maior será o croma, isto é mais intensa será a cor. Em contrapartida, quanto mais próxima a cor estiver do eixo acromático, menor será o croma e mais pálida e fraca será a cor. Posto isto, o croma e o valor são inversamente proporcionais, pois um aumento do croma causa uma diminuição do valor (Ritter et al., 2019).

## **3.3 Luz**

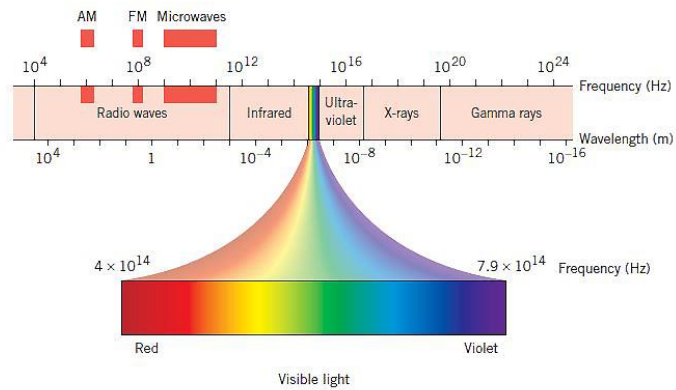
### **3.3.1 – Espectro Eletromagnético**

As ondas eletromagnéticas existem dentro de uma enorme gama de frequências, desde valores inferiores a 104 Hz, a superiores a 1024 Hz. A série ordenada de frequências, ou comprimentos de onda eletromagnéticos, como demonstrado na figura 5, tem o nome de espectro eletromagnético. Todas as ondas eletromagnéticas, independentemente da zona do espectro em que se encontram, viajam no espaço livre (vácuo) com a mesma velocidade. Uma onda eletromagnética tem uma frequência  $f$  e comprimento de onda  $\lambda$ , que estão relacionados com a velocidade  $v$  da onda por  $v = f \lambda$  (Cutnell & Johnson, 2012; Walker, Halliday & Resnick, 2014).

As diferentes regiões do espectro eletromagnético são agrupadas consoante o intervalo de valores de comprimentos de onda, sendo que a radiação visível se situa entre os 400 e 700 nm. Embora a fronteira entre regiões adjacentes seja delimitada por uma linha, na prática isto não se observa, havendo, muitas vezes, sobreposição destas regiões (Cutnell & Johnson, 2012; Walker et al., 2014).

A principal conquista de James Clerk Maxwell foi mostrar que um feixe de luz é uma onda eletromagnética, provando que a ótica, sendo o estudo da luz visível, é um ramo do eletromagnetismo. No tempo de Maxwell (meados de 1800), as formas visível, infravermelha e ultravioleta da luz eram as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas. Mais tarde, Heinrich Hertz incentivado pelo trabalho de Maxwell, descobriu o que agora chamamos de ondas de rádio e verificou que partilham a mesma natureza básica que a luz visível. Nos dias de hoje, conhecemos um amplo espectro de ondas eletromagnéticas e o

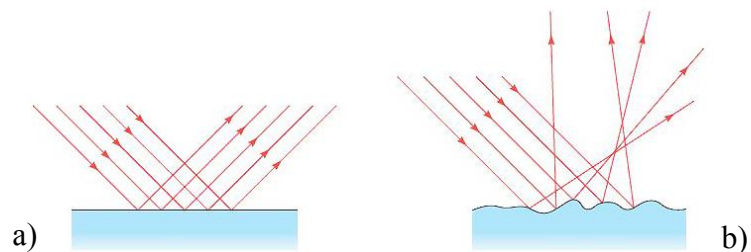
sol, cujas radiações definem o ambiente em que nós vivemos como espécie, é a fonte dominante (Walker et al., 2014).



**Figura 5** - Espectro eletromagnético (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012).

### 3.3.2 – Reflexão

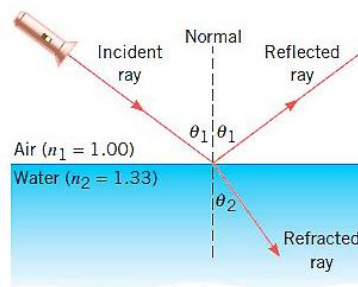
A lei da reflexão baseia-se na teoria em que o raio incidente, o raio refletido e a normal da superfície encontram-se todos no mesmo plano, e que o ângulo de reflexão  $\theta_r$  é igual ao ângulo de incidência  $\theta_i$  ( $\theta_r = \theta_i$ ). Temos então a reflexão especular (figura 6a), característica das superfícies planas (espelhos), onde os raios refletidos serão paralelos uns aos outros; e a reflexão difusa (figura 6b), que ocorre na maioria dos casos e que consiste na reflexão da luz em diversas direções, consoante as irregularidades desse mesmo objeto (Cutnell & Johnson, 2012).



**Figura 6** - Imagem representativa do fenômeno de reflexão: a) reflexão especular; b) reflexão difusa (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012).

### 3.3.3 – Refração

A velocidade da luz no vácuo tem um valor de  $c = 3,00 \times 10^8$  m/s. No entanto, a velocidade altera-se consoante a natureza do meio que a luz atravessa. Esta mudança de velocidade, que ocorre de um meio/material para o outro, faz com que o raio refletido se desvie da direção do raio incidente. O fenómeno que explica este desvio tem o nome de refração (figura 7) (Cutnell & Johnson, 2012).



**Figura 7** - Imagem representativa do fenómeno de refração (adaptado de Cutnell & Johnson, 2012).

## 3.4 Propriedades Óticas Secundárias

### 3.4.1 – Translucidez

A translucidez define-se pelo grau de dispersão da luz durante a sua transmissão por um objeto, o que irá resultar numa aparência entre a opacidade total e a transparência total. Esta propriedade ótica caracteriza a passagem relativa da luz que atravessa uma certa espessura, indicando a quantidade e a qualidade da reflexão luminosa. A dentição humana é caracterizada pelos variados graus de translucidez. No esmalte, esta varia de acordo com o comprimento de onda da luz, ângulo de incidência, textura e brilho da superfície e ainda o nível de desidratação (Radaelli et al., 2012; Ritter et al., 2019).

### **3.4.2 – Opalescência**

A opalescência é uma propriedade ótica que faz com que um material pareça de uma determinada cor quando a luz é refletida e de outra cor quando a luz é transmitida através dele. O nome surgiu do mineralóide opala, que age como um prisma e refrata diferentes comprimentos de onda em graus variados. Este fenômeno também é encontrado no dente natural, onde a opalescência é causada pelo espalhamento de luz entre duas fases de esmalte que possuem diferentes índices de refração. As ondas curtas de luz são refletidas exibindo uma tonalidade azul, enquanto comprimentos de onda mais longos, como o laranja e o vermelho, atravessam o dente (Radaelli et al., 2012; Ritter et al., 2019).

### **3.4.3 – Metamerismo**

Metamerismo é o fenômeno que ocorre quando um objeto de uma única cor apresenta curvas de espectro distintas ao ser submetido a diferentes fontes luminosas. As várias fontes de luz produzem diferentes percepções de cor. É então aconselhado ter em consideração várias fontes luminosas durante a observação e escolha de uma cor, sendo a melhor opção a cor que apresenta menor variação visual (Radaelli et al., 2012; Ritter et al., 2019).

### **3.4.3 – Fluorescência**

Luminescência é a emissão de luz por uma substância, ocorrendo a partir de estados eletrônicos excitados. A luminescência é formalmente dividida em duas categorias, a fluorescência e a fosforescência, dependendo da natureza do estado excitado (Lakowicz, 2006).

Fluorescência, por definição, é a emissão de radiação de um determinado comprimento de onda, por parte de uma substância, como resultado da absorção de radiação de um comprimento de onda menor (Figueira, McLaren & Park, 2015).

Após a excitação pela luz, geralmente ultravioleta (UV), uma substância fluorescente reemitirá parte da energia absorvida em comprimentos de onda mais longos.

Quando a luminescência continua após a remoção da fonte de excitação, o brilho posterior é então referido como fosforescência (Ritter et al., 2019).

Os dentes humanos são naturalmente fluorescentes, pois a luz UV é facilmente absorvida pelas espécies luminescentes presentes nos tecidos dentários. Tanto o esmalte, como a dentina, são tecidos fluorescentes, mas o esmalte emite uma intensidade muito mais fraca, tendo em conta que a quantidade de material orgânico é bastante reduzida. Quanto à dentina, é consensual que a sua fluorescência seja causada pela grande quantidade de material orgânico, embora a natureza dessa autofluorescência ainda seja controversa (Volpato, Pereira, & Silva, 2018).

Estudos confirmaram que a fluorescência é uma propriedade ótica independente da cor do dente. Para além disso, descobriu-se também que a hidroxiapatite não tem um papel importante nesse fenómeno. Desde então, várias espécies luminescentes foram propostas na literatura como responsáveis pela fluorescência dentária, nomeadamente a pirimidina, triptofano, tirosina, hidroxipiridina, piridinolina, ditirosina e o complexo de hidroxiapatite e piridinolina (Volpato et al., 2018).

A incorporação da fluorescência nas cerâmicas dentárias é cada vez mais importante, porque esta contribui para a aparência final das restaurações estéticas, proporcionando uma perceção visual muito mais próxima da realidade. Inicialmente, o urânio era utilizado como luminóforo na composição das cerâmicas, mas o seu uso foi proibido visto que os sais e isótopos de urânio são altamente radioativos. De forma a substituir este elemento, foram então introduzidas outras espécies luminescentes como európio, térbio, cério e itérbio. Estes óxidos de terras raras têm uma forte fluorescência quando expostos à luz UV, geralmente na faixa azul, muito parecida com os dentes naturais (Volpato et al., 2018).

Para além da incorporação destes componentes, a intensidade da fluorescência está fortemente relacionada ao tipo e composição da cerâmica, sendo que os espectros de emissão e excitação dependem da sua composição, matriz cristalina e parâmetros de sinterização (Volpato et al., 2018).

## 4. Alterações Cromáticas

### 4.1 Pigmentação Dentária

Existem vários fatores que afetam a cor do dente e a forma como este é visto pelo olho humano. Estes fatores vão desde as alterações nos componentes estruturais do dente, à sua própria localização na cavidade oral e gradação de cor. (Kapadia & Jain, 2018).

De acordo com o *Glossary of Prosthodontic Terms*, o termo "mancha" foi definido como a "descoloração de uma superfície ou superfícies dentárias, resultante de materiais ingeridos, ação bacteriana, tabaco e/ou outras substâncias. Esta pode ser intrínseca, extrínseca, adquirida ou de desenvolvimento" (Kapadia & Jain, 2018).

A pigmentação extrínseca apresenta-se como manchas na superfície externa dos dentes, relativamente comuns, e que são o resultado de numerosos fatores. Em pacientes jovens podem ser encontradas manchas que, geralmente, são mais proeminentes nas áreas cervicais dos dentes. Estas podem estar relacionadas à acumulação de placa, existência de restaurações, sangramento gengival, hábitos alimentares ou à presença de microrganismos cromogénicos. No caso dos pacientes idosos, as manchas são mais prováveis de apresentar uma coloração castanha, preta ou cinzenta e ocorrem em áreas adjacentes ao tecido gengival. A má higiene oral é um fator contribuinte, mas o tabaco, o café, o chá e outros tipos de alimentos ou medicamentos cromogénicos podem induzir pigmentação, mesmo em superfícies com ausência de placa (Ritter et al., 2019).

A pigmentação intrínseca é provocada por manchas internas mais profundas ou defeitos do esmalte. Este tipo de pigmentação ocorre como consequência de uma alteração da composição ou espessura dos tecidos dentários. A dentição em desenvolvimento pode ser afetada por uma variedade de doenças metabólicas e fatores sistémicos que, conseqüentemente, poderão originar coloração dentária. Alguns fatores etiológicos incluem a hipoplasia do esmalte, a amelogénese e dentinogénese imperfeita, o uso de certos medicamentos (particularmente tetraciclina), a fluorose e até o próprio envelhecimento. São igualmente reconhecidos fatores locais, como o trauma (Prathap, Rajesh & Bloor, 2013; Ritter et al., 2019).

## **4.2 Pigmentação Cerâmica**

No que toca às cerâmicas, estas são altamente estéticas e biocompatíveis, o que as tornou num excelente material restaurador. Vários investigadores que avaliaram os sistemas cerâmicos conseguiram demonstrar a sua estabilidade de cor excepcional (Pires-de-Souza, Casemiro & Garcia, 2009).

Contudo, pouco se sabe sobre a sua estabilidade de cor ao longo do tempo. As próprias condições do ambiente oral podem causar alterações nas propriedades físicas do material, que podem ou não originar alterações de cor (Pires-de-Souza et al., 2009).

Para além disso, o próprio processo de fabrico terá influência neste aspeto. Quanto menor for o grau de porosidade evidenciado por uma cerâmica, maior será a sua estabilidade de cor. No entanto, certas variáveis como o tipo de cerâmica, a utilização de corantes extrínsecos, a sinterização, a associação com vácuo, a presença ou não de estrutura metálica e a própria espessura, podem influenciar a estabilidade da cor da cerâmica (Volpato, Fredel & Philippi, 2010).

## **5. Sistemas Cerâmicos Dentários**

Na última década, observou-se um crescente interesse pela cerâmica em medicina dentária. Tornou-se na alternativa prioritária, quando comparada aos materiais tradicionais, a fim de atender às demandas dos pacientes por uma estética melhorada (Babu, Alla & Alluri, 2015).

