

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC
CENTRO DE ENGENHARIA, MODELAGEM E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

ANA LUIZA ABRAHÃO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS MICROESTRUTURAIS DO ESMALTE DENTAL
APÓS CLAREAMENTO DENTAL**

São Bernardo do Campo - SP
2017

ANA LUIZA ABRAHÃO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS MICROESTRUTURAIS DO ESMALTE DENTAL
APÓS CLAREAMENTO DENTAL**

Trabalho apresentado como requisito
para obtenção de grau de bacharel em
Engenharia Biomédica pela Pró Reitoria
de graduação da Universidade Federal
do ABC

Orientadora: Prof^a Dr^a Patricia Aparecida
da Ana

São Bernardo do Campo - SP
2017

Abrahão, Ana Luiza

ANÁLISE DAS MUDANÇAS MICROESTRUTURAIS DO
ESMALTE DENTAL APÓS CLAREAMENTO DENTAL / Ana
Luiza Abrahão. — 2017.

71 fls. : il.

Orientadora: Patricia Aparecida da Ana

Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do
ABC, Bacharelado em Engenharia Biomédica, São Bernardo
do Campo, 2017.

1. clareamento dental. 2. esmalte. 3. peróxido de
hidrogênio. 4. LED azul. 5. LED verde. I. Ana, Patricia
Aparecida da. II. Bacharelado em Engenharia Biomédica,
2017. III. Título.

ANA LUIZA ABRAHÃO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS MICROESTRUTURAIS DO ESMALTE DENTAL
APÓS CLAREAMENTO DENTAL**

Essa dissertação foi julgada e aprovada com conceito ____ para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Biomédica pela Universidade Federal do ABC.

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a defesa de TG III de Ana Luiza Abrahão, realizada em 08 de dezembro de 2017.

Profa. Dra. Patricia Aparecida da Ana (Orientadora)

Profa. Dra. Ilka Tiemy Kato Prates

Prof. Dr. Nasser Ali Daghastanli

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de graduação ao meu pai e à minha mãe que nunca mediram esforços para nos ver felizes e realizados, e que nos ensinam todos os dias que a família é a base de tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, à essa energia de amor que me guia, me protege, me inspira e me ilumina todos os dias.

Agradeço imensamente à minha família, pelo amor incondicional, por terem me ensinado a valorizar os estudos desde pequena, por comemorarem cada vitória minha como se fosse deles próprios e por serem abrigo e certeza nos dias mais difíceis e incertos. Solange, Márcio, João Pedro, Dona Mercedes e Seu Aroldo, não existem palavras que expressem minha gratidão, vocês são minha vida!

Às minhas tias e tios, primos e primas, em especial, Lucas, Beatriz, Bruno e Carolina, obrigada por tanto amor e pelas incontáveis lembranças maravilhosas que guardo com muito carinho no meu coração. Mal posso esperar pelas próximas!

Aos professores e professoras que tive o privilégio de conhecer, minha mais sincera admiração! Obrigada por terem me ensinado tanto sobre conteúdos e paixão pela profissão. À professora Patrícia, obrigada pelo apoio durante essa fase turbulenta de trabalho de graduação e saiba que sou eternamente grata pelo voto de confiança que a senhora e professor Emery deram a mim, incentivando minha ida para Austrália. Ao professor Fred e ao meu mais novo colega de UFABC, Matheus, obrigada pela grande ajuda e valorosa contribuição para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos, minha eterna gratidão por me deixarem caminhar ao lado de vocês. Obrigada por me ensinarem tanto, por me apoiarem tanto e por me mostrarem, todos os dias, que é possível acreditar nas pessoas e em um mundo melhor. Carolina, Izabela, Jéssica, Raíssa, Paula e Viviane, obrigada por terem se tornado muito mais que colegas de faculdade! Vocês fizeram com que a minha jornada na UFABC fosse muito mais leve e divertida, e eu não consigo mais imaginar minha vida sem vocês. Esse diploma de engenharia é nosso!

À família Edital 184 que fez parte do ano mais incrível da minha vida: muito obrigada, vocês são inesquecíveis! Maria, Michelle e Thaís, obrigada por dividirem a comida, as angústias e as alegrias na nossa 4/84 Curlewis Street.

Sou imensamente grata por cada alma que passou pelo meu caminho e que deixou ensinamentos sobre a vida e sobre o amor. Não seria o que sou hoje se não tivesse encontrado tantas pessoas incríveis nessa linda jornada.

Obrigada, de coração!

*“É necessário ter caos cá dento para gerar uma
estrela”.*

Friedrich Nietzsche

RESUMO

A percepção e a valorização da aparência