A *American Ceramic Society* definiu cerâmica como um material inorgânico, não metálico, normalmente de natureza cristalina, sendo um composto formado por elementos metálicos e não metálicos. Basicamente, trata-se de um composto formado por oxigénio e outros elementos como o alumínio, cálcio, lítio, magnésio, fósforo, potássio, silício, sódio, zircónia e titânio (Babu et al., 2015).

A indústria associada à medicina dentária apresenta, cada vez mais, um desenvolvimento tecnológico, particularmente no campo dos materiais cerâmicos, o que permite a confeção de restaurações constituídas unicamente por cerâmica, sem qualquer componente metálico (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

A constante melhoria qualitativa das cerâmicas proporciona diversas vantagens como a excelente aparência estética, graças às propriedades óticas favoráveis, cor natural e estabilidade cromática, biocompatibilidade, inércia química e baixa condutividade térmica. Para além disso, possuem ótimas propriedades mecânicas, tais como a elevada resistência à flexão e à fratura, a resistência ao desgaste e ainda baixas propriedades abrasivas (Babu et al., 2015; Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Ao longo dos anos têm surgido diversas formas de classificação dos sistemas cerâmicos, mas a crescente utilização de cerâmicas policristalinas e a introdução das chamadas cerâmicas híbridas impuseram a necessidade de um novo sistema de classificação. De acordo com esta categorização, as cerâmicas podem ser distribuídas por três grupos (figura 8): (1) cerâmicas vítreas, (2) cerâmicas policristalinas e (3) cerâmicas híbridas, dependendo da fase ou fases presentes na sua composição química (Gracis, Thompson & Ferencz, 2015).

Devido à grande variedade de materiais disponíveis e à velocidade com que os novos produtos são lançados, a escolha do sistema cerâmico, pelo médico dentista, pode gerar dúvidas. É necessário ter em consideração que não há um material que possua todas as características e que possa ser aplicado em todas as situações clínicas. A escolha de um tipo específico de cerâmica não deve estar somente associada ao mais recente produto no mercado, mas deve sim depender da avaliação cuidadosa das indicações e contraindicações relacionadas à sua aplicação (Naji, Omar, & Yahya, 2018).

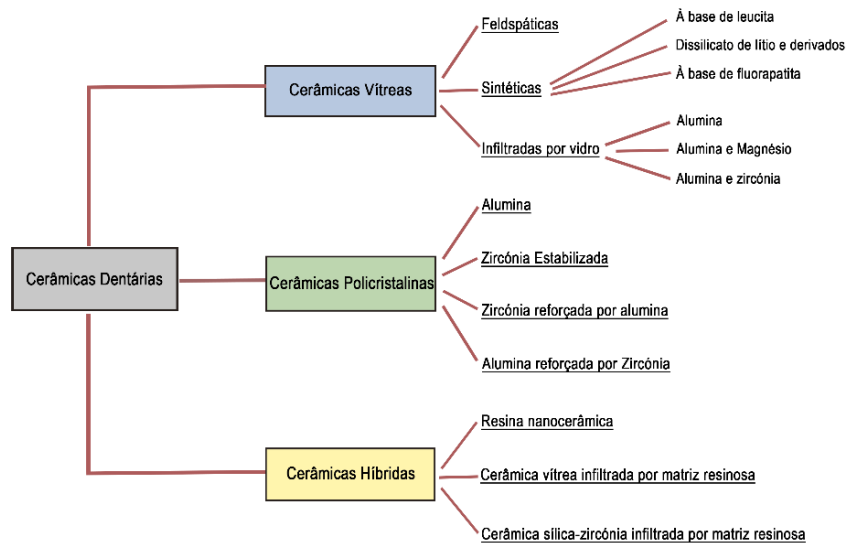


Figura 8 - Esquema representativo do sistema cerâmico dentário (adaptado de Gracis et al., 2015).

## **5.1 Cerâmicas Vítreas**

As cerâmicas de matriz vítrea, ou cerâmicas vítreas, são materiais cerâmicos inorgânicos, não metálicos, que contêm uma fase vítrea. Esta família de cerâmicas está ainda dividida em três subgrupos: cerâmica feldspática, cerâmica sintética e cerâmica infiltrada por vidro. (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Gracis et al., 2015).

### **5.1.1 Cerâmicas Feldspáticas**

As cerâmicas dentárias tradicionais têm como base o feldspato. Estas são compostas com quantidade significativa de feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e caulino ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). O feldspato é um mineral cristalino acinzentado que pode ser encontrado nas rochas ricas em ferro e mica. Estas rochas são moídas e, após a utilização de ímãs para remover os compostos de ferro, são moídas novamente para obter o pó mais puro. O quartzo ou sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o componente da matriz (55-65%) que é responsável pela translucidez da restauração. Uma vez que não se trata de um material forte, 20-25% de alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) é acrescentado com o objetivo de reforçar a cerâmica. O caulino é um silicato de alumínio hidratado que é utilizado numa quantidade limitada (4%), uma vez que tem propriedades opacas. Este é utilizado na composição das cerâmicas como agente de ligação das partículas soltas (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

A cerâmica feldspática apresenta um coeficiente de expansão térmica de aproximadamente 10%. São utilizadas como um material de revestimento em ligas metálicas e substratos cerâmicos e ainda como um material estético aderido à estrutura dentária. Como exemplos comerciais temos: IPS Empress Esthetic, IPS Empress CAD, IPS Classic, Ivoclar Vivadent; Vitadur, Vita VMK 68, Vitablocs, Vident (Gracis et al., 2015).

### **5.1.2 Cerâmicas Sintéticas**

De forma a diminuir a dependência dos recursos naturais, foram produzidas as vitrocerâmicas sintéticas. Este material apresenta maior percentagem de fase cristalina na

sua composição, o que melhorou as suas propriedades mecânicas, reduzindo assim a possibilidade de formação de "cracks" ou, caso já existam, o retardamento da sua propagação (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

A microestrutura destas vitrocerâmicas compreende a fase cristalina dispersa (cristais) rodeada por uma fase vítrea translúcida (matriz). A fase vítrea possui as propriedades usuais do vidro, tais como a translucidez, fragilidade e padrão de fratura não direcional. A fase cristalina melhora a dispersão e opacidade da luz, adaptando a cor da fase vítrea transparente aos tecidos dentários (esmalte e dentina), proporcionando também resistência e estabilidade às tensões que ocorrem na cavidade oral (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Os cristais integrantes são criados por nucleação e cristalização controladas, sendo o seu tamanho e distribuição determinados pela composição e processamento do vidro. Este processo permite a produção de uma estrutura homogênea, associada a boas propriedades óticas, características de desgaste adequadas e ótima resistência (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

As propriedades mecânicas finais da vitrocerâmica sintética são determinadas por dois fatores: intrínsecos e extrínsecos. Os fatores intrínsecos incluem o tamanho, número e geometria dos cristais, assim como a sua distribuição e expansão/contração térmica. O desempenho a longo prazo também vai depender dos fatores extrínsecos como as condições de fabrico e condições do ambiente oral (humidade, variações de pH, choques térmicos, carga cíclica e picos de carga) (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Como exemplos temos: cerâmicas à base de leucita (IPS d.Sign, Ivoclar Vivadent; Vita VM7, VM9, VM13, Vident; Noritake EX-3, Cerabien, Cerabien ZR, Noritake); dissilicato de lítio e derivados (3G HS, Pentron Ceramics; IPS e.max CAD, IPS e.max Press, Ivoclar Vivadent; Obsidian, Glidewell Laboratories; Suprinity, Vita; Celtra Duo, Dentsply); baseadas em fluorapatita (IPS e.max Ceram, ZirPress, Ivoclar Vivadent) (Gracis et al., 2015).

#### **5.1.2.1 Dissilicato de Lítio**

A cerâmica de dissilicato de lítio (IPS e.max CAD, Ivoclar Vivadent) é composta por aproximadamente 70% de fase cristalina, incorporada numa matriz vítrea. Na sua produção, a cerâmica é moldada em lingotes de vidro transparente que contêm ortossilicato

de lítio. Posteriormente, segue-se o processo de cristalização parcial, que leva à formação de 40% de cristais de metassilicato,  $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ , embebidos numa fase vítrea. Nesta fase, que se intitula de fase cristalina intermediária ou estado “azul”, a cerâmica conta com uma resistência à flexão de  $130 \pm 30$  MPa, na qual pode ser facilmente fresada na unidade CAM. As restaurações fresadas são posteriormente aquecidas a  $850^\circ\text{C}$ , formando os cristais de dissilicato de lítio,  $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ , que conferem à restauração a sua cor final e resistência à flexão de  $360 \pm 60$  MPa (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

*Ortossilicato de lítio ( $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ ) → metasilicato de lítio ( $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) → dissilicato de lítio ( $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )*

Embora ainda não haja muita informação relativamente à fluorescência da cerâmica de dissilicato de lítio, as propriedades óticas deste material já são conhecidas por serem de excelência, principalmente no que toca à translucidez, devido à sua grande fase cristalina (dos Santos et al., 2017).

### **5.1.3 Cerâmicas Infiltradas por vidro**

A elevada taxa de falhas atribuída às coroas posteriores totalmente em cerâmica resultou no desenvolvimento de materiais com alto teor de alumina reforçada por vidro, de forma a melhorar a resistência à fratura. O núcleo destas cerâmicas inclui partículas porosas insolúveis feitas de alumina, espinélio ou zircônia. Estes materiais são misturados com água para formar uma suspensão conhecida como “deslizamento”. Esta massa é então sinterizada a  $1120^\circ\text{C}$  por 10 h com o intuito de produzir uma estrutura porosa. De seguida, é realizada uma segunda sinterização a  $1100^\circ\text{C}$ , onde é infiltrado vidro de óxido de lantânio, a baixa viscosidade, para remover as porosidades e aumentar a resistência. Por fim, é ainda acrescentada porcelana feldspática para melhorar os traços estéticos (Naji et al., 2018).

As propriedades óticas e resistência final desta cerâmica dependem da composição química do núcleo poroso. A *VITA In-Ceram SPINELL*, constituída por alumina e magnésio ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), apresenta menor resistência (400 MPa), mas translucidez muito alta, sendo indicada para coroas simples na região anterior. O teor de alumina na *VITA In-Ceram ALUMINA* atingiu 80%, sendo possível atingir uma translucidez e resistência ótimas (500 MPa), portanto está indicada para coroas simples na região anterior e

posterior e para a produção de pontes de 3 unidades na região anterior. Devido ao núcleo de alumina reforçado com zircónia, a *VITA In-Ceram ZIRCONIA* tem maior resistência à flexão (600 MPa) em comparação com outras cerâmicas deste grupo e pode ser utilizada para coroas individuais na região posterior e pontes de 3 unidades, independentemente da localização. A utilização desta classe de materiais tem sido abandonada devido à complexidade e sensibilidade do processo de fabrico, bem como à crescente popularidade da cerâmica de dissilicato de lítio e de zircónia (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

## 5.2 Cerâmicas Policristalinas

As cerâmicas policristalinas são definidas como materiais cerâmicos inorgânicos, não metálicos, que não contêm vidro na sua composição, apenas fase cristalina. Este grupo está subdividido em: alumina, zircónia estabilizada, alumina reforçada com zircónia e ainda zircónia reforçada com alumina. Os cristais desta cerâmica estão densamente organizados em matrizes regulares, reduzindo assim a propagação de fissuras, conferindo ao material alta resistência e tenacidade à fratura. (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Gracis et al., 2015).

### 5.2.1 Zircónia

A zircónia pura é encontrada em três formas alotrópicas, dependendo da sua temperatura: forma *cúbica* (*c*) de 2680°C (ponto de fusão) a 2370°C; *tetragonal* (*t*) de 2370°C a 1170°C; e *monoclínica* (*m*) de 1170°C à temperatura ambiente. A transformação espontânea da fase *t* para a fase *m*, que é mais estável, está associada a um aumento de volume de 3-5%. A tensão ocorrida dentro de uma restauração de ZrO<sub>2</sub> pura, durante a fase de arrefecimento, após sinterização, resultava em numerosas microfissuras, que eventualmente levariam à falha prematura da restauração (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Gracis et al., 2015).

Em 1929, Ruff et al., demonstraram que a forma tetragonal da zircónia poderia ser retida no estado metastável, à temperatura ambiente, ao ligar a zircónia pura com outros óxidos cúbicos. Desde então, numerosos compostos de oxigénio como o magnésio, cálcio, cério e ítrio, foram propostos como estabilizadores de zircónia e utilizados para alterar a fase de transformação para temperaturas mais baixas, evitando assim o fracasso

catastrófico das restaurações de zircónia. Mais tarde, em 1975, Hannink et al., referenciaram que a transformação *t-m*, seguida de expansão volumétrica, poderia ser utilizada para aumentar a tenacidade à fratura de materiais à base de zircónia parcialmente estabilizada. Em 1976, este mecanismo foi explicado por Claussen e Steeb, sendo apelidado de "nucleação orientada de microfissuras". Por outras palavras, quando uma restauração contendo *t*-zircónia metastável está sujeita a uma fonte externa de energia (forças de tração, choque térmico, sobrecarga de parafunções) podem ocorrer fissuras. De seguida, dar-se-á a transformação dos grãos de óxido de zircónia, desde a forma tetragonal à forma monoclinica, sendo acompanhada de expansão volumétrica e, conseqüentemente, da compressão das superfícies da fissura, o que, por sua vez, irá restringir a propagação da mesma (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Existem então diferentes tipos de materiais, dependendo da fase em que se encontram os grãos de zircónia, mas apenas três são utilizados em medicina dentária: (1) zircónia parcialmente estabilizada (PSZ), material bifásico, com a fase tetragonal precipitada na matriz cúbica e estabilizado por magnésio. (2) Compósitos temperados com zircónia (ZTC), apresentando uma matriz com alto módulo de elasticidade que incorpora grãos transformáveis de *t*-zircónia. A matriz mais utilizada é a alumina, sendo que é conhecida como alumina reforçada com zircónia (ZTA). E (3) Zircónia tetragonal policristalina (TZP), em que todo o material é constituído por grãos de *t*-zircónia transformáveis. PSZ e ZTC são materiais bifásicos, enquanto TZP é um material monofásico (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Estes materiais cerâmicos de alta resistência tornaram-se extremamente populares, especialmente a zircónia policristalina tetragonal estabilizada com ítrio (Y-TZP) e zircónia policristalina tetragonal estabilizada com cério/alumina (Ce-TZP / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). No entanto, foi revelado que o Y-TZP poderia sofrer um processo lento de transformação *t* → *m* em ambiente húmido. Este lento envelhecimento sob humidade, conhecido por “degradação a baixa temperatura”, foi associado a rugosidade, *microcracking* e conseqüente perda de força (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Ritter et al., 2019).

Por outro lado, a utilização de óxido de cério proporciona maior estabilidade térmica e resistência à “degradação a baixa temperatura”, quando comparado a Y-TZP. O CeO<sub>2</sub> confere melhores propriedades à zircónia no que toca à sua fase de transformação, embora seja necessário em maiores quantidades. Para além disso,

proporciona ainda um comportamento pseudo-plástico, característica esta que é expressa entre todos os outros materiais cerâmicos (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018).

Como referência às propriedades óticas é importante realçar que nenhuma cerâmica dentária pode replicar o complexo comportamento da luz e exibir as características óticas dos tecidos dentários. As propriedades óticas da zircónia refletem a sua falta de fluorescência, que diminui a aparência natural, sendo acentuada pela sua tendência em mudar da cor branca para a cor cinza sob condições de pouca luz (Shahmiri, Standard & Hart, 2018).

Como exemplos de marcas comerciais de zircónia estabilizada temos: NobelProcera Zirconia, Nobel Biocare; Lava/Lava Plus, 3M ESPE; In-Ceram YZ, Vita; Zirkon, DCS; Katana Zirconia ML, Noritake; Cercon ht, Dentsply; Prettau Zirconia, Zirkozahn; IPS e.max ZirCAD, Ivoclar Vivadent; Zenostar, Wieland (Gracis et al., 2015).

### **5.3 Cerâmicas Híbridas**

O terceiro e último grupo, denominado cerâmicas de matriz de resina, ou cerâmicas híbridas, são os materiais que possuem uma matriz polimérica, contendo predominantemente compostos inorgânicos refratários, incluindo cerâmicas, vidros e vitrocerâmicas. Este grupo é dividido em vários subgrupos de acordo com a sua composição, sendo estes: resina nanocerâmica, cerâmica vítrea infiltrada por matriz resinosa e cerâmica de sílica-zircónia infiltrada por matriz resinosa (Bajraktarova-Valjakova et al., 2018; Gracis et al., 2015).



### III. OBJETIVOS E HIPÓTESES DE ESTUDO

Tendo em conta a importância das propriedades óticas das cerâmicas dentárias, o presente estudo teve como objetivo:

- Comparar os valores da fluorescência de duas cerâmicas distintas, antes e depois da imersão em soluções pigmentantes.

◆ Hipóteses de estudo:

- Hipótese Nula (H1<sub>0</sub>): Não se verificam alterações na fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após a imersão nas várias soluções pigmentantes.

- Hipótese Alternativa (H1<sub>1</sub>): Verificam-se alterações na fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após a imersão nas várias soluções pigmentantes.

- Hipótese Nula (H2<sub>0</sub>): Não se verificam alterações na fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após a imersão nas várias soluções pigmentantes.

- Hipótese Alternativa (H2<sub>1</sub>): Verificam-se alterações na fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após a imersão nas várias soluções pigmentantes.

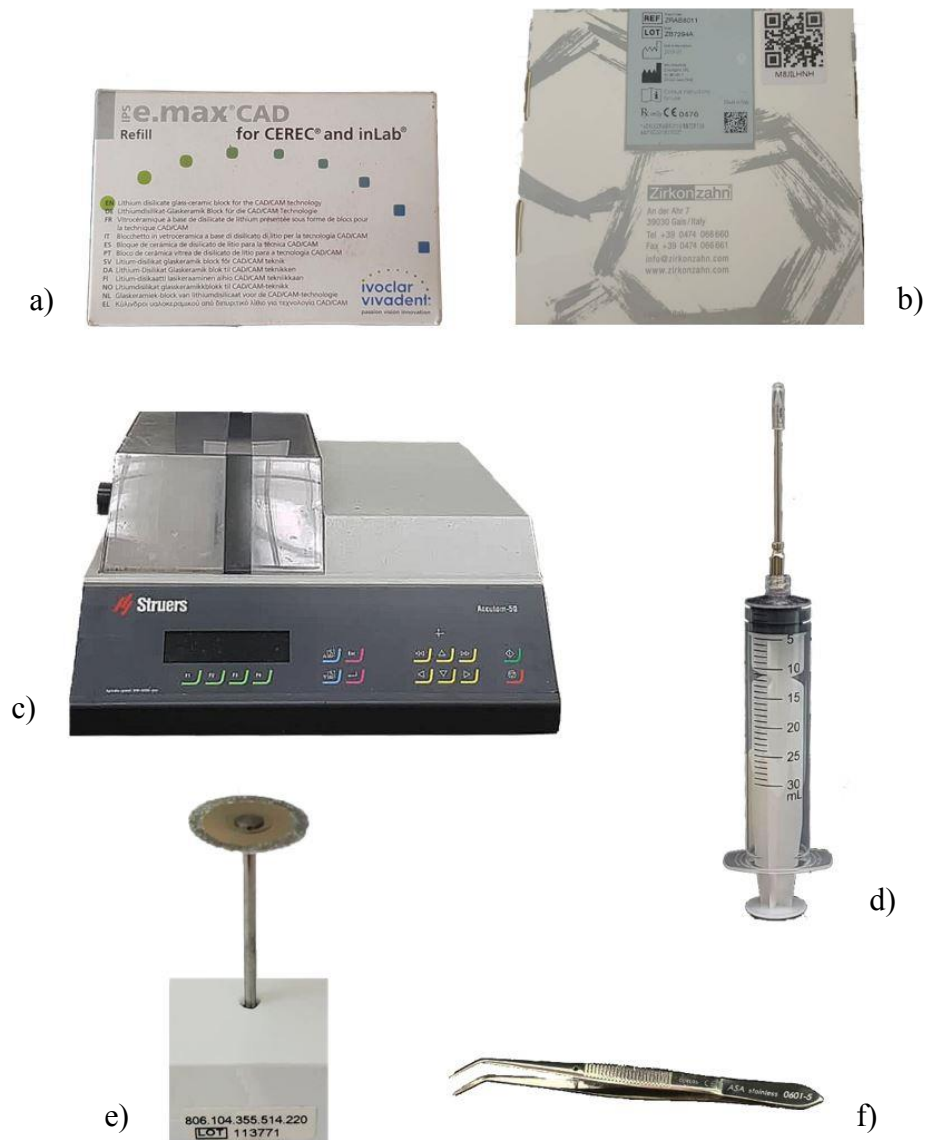


## **IV. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **1. Materiais utilizados**

1. Cerâmica de dissilicato de lítio IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein). Lote W44775 (composição em anexo).
2. Cerâmica de zircónia CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália). Lote ZB7294A. (composição em anexo).
3. Micrótopo de tecidos duros Accutom -50 (STRUERS INC - Cleveland OH, EUA).
4. Disco diamantado NTI-Kahla GmbH (Kahla, Alemanha); Lote: 113771.
5. Forno cerâmico VITA VACUMAT® 6000 MP (VITA - Bad Säckingen, Alemanha).
6. Forno cerâmico ZIRKONZAHN® Keramikofen 1500 (Gais, Itália).
7. 8 Placas de petri descartáveis.
8. 8 Gobelés de vidro de 100 ml.
9. Seringa graduada.
10. Pinça ASA DENTAL 0601-5 (Bozzano, Itália).
11. Espectrofotómetro (Instituto Superior Técnico).
12. Espectrofluorímetro (Instituto Superior Técnico).
13. Água destilada “Auchan”; Lote 1909134327.
14. Saliva artificial (pH= 6,3-6,4 – composição em anexo).
15. Café *Sical* “Clássico” (Linda-a-Velha, Portugal); Lote: 83120303F3.
16. Vinho tinto “Galodoro” Ano 2016 (Quinta do Conde, Portugal); Castas: Castelão, Tinta Roriz, Touriga Nacional, Cabernet Sauvignon; Lote BH4542819.
17. *Black Vodka Eristoff Black* (Ingredientes: vodka (47%), água, açúcar, sabores de frutos silvestres, ácido cítrico, citrate de sódio, corantes E150d, E151 e E131); Lote 19080ZB100.

Os materiais utilizados na realização da presente investigação então ilustrados nas figuras 9 e 10, devidamente legendadas mais abaixo.



**Figura 9** - Materiais utilizados: a) IPS e.max CAD HT A3/ B40, Ivoclar Vivadent®; b) CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, Zirkonzahn®; c) Micrótomos de tecidos duros Accutom -50; d) Seringa graduada; e) Disco diamantado NTI-Kahla GmbH; f) Pinça ASA DENTAL 0601-5.



**Figura 10** - Soluções utilizadas: a) Água destilada “Auchan”; b) Saliva artificial (pH= 6,3-6,4); c) Vinho tinto “Galodoro”; d) *Black Vodka Eristoff Black*; e) Café *Sical* “Clássico”.

### 1.1 Código dos espécimes

**Tabela 1** - Código dos espécimes segundo o tipo de cerâmica, na ausência de solução pigmentante.

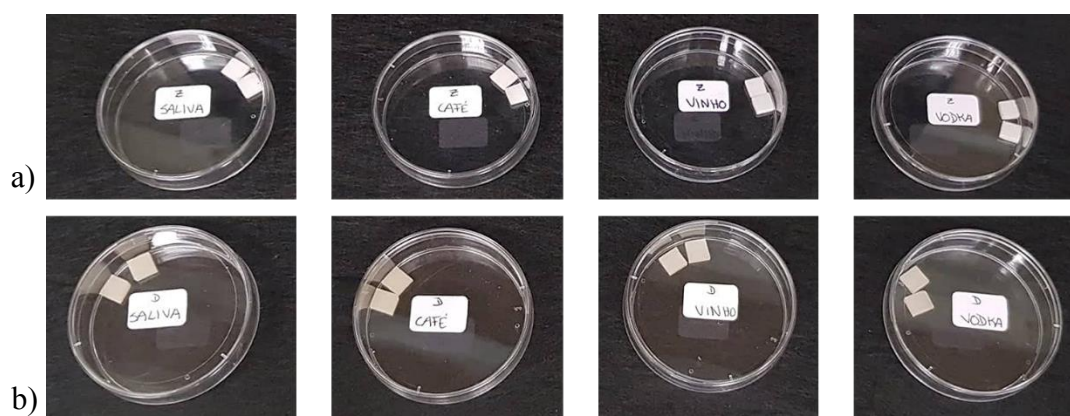
Ausência de fluido pigmentante (O)	
Dissilicato de lítio - IPS e.max (D)	DO
Zircónia – ICE Zirkon (Z)	ZO

**Tabela 2** - Código dos espécimes segundo o tipo de cerâmica e considerando o meio de imersão.

	Água destilada (A)	Café (C)	Vinho Tinto (V)	<i>Black Vodka</i> (B)
<b>Dissilicato de lítio - IPS e.max (D)</b>	DA	DC	DV	DB
<b>Zircônia – ICE Zirkon (Z)</b>	ZA	ZC	ZV	ZB

## 2.Métodos

Foram confeccionadas, no total, 18 espécimes quadrangulares, cada uma com dimensões de 7 mm por 7mm e 2 mm de espessura. Inicialmente, foram cortadas com recurso ao disco diamantado NTI-Kahla GmbH e com o micrótomo de tecidos duros Accutom -50 (figura 9). Seguidamente, foram colocados 9 espécimes, correspondentes à cerâmica de dissilicato de lítio, no forno cerâmico VITA VACUMAT® 6000, e os restantes 9 espécimes de zircônia no forno cerâmico ZIRKONZAHN® Keramikofen 1500, sendo, de seguida, armazenados nas respetivas placas de petri descartáveis (figura 11).



**Figura 11** - Espécimes armazenados nas respetivas placas de petri: a) Espécimes da cerâmica de zircônia armazenados nas placas de petri correspondentes à saliva, café, vinho e *black vodka*; b) Espécimes da cerâmica de dissilicato de lítio armazenados nas placas de petri correspondentes à saliva, café, vinho e *black vodka*.

Dos 18 espécimes, um de dissilicato de lítio e outro de zircónia, não foram sujeitos à imersão nas soluções pigmentantes, com o objetivo de avaliar a intensidade inicial da fluorescência. Os restantes 8, correspondentes a cada cerâmica, foram distribuídos pelas respetivas bebidas pigmentantes (figuras 10 e 12): Saliva artificial pH= 6,3-6,4 (Fusayama, Katayori & Nomoto, 1963), Café *Sical* “Clássico”, Vinho tinto “Galodoro” ano 2016 e *Black vodka Eristoff Black*. Cada par de espécimes foi sujeito ao ambiente pigmentante, num gobelé com 20 ml de solução, durante 2 horas, num período de 15 dias. No final de cada ciclo os espécimes foram lavados com 50 ml de água destilada, sendo posteriormente removidos os excessos com folhas de papel (figura 13).



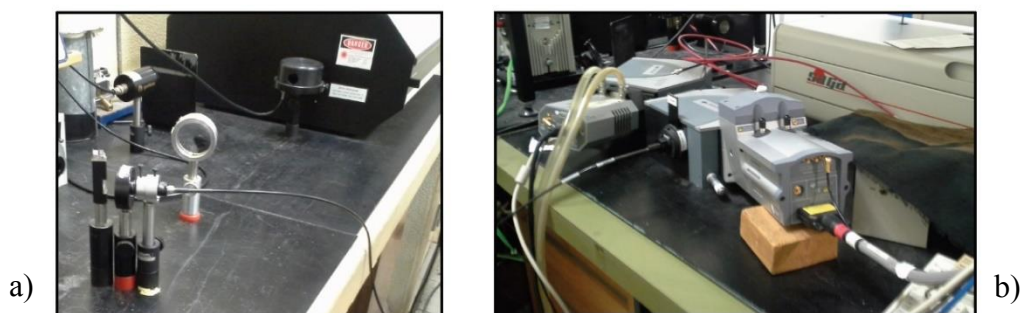
**Figura 12** - Imersão dos espécimes nas respetivas bebidas pigmentantes: saliva artificial pH= 6,3-6,4 (Fusayama et al., 1963), Café *Sical* “Clássico”, Vinho tinto “Galodoro” Ano 2016 e *Black Vodka Eristoff Black*.



**Figura 13** - Lavagem dos espécimes com 50 ml de água destilada “Auchan”.

Por fim, procedeu-se à leitura dos espécimes com o espectrofotómetro. Assim conseguimos saber onde excitar os espécimes, para posterior leitura dos espectros de fluorescência que, por sua vez, se realiza com recurso ao espectrofluorímetro existente

no Instituto Superior Técnico, mais precisamente no departamento de Engenharia Química (figura 14). Este espectrofluorímetro mede, através de uma análise qualitativa, a intensidade da fluorescência de um espécime sólido opaco, quando este sofre excitação por um pulso de laser de nitrogénio único a 337.1 nm. Para se proceder à análise foi necessário colocar cada espécime de cerâmica numa célula de leitura, o qual está posicionada estrategicamente, de forma a que a incidência do laser atinja o centro do espécime.



**Figura 14** - Espectrofluorímetro do Instituto Superior Técnico: a) Espectrofluorímetro utilizado na avaliação dos espectros de fluorescência, onde se observa a fonte de luz e a célula para a leitura do espécime; b) Sensor óptico ICCD Andor modelo i-Star 720 associado à Unidade de atraso.

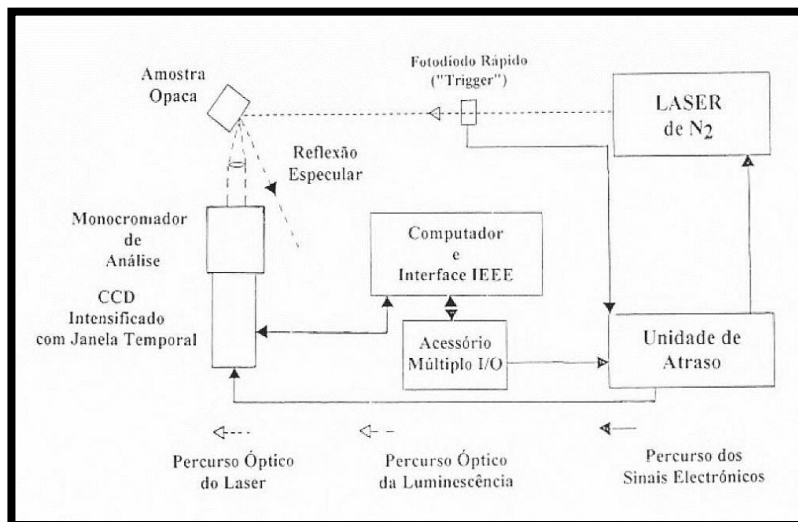
## **2.1 Luminescência induzida por laser**

O estudo da superfície dos materiais sólidos foi, e ainda é, um campo de investigação com grande interesse. Sendo a "face" de qualquer material, a superfície é a porta de entrada que apresenta importância no que toca a áreas como a corrosão, adsorção, biocompatibilidade, pigmentação, entre muitas outras (Botelho do Rego & Ferreira, 2001).

O estudo fotoquímico de moléculas orgânicas incorporadas em nanocavidades conquistou a atenção dos cientistas nas últimas décadas. A procura de mais informação relativamente aos processos fotoquímicos em ambientes heterogéneos (espécimes opacos e pulverizados) é o principal objetivo. Como tal, tem sido aplicado um considerável esforço científico através de estudos espectroscópicos e cinéticos de moléculas orgânicas adsorvidas em diferentes substratos sólidos, utilizando a luminescência induzida por laser (Ferreira & Machado, 2007).

Atualmente, é possível a realização rigorosa de estudos de luminescência através de fontes de excitação laser, monocromáticas e de alta fluência, com sistemas de matriz de díodos acoplados (figuras 15). O detetor, conhecido como ICCD (*Intensified charge-coupled device*), possui uma matriz de díodos (512x128 pixels) que permite traçar, com um só impulso do laser, espectros de fluorescência ou de fosforescência na gama espectral do UV-Visível-Infravermelhos, isto é, dos 200 aos 900 nm (Ferreira & Machado, 2007).

O fotodíodo rápido é responsável por detetar o momento zero, a partir do qual se realizam as leituras. É ainda possível atrasar, de forma pré-programada, as sucessivas leituras da luminescência dos espécimes e traçar espectros resolvidos no tempo. Desta forma, conseguimos então obter espectros de fluorescência e de fosforescência com um só sistema e sem a necessidade de recorrer aos métodos clássicos (Ferreira, 1999).



**Figura 15** - Esquema representativo do sistema de Fluorescência induzida por laser (adaptado de Ferreira, 1999).



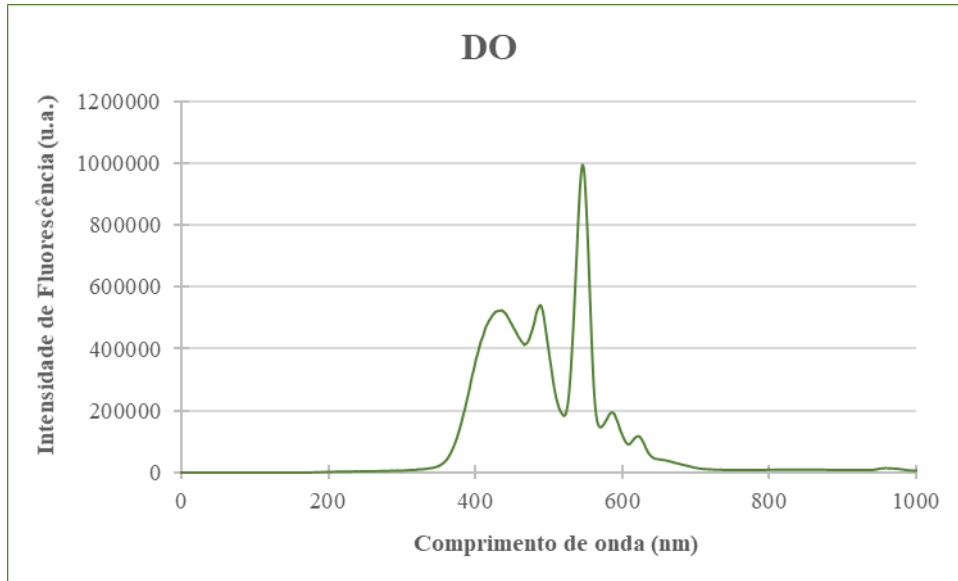
## V. RESULTADOS

Após a imersão dos 16 discos de cerâmica nas respectivas soluções pigmentantes, realizou-se a leitura dos espectros de fluorescência de todos os espécimes, através do espectrofluorímetro existente no Instituto Superior Técnico. Com a aplicação de critérios de exclusão, foram selecionados apenas os espécimes com o valor do pico máximo de fluorescência mais elevado. Os espectros obtidos são representados segundo gráficos de dispersão com linhas suaves, os quais relacionam o comprimento de onda, em nanómetros (nm), *versus* intensidade da fluorescência, em unidades arbitrárias (u.a).

♦ Análise Espectral de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) na ausência de solução pigmentante – DO



**Figura 16** - Espécime DO.



**Gráfico 1** - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 na ausência de solução pigmentante.

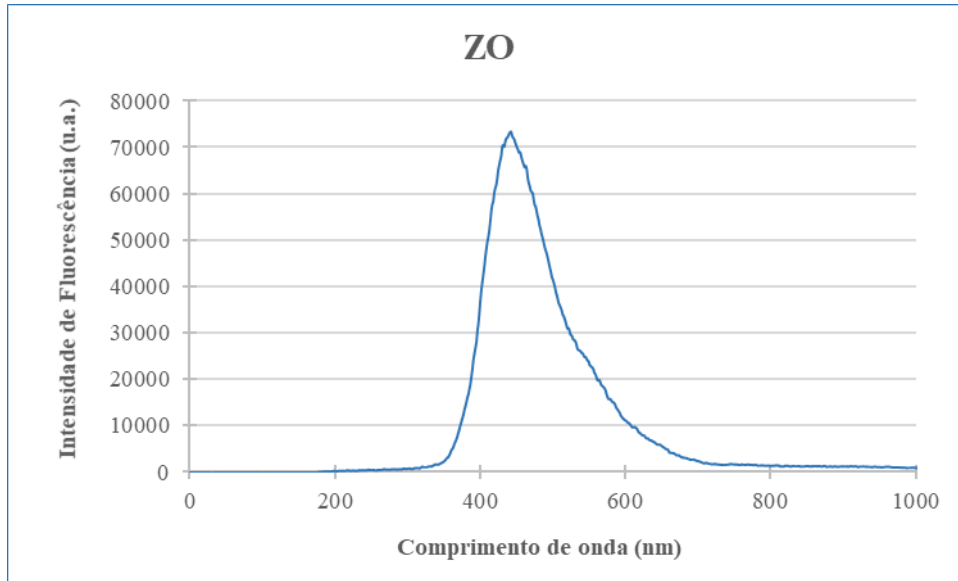
**Tabela 3** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DO - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - na ausência de imersão em soluções pigmentantes.

	Comprimento de onda (nm)	Intensidade de fluorescência (u.a.)
<b>Pico Máximo</b>	546	994370

◆ Análise Espectral de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) na ausência de solução pigmentante – ZO



**Figura 17** - Espécime ZO.



**Gráfico 2** - Espectro de fluorescência de CAD/ CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 na ausência de solução pigmentante.

**Tabela 4** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZO – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - na ausência de imersão em soluções pigmentantes.

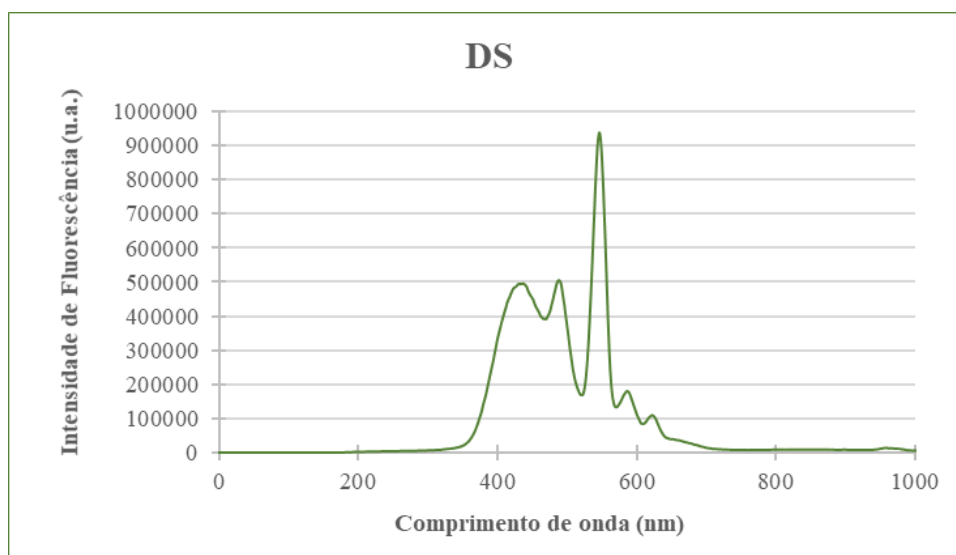
	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	441	73399

Após a análise dos gráficos 1 e 2 observa-se, de imediato, que os valores da intensidade de fluorescência emitida pelo espécime DO - IPS e.max CAD HT A3/ B40 – (figura 16) é bastante elevado comparativamente aos valores emitidos pelo espécime ZO – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (figura 17). O pico máximo registrado para IPS e.max CAD HT A3/ B40 é de 994370 u.a aos 546 nm (tabela 3), enquanto que, para a cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 é de 73399 u.a aos 441 nm (tabela 4), estando ambos incluídos na zona da radiação visível do espectro eletromagnético.

♦ Análise Espectral de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após imersão em saliva artificial (pH=6,3-6,4) – DS



**Figura 18** - Espécime DS.



**Gráfico 3** - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em saliva artificial.

**Tabela 5** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DS - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em saliva artificial.

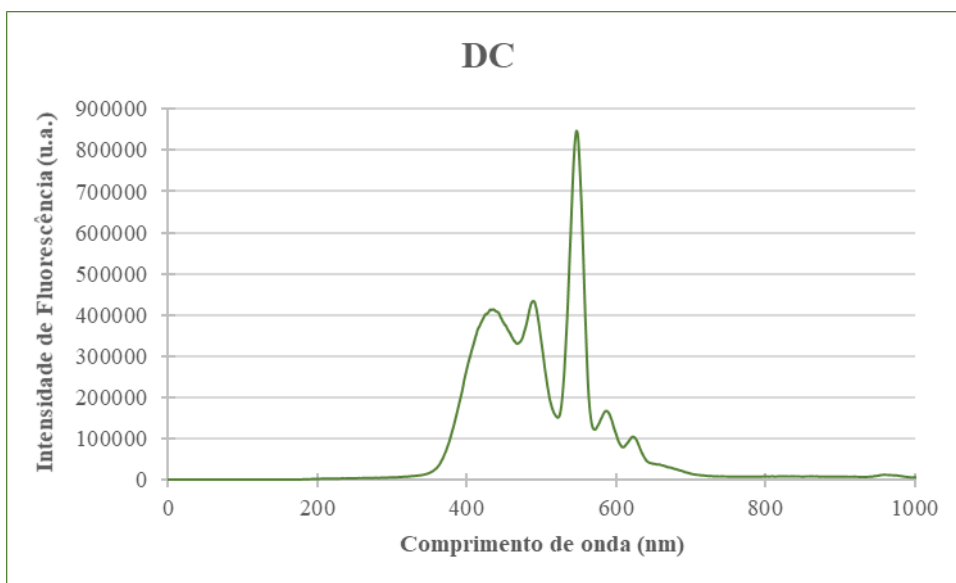
	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	546	936724

Após a imersão de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (figura 18) em saliva artificial pH=6,3-6,4, verificou-se uma queda da intensidade máxima de fluorescência emitida por esta cerâmica (gráfico 3). Na ausência da solução (DO), a intensidade máxima registrada foi de 994370 u.a. aos 546 nm mas, após a imersão (DS), esta diminuiu para 936724 u.a. aos 546 nm (tabela 5). Posto isto, a saliva artificial provoca alterações de fluorescência nesta cerâmica, embora pouco acentuadas: DS emite -5,8% da intensidade emitida por DO (tabela 9). Ambas os espécimes DO e DS apresentam o mesmo valor de comprimento de onda da radiação emitida, sendo que se encontram dentro do limite do visível do espectro eletromagnético.

♦ Análise Espectral de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após imersão em café Sical “Clássico” – DC



*Figura 19* - Espécime DC.



**Gráfico 4** - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em café *Sical* “Clássico”.

**Tabela 6** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DC - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em café *Sical* “Clássico”.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	546	845949

Após a imersão do IPS e.max CAD HT A3/ B40 no Café *Sical* “Clássico” (DC) (figura 19), foi detetada uma diminuição da intensidade de fluorescência emitida pelo espécime (gráfico 4). O pico máximo de DC é de 845949 u.a. aos 546 nm (tabela 6), enquanto que DO apresenta um valor de 994370 u.a. aos 546 nm. Desta forma, concluímos que o café provoca uma diminuição de 14,9% da intensidade de fluorescência, quando comparado com DO (tabela 9). O comprimento de onda correspondente ao pico máximo de DC encontra-se no intervalo de valores correspondente à radiação visível do espectro eletromagnético, mais precisamente na cor verde.

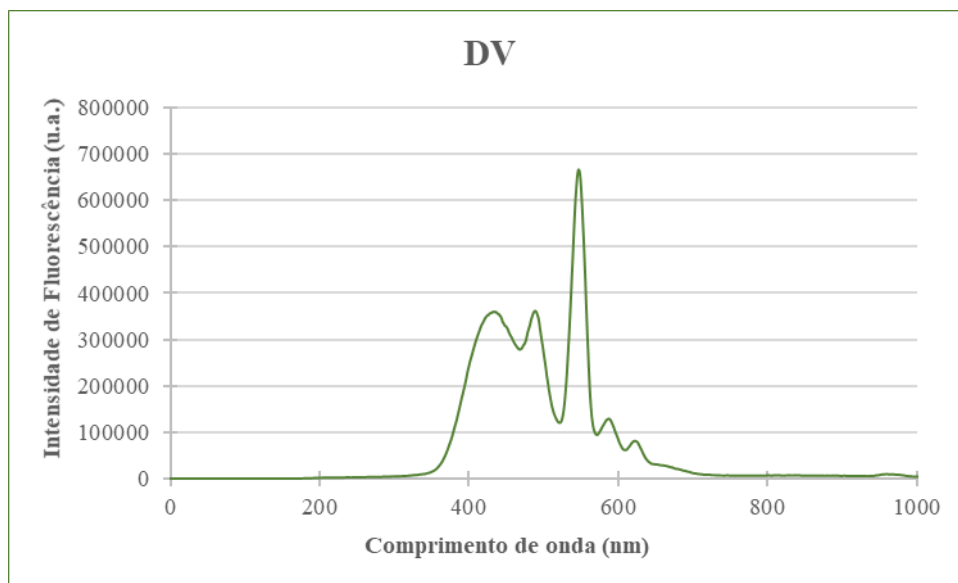
Ao analisarmos os dados obtidos das duas soluções pigmentantes estudadas, é possível observar que as alterações da intensidade de fluorescência são mais acentuadas

no espécime IPS e.max CAD HT A3/ B40 submetido ao café (DC), quando comparada com o espécime submetido à saliva artificial (DS).

♦ Análise Espectral de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após imersão em Vinho tinto “Galodoro” – DV



**Figura 20** - Espécime DV.



**Gráfico 5** - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em Vinho tinto “Galodoro”.

**Tabela 7** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DV - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em Vinho tinto “Galodoro”.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	546	667539

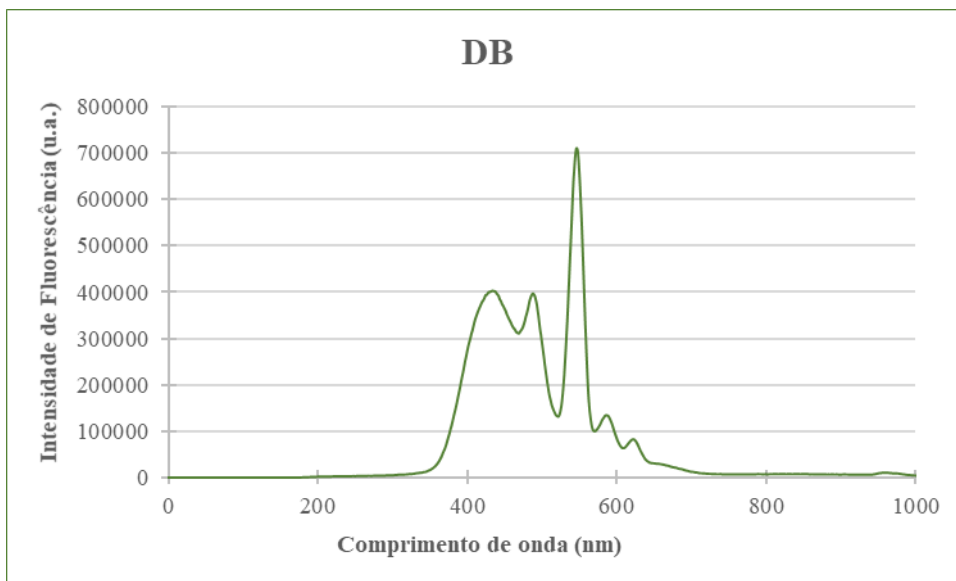
Após a imersão da IPS e.max CAD HT A3/ B40 em Vinho tinto “Galodoro” (DV) (figura 20), podemos verificar certas alterações da intensidade de fluorescência emitida por este espécime (gráfico 5). O pico máximo do DV é de 667539 u.a. aos 546 nm (tabela 7), enquanto que o valor máximo de DO é 994370 u.a. aos 546 nm. Esta solução pigmentante provocou uma diminuição de 32,9% da intensidade de fluorescência emitida, comparativamente a DO (tabela 9). O comprimento de onda de emissão do pico máximo é de 546 nm, sendo correspondente à cor verde da radiação visível do espectro eletromagnético, radiação esta que é detetada pelo olho humano.

Tendo em conta a comparação das soluções pigmentantes estudadas até ao momento, a solução de Vinho tinto “Galodoro” (DV) é a que provoca mais alterações da intensidade de fluorescência emitida, seguida do Café (DC) e, por último, a Saliva artificial (DS).

♦ Análise Espectral de IPS e.max CAD HT A3/ B40 (Ivoclar Vivadent® - Schaan, Liechtenstein) após imersão em *Black Vodka Eristoff Black* – DB



**Figura 21** - Espécime DB.



**Gráfico 6** - Espectro de fluorescência de IPS e.max CAD HT A3/ B40 após imersão em *Black Vodka Eristoff Black*.

**Tabela 8** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime DB - IPS e.max CAD HT A3/ B40 - após imersão em *Black Vodka Eristoff Black*.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	546	711865

Após a imersão de IPS e.max CAD HT A3/ B40 em *Black Vodka Eristoff Black* (DB) (figura 21), também foram detetadas alterações significativas da intensidade de fluorescência emitida. O pico máximo de DB é de 711865 u.a. aos 546 nm (tabela 8), enquanto que para o DO é de 994370 u.a. aos 546 nm. Sendo assim, a ação da solução pigmentante *black vodka*, neste espécime, provocou uma queda de 28,4% da intensidade emitida, quando comparada com DO (tabela 9). O comprimento de onda de DB, correspondente ao pico máximo, localiza-se na zona visível do espectro eletromagnético.

Ao analisarmos as quatro soluções pigmentantes, sendo estas: saliva artificial, café, vinho tinto e *black vodka*, é possível concluir que a solução com menor influencia sob a intensidade de fluorescência emitida pela cerâmica IPS e.max CAD HT A3/ B40 é a saliva artificial (DS) e a solução que mais provocou alterações de fluorescência foi o vinho tinto (DV) (figura 22).

**Tabela 9** - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes na cerâmica IPS e.max CAD HT A3/ B40, tendo em conta o espécime intacto DO.

<b>Dissilicato de lítio IPS e.max (D)</b>	
<b>Saliva Artificial (S)</b>	↓ 5,8%
<b>Café (C)</b>	↓ 14,9%
<b>Black vodka (B)</b>	↓ 28,4%
<b>Vinho tinto (V)</b>	↓ 32,9%

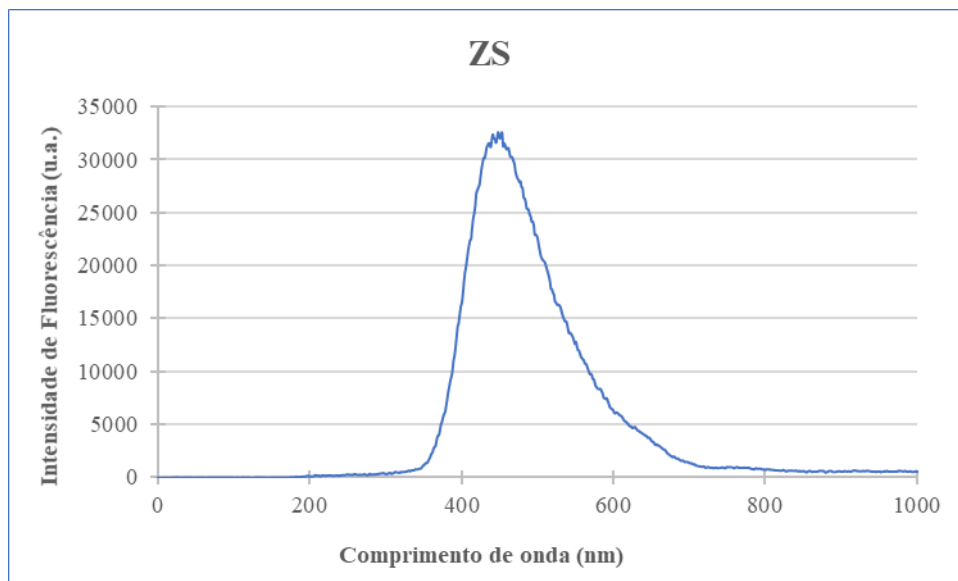


**Figura 22** - Imagem representativa das alterações de fluorescência na cerâmica IPS e.max CAD HT A3/B40, tendo em conta todas as soluções pigmentantes: da esquerda para a direita, iniciando na que provoca menos alterações (DS), finalizando na que provoca mais alterações (DV).

◆ Análise Espectral de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após imersão em saliva artificial (pH=6,3-6,4) – ZS



**Figura 23** - Espécime ZS.



**Gráfico 7** - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em saliva artificial.

**Tabela 10** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZS – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em saliva artificial.

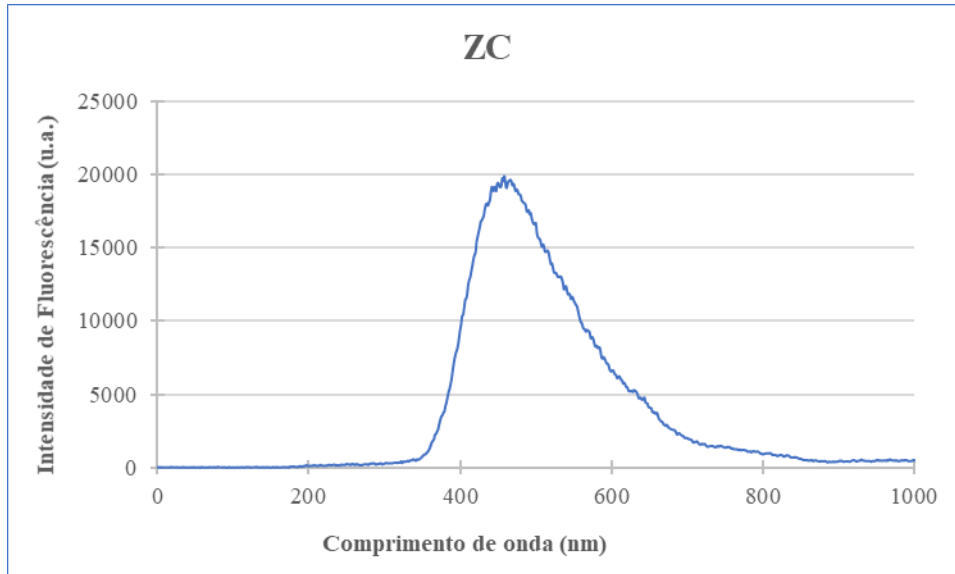
	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	447	32553

Após a imersão de ICE Zirkon Transluzent 95H12 em Saliva artificial (ZS) (figura 23), podemos verificar que houve alterações da intensidade de fluorescência emitida (gráfico 7) portanto, a saliva artificial altera a propriedade deste material restaurador. O pico máximo de fluorescência do espécime ZS é de 32553 u.a. aos 447 nm (tabela 10). Quanto ao valor máximo de ZO, este é 73399 u.a. aos 441 nm, ou seja, detetou-se uma diminuição de 55,6% da intensidade de fluorescência emitida por ZS, quando comparada com ZO (tabela 14). A zona do espectro eletromagnético correspondente ao comprimento de onda do pico máximo é a radiação visível, mais precisamente a radiação correspondente à cor azul.

♦ Análise Espectral de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após imersão em café Sical “Clássico” – ZC



**Figura 24** - Espécime ZC.



**Gráfico 8** - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em café *Sical* “Clássico”.

**Tabela 11** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZC – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em café *Sical* “Clássico”.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	458	19875

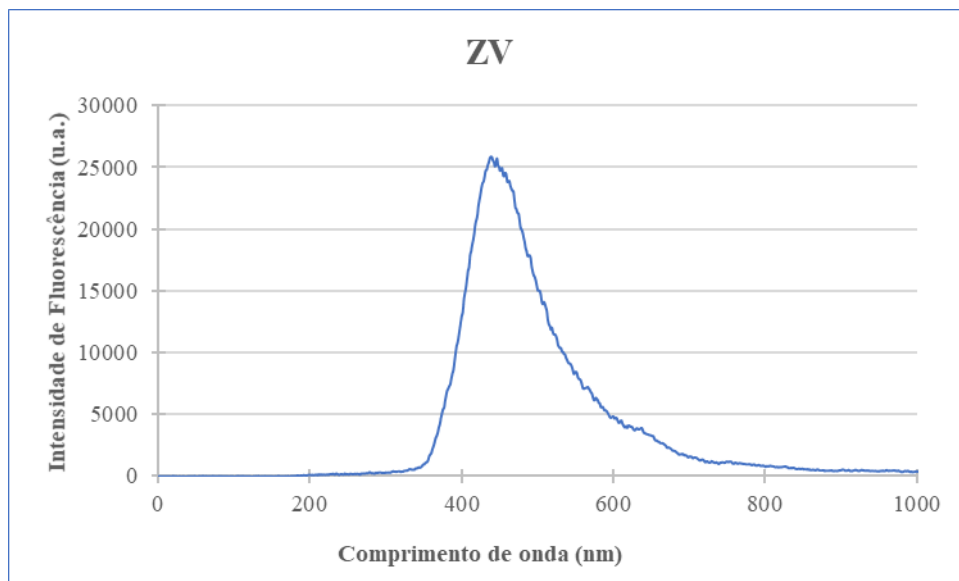
Após a imersão de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 no Café *Sical* “Clássico” (ZC) (figura 24), foram observadas alterações da fluorescência emitida por esta cerâmica, sob a ação desta solução pigmentante (gráfico 8). O pico máximo registado foi de 19875 u.a. aos 458 nm (tabela 11), enquanto que o de ZO é de 73399 u.a. aos 441 nm. Posto isto, podemos assumir que houve uma diminuição de 72,9% da intensidade de fluorescência emitida (tabela 14). O comprimento de onda correspondente ao pico máximo de ZC encontra-se na zona azul do espectro visível.

Fazendo uma comparação com a saliva artificial (ZS), o café (ZC) foi a solução que provocou uma maior queda da intensidade de fluorescência emitida.

♦ Análise Espectral de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após imersão em Vinho tinto “Galodoro” – ZV



**Figura 25** - Espécime ZV.



**Gráfico 9** - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em Vinho tinto “Galodoro”.

**Tabela 12** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZV – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em Vinho tinto “Galodoro”.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	437	25807

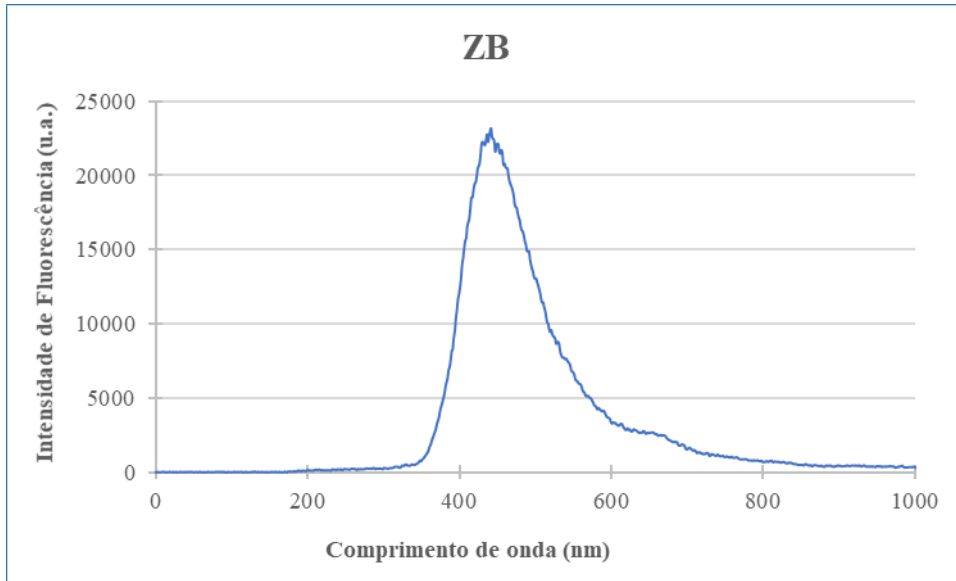
Após a imersão de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 no vinho tinto “Galodoro” (ZV) (figura 25), verificamos que esta solução pigmentante também causa variações na intensidade de fluorescência emitida por esta cerâmica (gráfico 9). O pico máximo detetado é de 25807 u.a. aos 437 nm (tabela 12), mantendo-se na zona do espectro correspondente à radiação violeta. Sendo assim, podemos afirmar que houve uma diminuição de 64,8% da intensidade de fluorescência emitida por ZV, relativamente ao espécime ZO (tabela 9).

Ao compararmos as soluções pigmentantes já descritas, podemos observar que ZS foi a que sofreu menos alterações, seguida de ZV e, por último, ZC.

♦ Análise Espectral de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Zirkonzahn® - Gais, Itália) após imersão em *Black Vodka Eristoff Black* – ZB



**Figura 26** - Espécime ZB.



**Gráfico 10** - Espectro de fluorescência de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 após imersão em *Black Vodka Eristoff Black*.

**Tabela 13** - Valores correspondentes ao pico máximo do espécime ZB – CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - após imersão em *Black Vodka Eristoff Black*.

	<b>Comprimento de onda (nm)</b>	<b>Intensidade de fluorescência (u.a.)</b>
<b>Pico Máximo</b>	441	23192

Após a imersão de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 na *Black Vodka Eristoff Black* (ZB) (figura 26), podemos constatar alterações na intensidade de fluorescência emitida (gráfico 10). O pico máximo de fluorescência emitida foi de 23192 u.a. aos 441 nm (tabela 13). Podemos então assumir que houve uma diminuição de 68,4% na intensidade de fluorescência emitida, comparativamente com ZO (tabela 14). O comprimento de onda situa-se na zona azul da radiação visível do espectro eletromagnético.

É de notar que, para a cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, a solução pigmentante que provocou alterações menos acentuadas foi a saliva artificial (ZS), seguindo-se o vinho tinto (ZV), *black vodka* (ZB) e, por fim, o café (ZC) (figura 27).

**Tabela 14** - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes na cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta o espécime intacto ZO.

<b>Zircónia – ICE Zirkon (Z)</b>	
<b>Saliva Artificial (S)</b>	↓ 55,6%
<b>Vinho tinto (V)</b>	↓ 64,8%
<b>Black vodka (B)</b>	↓ 68,4%
<b>Café (C)</b>	↓ 72,9%



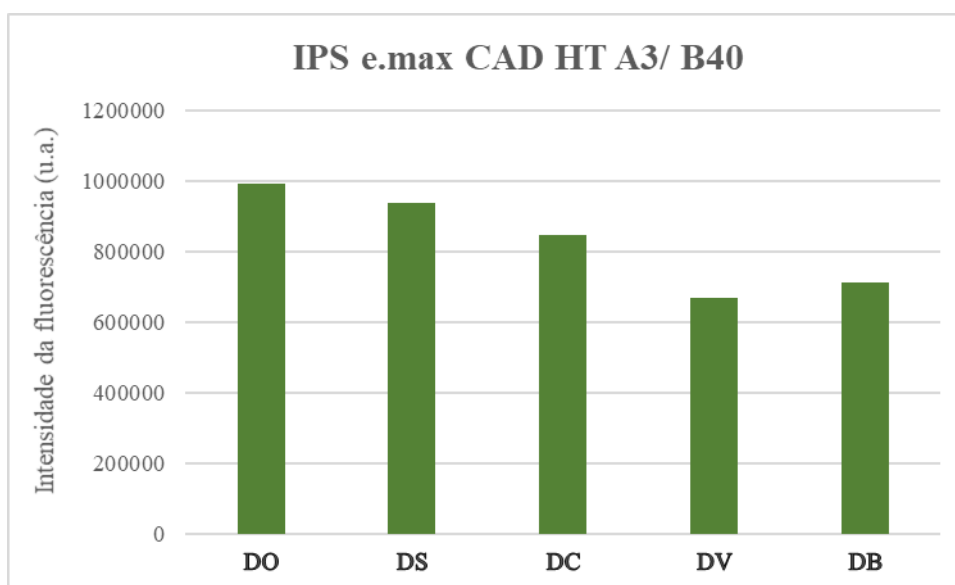
**Figura 27** - Imagem representativa das alterações de fluorescência na cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta todas as soluções pigmentantes: da esquerda para a direita, iniciando na que provoca menos alterações (ZS), finalizando na que provoca mais alterações (ZC).

Depois de compararmos as alterações de fluorescência observadas em cada situação, é relevante a realização de uma análise de comparação destas mesmas alterações, mas agora entre ambas as cerâmicas estudadas (tabela 15). Podemos então

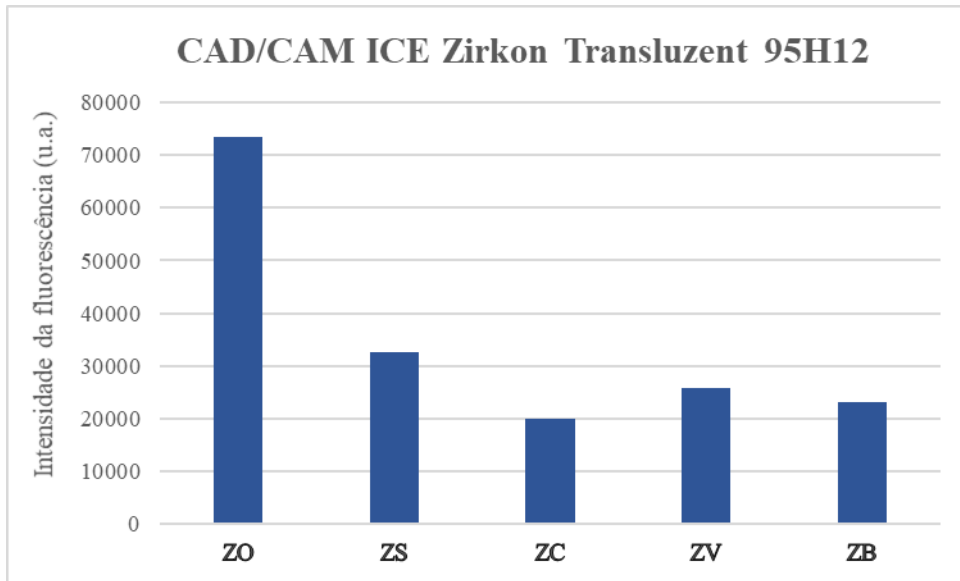
afirmar que todas as soluções pigmentantes utilizadas neste estudo provocaram um decréscimo nas intensidades de fluorescência emitidas pelas cerâmicas IPS e.max CAD HT A3/ B40 e CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (gráfico 11 e 12).

**Tabela 15** - Comparação das alterações de fluorescência provocadas pelas soluções pigmentantes nas duas cerâmicas estudadas - IPS e.max CAD HT A3/ B40 e CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 - tendo em conta os espécimes intactos DO e ZO.

Solução pigmentante	Dissilicato de lítio IPS e.max (D)	Zircónia – ICE Zirkon (Z)
Saliva Artificial (S)	↓ 5,8%	↓ 55,6%
Café (C)	↓ 14,9%	↓ 72,9%
Vinho tinto (V)	↓ 32,9%	↓ 64,8%
Black vodka (B)	↓ 28,4%	↓ 68,4%



**Gráfico 11** - Comparação dos valores de IPS e.max CAD HT A3/B40, tendo em conta o espécime de controlo e todos os meios de imersão.



**Gráfico 12** - Comparação dos valores de CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, tendo em conta o espécime de controlo e todos os meios de imersão.



## VI. DISCUSSÃO

Já é do nosso conhecimento que a luz não é composta somente pelas dimensões da cor (matiz, croma e valor), mas também está relacionada com outras propriedades físicas e óticas inerentes às ondas eletromagnéticas. O estudo da fluorescência tem grande relevância, pois é uma propriedade que proporciona vitalidade à restauração e minimiza o efeito metamérico entre o dente e o material restaurador. Os dentes artificiais que não possuem fluorescência são mais escuros quando incorporados numa arcada juntamente com as restantes peças dentárias e isto pode gerar um desconforto estético para o paciente. Este desconforto pode ser desde uma aparência ligeiramente mais acinzentada sob luz natural, devido a um valor mais baixo do dente restaurado, até uma aparência muito escura em estabelecimentos noturnos com luz ultravioleta (Scalco & Francci, 2017).

Até o momento, estudos baseados na avaliação, quantificação e comparação da intensidade da fluorescência dos materiais cerâmicos são bastante escassos. Essa falta de informação torna o comportamento da fluorescência difícil de entender, representando uma lacuna nesta área do conhecimento (Volpato et al., 2018).

É aparente que muitos dos trabalhos em cerâmica não correspondem às características de luminescência dos dentes naturais, em relação ao comprimento de onda da luminescência máxima ou até à sua intensidade. A fluorescência do dente é mais forte que a das cerâmicas e esta diferença permite discriminar, com sucesso, a cerâmica do dente restaurado, o que sugere assim a possibilidade de um método de detecção (Tani, Watari & Uo, 2004; Wozniak & Moore, 1978).

A intensidade da fluorescência está fortemente relacionada ao tipo e composição da cerâmica, tendo em conta a presença ou não de luminóforos. Os espectros de excitação e emissão dependem da composição da cerâmica, matriz cristalina e ainda das condições de sinterização (Volpato et al., 2018).

Em 2011, foi realizado um estudo que demonstrou ser o mais semelhante com a presente investigação. Gawriolek et al. (2011) estudaram a luminescência, reflectância e variação de cor ( $\Delta E$ ) em diversos materiais sendo estes: cerâmica IPS e.max e IPS Classic (Ivoclar Vivadent, Lichtenstein, Alemanha), e dois compósitos, Gradia (GC Europe, Leuven, Bélgica) e Sinfony (3M ESPE, Seefeld, Alemanha). Os espécimes foram imersos em café, chá, vinho tinto e água destilada durante 5 dias e as medições da fluorescência foram realizadas através de um espectrofluorímetro. Como já seria de esperar, a imersão nas diferentes bebidas pigmentantes originou uma alteração de cor ( $\Delta E$ ) mais acentuada

nos materiais resinosos, em comparação com as cerâmicas, que se mantiveram dentro do limite do aceitável. Quanto à luminescência, já sabemos que se trata de um termo que caracteriza a emissão de luz por uma substância, logo os espécimes estudados podem apresentar fluorescência, fosforescência ou ambos. Foi através da luminescência induzida por laser (LIL) que foram obtidos os espectros de emissão, sendo que a intensidade inicial registada foi muito diferente entre os materiais estudados. Com a análise dos resultados, foi possível notar que a intensidade da luminescência dos espécimes pigmentados é significativamente inferior à dos espécimes do grupo de controlo, havendo uma diminuição de cerca de 40%, dependendo da bebida e do material. Gradia foi o que apresentou a intensidade de luminescência mais forte e Sinfony a mais fraca de todas. Os dois materiais cerâmicos apresentaram uma luminescência ligeiramente mais fraca em relação a Gradia. Apesar disto, foi na duração da vida útil da fluorescência onde foram detetados os resultados mais interessantes, uma vez que os valores se mantiveram inalterados após a imersão nas soluções pigmentantes. Sabemos que a fluorescência é emitida quando os eletrões retornam ao seu estado fundamental, após serem excitados pela fonte de luz. O facto destes valores não sofrerem mudanças, significa que o tempo de vida útil das emissões é independente do grau de pigmentação, ou seja, podemos excluir a contribuição de eventuais efeitos de atenuação do estado excitado, por parte dos corantes adsorvidos, o que nos faz deduzir que esta não será a razão da degradação da intensidade da luminescência. Assim sendo, Gawriolek et al. (2011) concluíram que os resultados associados à diminuição da intensidade da luminescência devem-se provavelmente à extinção da excitação dos fotões incidentes e dos fotões luminescentes emitidos, devido aos corantes adsorvidos, não se devendo propriamente a algum fenómeno específico de transferência de energia entre os componentes luminescentes dos materiais dentários e os corantes utilizados.

À semelhança do estudo anterior, também foram detetadas grandes diferenças no pico máximo da fluorescência da presente investigação. Isto permite-nos então rejeitar as duas hipóteses nulas, pois tanto IPS e.max CAD HT A3/ B40, como CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12, sofreram alterações na intensidade da fluorescência, após a imersão nas bebidas pigmentantes.

Como foi dito anteriormente, a luminescência induzida por laser torna possível a realização de estudos espectroscópicos e cinéticos de moléculas orgânicas adsorvidas em diferentes substratos sólidos. Tendo em conta que os espécimes desta investigação não foram sujeitos a um protocolo de polimento ou à aplicação de *glaze*, podemos concluir

que a penetração das moléculas orgânicas, nas nanocavidades das cerâmicas, foi facilitada. Por este motivo, conseguimos logo compreender o porquê de a própria saliva artificial influenciar os valores da intensidade da fluorescência, uma vez que as moléculas orgânicas desta solução também foram incorporadas nas porosidades.

É importante referenciar, desde já, que a comparação de valores será mais fidedigna se realizada perante os espécimes sujeitos à saliva artificial e não perante os espécimes intactos. Os espécimes que não foram submetidos a qualquer solução não devem ser inteiramente associados aos resultados, pois não retratam condições consideradas reais.

No entanto, com os espécimes de controlo conseguimos detetar, logo de início, que o dissilicato de lítio é um material mais luminescente que a cerâmica de zircónia. Com os restantes resultados, observamos também que o dissilicato de lítio é mais resistente em termos de adsorção, pois não houve grande alteração entre a saliva e as restantes bebidas. Por outro lado, é possível perceber que a zircónia apresentou um carácter de adsorção maior. Isto permite-nos concluir que IPS e.max CAD HT A3/ B40 demonstrou um melhor comportamento perante a exposição às diversas soluções, provando ser melhor em relação a CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12.

Os componentes principais da cerâmica definem a sua natureza e o comportamento do material. Ambas as cerâmicas têm diferentes composições, por isso apresentam diferentes propriedades e características de adsorção. Por esta razão, iremos ter uma resposta distinta perante a redução da luminescência, sendo esta a base de uma possível explicação para os resultados obtidos.

Sabendo que a zircónia tem como componente principal o dióxido de zircónia ( $ZrO_2$ ) e que, no caso do dissilicato de lítio, o seu componente principal é o dióxido de silício ( $SiO_2$ ) (anexos), poderíamos supor que a capacidade de adsorção de  $ZrO_2$  é maior que a de  $SiO_2$ .

Isto poderia explicar, de certa forma, os resultados obtidos na zircónia, no que toca à solução de café. Esta bebida, foi a única solução que foi utilizada a uma temperatura superior (aprox.  $50^\circ C$ ), para simular ao máximo as condições reais e para que todos os compostos desta solução estivessem “ativos”. Se a solução de café tivesse sido utilizada à temperatura ambiente, os resultados poderiam não ser os mesmos. Portanto, supondo que o  $ZrO_2$  tem uma maior capacidade de adsorção e, juntando isto com o facto de que o café é mais adsorvível se estiver a altas temperaturas, esta seria uma forma de explicar o porquê de o café ter causado uma diminuição tão acentuada nesta cerâmica.

Outra das possíveis explicações será o próprio corte dos espécimes. O corte do dissilicato de lítio foi feito através do micrótomo de tecidos duros, enquanto que a cerâmica de zircónia teve de ser cortada com recurso ao disco diamantado. Posto isto, a superfície do dissilicato de lítio ficou mais homogênea e a superfície da zircónia ficou mais irregular. Isto leva-nos a concluir que houve a incorporação de uma maior quantidade de moléculas orgânicas nas porosidades deste material explicando, mais uma vez, a grande diminuição da intensidade da fluorescência na zircónia.

Em 2017, Colombo et al. submeteram diferentes tipos de zircónia a soluções de coca-cola e café, num período de 28 dias. A imersão por si só na bebida ácida não causou pigmentação perceptível a qualquer um dos materiais, mas, após a imersão nas bebidas pigmentantes, todos os espécimes de zircónia sofreram alterações de cor consideráveis, embora clinicamente aceitáveis. Foi possível concluir que a pigmentação com o café foi predominantemente extrínseca, pois foi efetivamente removida através do polimento com pasta profilática. Associando esta informação com a presente investigação, é possível a suposição de que a penetração das moléculas orgânicas das soluções pigmentantes, nas cerâmicas dentárias, mantem-se apenas à superfície, ou seja, talvez haja a possibilidade de que, tanto a pigmentação, como a própria alteração da fluorescência possam ser revertidas, até certo ponto, com a limpeza acertada.

Ao referir as limitações deste estudo, é importante salientar que se trata de uma investigação *in vitro*, querendo isto dizer que, em situações clínicas reais, as peças de cerâmica não teriam um período de exposição tão longo. Para além disso, a própria restauração estaria aderida à peça dentária, logo apenas uma das faces estaria exposta ao ambiente oral e, conseqüentemente, às bebidas e alimentos com potencial pigmentante. Apesar disso, o uso diário da pasta dentífrica, para a correta higiene oral, ajuda também na limpeza das peças restauradoras. Concluindo, as variações reais da fluorescência poderão não ter a mesma magnitude, comparando com as diferenças encontradas neste estudo *in vitro*.

## VII. CONCLUSÕES

Após a análise e comparação da intensidade da fluorescência e tendo em conta as limitações deste estudo, obtiveram-se as seguintes conclusões:

1. As intensidades de fluorescência emitidas pelas duas cerâmicas, na ausência de soluções pigmentantes, são bastante diferentes.
2. A cerâmica IPS e.max CAD HT A3/ B40 é mais luminescente que a cerâmica CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12.
3. Todas as soluções pigmentantes provocaram alterações na intensidade da fluorescência, embora em diferentes percentagens.
4. A solução pigmentante que menos afetou a IPS e.max CAD HT A3/ B40 foi a saliva artificial.
5. A solução pigmentante que mais afetou IPS e.max CAD HT A3/ B40 foi o vinho tinto.
6. A solução pigmentante que menos afetou a CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 foi a saliva artificial.
7. A solução pigmentante que mais afetou CAD/CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 foi o café.
8. De um modo geral, a diminuição da luminescência irá depender da porosidade, cristalinidade, caráter de adsorção e natureza/composição do material.

Com o intuito de sugerir temáticas para investigações futuras, seria importante a avaliação da fluorescência tendo em conta os outros parâmetros da cor, de forma a confirmar se existe, ou não, alguma relação entre a mudança de cor e a alteração da fluorescência. O tamanho dos grãos constituintes das cerâmicas, a exploração dos efeitos das bebidas ácidas e a influencia de um protocolo de acabamento são também variáveis importantes a ter em consideração. Por fim, seria igualmente interessante o estudo de outros alimentos ou bebidas pigmentantes, como por exemplo o molho de soja ou o caril, ambos muito presentes hoje em dia na nossa alimentação.



## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, V. S., & Kapoor, S. (2013). Color and shade management in esthetic dentistry. *Universal Research Journal of Dentistry*, 3(3), 120-127. <https://doi.org/10.4103/2249-9725.123975>
- Babu, P. J., Alla, R. K., Alluri, V. R., Datla, S. R., & Konakanchi, A. (2015). Dental Ceramics: Part I – An Overview of Composition, Structure and Properties. *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 3(1), 13–18. <https://doi.org/10.12691/MATERIALS-3-1-3>
- Bajraktarova-Valjakova, E., Korunoska-Stevkovska, V., Kapusevska, B., Gigovski, N., Bajraktarova-Misevska, C., & Grozdanov, A. (2018). Contemporary dental ceramic materials, a review: Chemical composition, physical and mechanical properties, indications for use. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 6(9), 1742–1755. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.378>
- Balic, A. (2018). Biology explaining tooth repair and regeneration: A mini-review. *Gerontology*, 64(4), 382–388. <https://doi.org/10.1159/000486592>
- Bolla, S. C., Gantha, N. S., & Sheik, R. B. (2014). Review of History in the Development of Esthetics in Dentistry. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 13(6), 31–35. <https://doi.org/10.9790/0853-13643135>
- Botelho do Rego, A. M., & Ferreira, L. F. V. (2001). Photonic and electronic spectroscopies for the characterization of organic surfaces and organic molecules adsorbed on surfaces. *Experimental Methods in the Physical Sciences*, 38, 269–354. [https://doi.org/10.1016/S1079-4042\(01\)80051-5](https://doi.org/10.1016/S1079-4042(01)80051-5)
- Chu, S. J., Devigus, A., & Mieleszko, A. (2004) *Fundamentals of Color: Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry, 3rd Edition*. Chicago, IL; London: Quintessence Pub.

- Colombo, M., Cavallo, M., Miegge, M., Dagna, A., Beltrami, R., Chiesa, M., & Poggio, C. (2017). Color stability of CAD/CAM Zirconia ceramics following exposure to acidic and staining drinks. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, *9*(11), e1297–e1303. <https://doi.org/10.4317/jced.54404>
- Cutnell, J. D., & Johnson, K. W. (2012). *Physics, 9th Edition*. United States: Wiley.
- Della Bona, A., Pecho, O. E., Ghinea, R., Cardona, J. C., & Pérez, M. M. (2015). Colour parameters and shade correspondence of CAD-CAM ceramic systems. *Journal of Dentistry*, *43*(6), 726–734. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.02.015>
- dos Santos, D. M., da Silva, E. V. F., Watanabe, D., Bitencourt, S. B., Guiotti, A. M., & Goiato, M. C. (2017). Effect of different acidic solutions on the optical behavior of lithium disilicate ceramics. *Journal of Prosthetic Dentistry*, *118*(3), 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.10.023>
- Ferreira, L. F. V. (1999). Fotoquímica de corantes (e outras moléculas orgânicas) em superfícies. *Química*, *72*, 28-46. Retrieved from <https://www.spq.pt/magazines/BSPQuimica/596/pdf>
- Ferreira, L. F. V., & Machado, I. L. F. (2007). Surface Photochemistry: Organic Molecules within Nanocavities of Calixarenes. *Current Drug Discovery Technologies*, *4*(4), 229–245. <https://doi.org/10.2174/157016307783220521>
- Figueira, J. A., McLaren, E., & Park, S. (2015). The Essence of Fluorescence. *Journal of Cosmetic Dentistry*, *30*(4), 82-92. Retrieved from [http://thinkblue.me/Pubs/PDFs/Ess\\_of\\_Fluorescence.pdf](http://thinkblue.me/Pubs/PDFs/Ess_of_Fluorescence.pdf)
- Francci, C. E., Nishida, A. C., Lodovici, E., Witzel, M. F., Oliveira, J. A., & Calasans, A. (2012). Estética: o passo a passo de um novo sorriso TT - Aesthetics: step by step for a new smile. *Revista da Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas*, *66*(3), 182–189. Obtido de <http://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/lil-667468>
- Fusayama, T., Katayori, T., & Nomoto, S. (1963). Corrosion of Gold and Amalgam Placed in Contact with Each other. *Journal of Dental Research*, *42*(5), 1183–1197. <https://doi.org/10.1177/00220345630420051301>

- Gawriolek, M., Sikorska, E., Ferreira, L. F. V, Costa, A. I., Khmelinskii, I., Krawczyk, A., ... Koczorowski, R. (2012). Color and Luminescence Stability of Selected Dental Materials In Vitro. *Journal of Prosthodontics*, 21(2), 112–122. <https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2011.00808.x>
- Gomes, E. A., Assunção, W. G., Rocha, E. P., & Santos, P. H. (2008). Cerâmicas odontológicas: o estado atual. *Cerâmica*, 54(331), 319–325. <https://doi.org/10.1590/s0366-69132008000300008>
- Gracis, S., Thompson, V., Ferencz, J., Silva, N., & Bonfante, E. (2015). A New Classification System for All-Ceramic and Ceramic-like Restorative Materials. *The International Journal of Prosthodontics*, 28(3), 227–235. <https://doi.org/10.11607/ijp.4244>
- Guerra, C.M.F., Neves, C.A.F., Almeida, E.C.B., Valones, M.A.A., & Guimarães, R. P. (2007). Estágio atual das cerâmicas odontológicas. *International Journal of Dentistry*, 6(3), 90–95. Retrieved from [https://pdfs.semanticscholar.org/8d0f/455321645130b5342b327bd528ac8670faa8.pdf?\\_ga=2.264318927.158741369.1571323824-1563790859.1570744242](https://pdfs.semanticscholar.org/8d0f/455321645130b5342b327bd528ac8670faa8.pdf?_ga=2.264318927.158741369.1571323824-1563790859.1570744242)
- Kapadia, Y., & Jain, V. (2018). Tooth Staining: A Review of Etiology and Treatment Modalities. *Acta Scientific Dental Sciences*, 2(6), 67–70. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/322509199\\_Tooth\\_staining\\_A\\_review\\_of\\_etiology\\_and\\_treatment\\_modalities](https://www.researchgate.net/publication/322509199_Tooth_staining_A_review_of_etiology_and_treatment_modalities)
- Lakowicz J. R. (2006). *Principles of Fluorescence Spectroscopy, 3rd Edition*. Maryland: Sringer. Retrieved from <http://nathan.instras.com/MyDocsDB/doc-800.pdf>
- Lima, R., Figueiredo, R., Andrade, A., & Duarte, R. (2013). Otimizando a Estética do Sorriso através de Coroa Cerâmica “Metal Free” - Relato de caso. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde*, 17(2), 165–170. <https://doi.org/10.4034/RBCS.2013.17.02.09>
- Lombardi, R. E. (1973). The principles of visual perception and their clinical application to denture esthetics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 29(4), 358–382. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(73\)80013-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(73)80013-7)

- Meller, C., & Klein, C. (2015). Fluorescence of composite resins: A comparison among properties of commercial shades. *Dental Materials Journal*, 34(6), 754–765. <https://doi.org/10.4012/dmj.2014-219>
- Montenegro, A. K. R. A., Silva, B. M. A. H., Firoozmand, L. M., Lago, A. D. N., & Costa, J. F. (2016). Alterações das Propriedades Óticas do Esmalte e da Dentina após o Clareamento Dental – Uma Revisão da Literatura. *Revista da Faculdade de Odontologia de Lins*, 26(2), 75–82. <https://doi.org/10.15600/2238-1236/fo1.v26n2p75-8>
- Naji, G. A. H., Omar, R. A., & Yahya, R. (2018). An overview of the development and strengthening of all-ceramic dental materials. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 11(3), 1553–1563. <https://doi.org/10.13005/bpj/1522>
- Nanci, A. (2018). *Ten Cate's Oral Histology, 9th Edition*. Canada: Elsevier.
- O'Brien, W. J. (2002). *Dental Materials and Their Selection, 3rd Ed.* Retrieved from [http://carioulegion.com/temp\\_content/Dental%20Materials%20and%20Their%20Selection.pdf](http://carioulegion.com/temp_content/Dental%20Materials%20and%20Their%20Selection.pdf)
- Ojeda, G. D., Gutiérrez, I. H., Marusic, Á. G., Rosales, A. B., & Lanchares, J. P. T. (2017). A Step-by-Step Conservative Approach for CAD-CAM Laminate Veneers. *Case Reports in Dentistry*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/3801419>
- Pires-de-Souza, F. de C. P., Casemiro, L. A., Roberti Garcia, L. da F., & Cruvinel, D. R. (2009). Color stability of dental ceramics submitted to artificial accelerated aging after repeated firings. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 101(1), 13–18. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(08\)60282-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(08)60282-6)
- Prathap, S., Rajesh, H., Bloor, V. A., & Rao, A. S. (2013). Extrinsic stains and management: A new insight, 1(8), 435–442. Retrieved from [https://pdfs.semanticscholar.org/49d2/abad81abf44e222b6dec4451577385d417bf.pdf?\\_ga=2.100795201.158741369.1571323824-1563790859.1570744242](https://pdfs.semanticscholar.org/49d2/abad81abf44e222b6dec4451577385d417bf.pdf?_ga=2.100795201.158741369.1571323824-1563790859.1570744242)

- Radaelli, M. T. B., Schuhb, C., Federizzi, L., Bacchi, A., & Spazzinb, A. O. (2012). Propriedades ópticas relacionadas à estética dental. *Journal of Oral Investigations*, 1(2), 22-27. <https://doi.org/10.18256/2238-510x/j.oralinvestigations.v1n2p22-27>
- Ritter, A.V., Boushell, L. W., & Walter R. (2019) *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry, 7th Edition*. Missouri: ELSEVIER
- Scalco, V., Francci, C. E. (2017). Análise da importância da fluorescência nas cerâmicas dentais. *FGM news – Estética*, 19, 86-90. Retrieved from <https://scalcoodontologia.com.br/wp-content/uploads/2017/02/materia-dr-valter-scalco-fgm.pdf>
- Shahmiri, R., Standard, O. C., Hart, J. N., & Sorrell, C. C. (2018). Optical properties of zirconia ceramics for esthetic dental restorations: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 119(1), 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.009>
- Tani, K., Watari, F., Uo, M., & Morita, M. (2004). Fluorescent properties of porcelain-restored teeth and their discrimination. *Materials Transactions*, 45(4), 1010–1013. <https://doi.org/10.2320/matertrans.45.1010>
- Vadher, D. R., Parmar, D. G., Kanodia, D. S., Chaudhary, D. A., Kaur, D. M., & Savadhariya, D. T. (2014). Basics of Color in Dentistry: A Review. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 13(9), 78–85. <https://doi.org/10.9790/0853-13917885>
- Volpato, C. A. M., Fredel, M. C., Philippi, A. G., & Petter, C. O. (2010). Ceramic Materials and Color in Dentistry, *Ceramic Materials*, 155–175. Retrieved from [https://pdfs.semanticscholar.org/f4e2/1d4e036fdc844f048317c938ff78b03abc92.pdf?\\_ga=2.172574819.158741369.1571323824-1563790859.1570744242](https://pdfs.semanticscholar.org/f4e2/1d4e036fdc844f048317c938ff78b03abc92.pdf?_ga=2.172574819.158741369.1571323824-1563790859.1570744242)
- Volpato, C. A. M., Pereira, M. R. C., & Silva, F. S. (2018). Fluorescence of natural teeth and restorative materials, methods for analysis and quantification: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 30(5), 397–407. <https://doi.org/10.1111/jerd.12421>

- Walker, J., Halliday, D., & Resnick, R. (2014). *Fundamentals of Physics, 10th Edition*. Retrieved from <http://www.primeuniversity.edu.bd/160517/vc/eBook/download/fundamentals-of-physics-textbook.pdf>
- Willard, A., & Gabriel Chu, T.-M. (2018). The science and application of IPS e.Max dental ceramic. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 34(4), 238–242. <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2018.01.012>
- Wozniak, W. T., & Moore, B. K. (1978). Luminescence Spectra of Dental Porcelains. *Journal of Dental Research*, 57(11), 971–974. <https://doi.org/10.1177/00220345780570111201>

## IX.ANEXOS

**(1) Composição da Saliva artificial (pH=6,3-6,4) (adaptado de Fusayama et al, 1962):**

NaCl – 0.400g

KCl – 0.400g

CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O - 0.906g

NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O – 0.390g

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0.142g

Na<sub>2</sub>S.9H<sub>2</sub>O – 0.005g

CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> – 1g

1000 ml Água destilada



(2) Folheto informativo IPS e.max CAD HT A3/B40 (Retirado de <http://downloads.ivoclarvivadent.com/zoolu-website/media/document/9793/IPS+e-max+CAD> (15/10/2019)):

<b>Composição</b>	<b>(% por peso)</b>
SiO <sub>2</sub>	57.0 – 80.0
Li <sub>2</sub> O	11.0 – 19.0
K <sub>2</sub> O	0.0 – 13.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0 – 11.0
ZrO <sub>2</sub>	0.0 – 8.0
ZnO	0.0 – 8.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0 – 5.0
MgO	0.0 – 5.0
Óxidos de coloração	0.0 – 8.0

### **Propriedades Físicas**

Coeficiente de expansão térmica (100-400°C)	10.2 10 <sup>-6</sup> /K
Coeficiente de expansão térmica (100-500°C)	10.5 10 <sup>-6</sup> /K
Resistência à flexão (biaxial)	360 MPa
Ductilidade à fratura	2.25 MPa m <sup>0.5</sup>
Módulo de Elasticidade	95 GPa
Dureza Vickers	5800 MPa
Solubilidade química	40 µg/cm <sup>2</sup>
Temperatura de cristalização	840–850/1544-1562 °C/°F

\*conforme ISO 6872



**(3) Folheto informativo CAD/ CAM ICE Zirkon Transluzent 95H12 (Retirado de <https://www.zirkonzahn.com/assets/files/kataloge/EN-Product-catalogue-web.pdf> (15/10 2019)):**

<b>Composição</b>	<b>(%)</b>
ZrO <sub>2</sub>	Componente Principal
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 – 6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 1
SiO <sub>2</sub>	max. 0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 0.01
Na <sub>2</sub> O	max. 0.04

#### **Propriedades Físicas**

Densidade	~ 6 g/cm <sup>3</sup>
Resistência flexural	1200 – 1400 MPa
Dureza de vickers (HV10)	1250 HV10
Módulo de Weibull	~ 15
Coefficiente de expansão térmica (25 – 500 °C)	~ 10,6 *10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Temperatura de Sinterização	1500°C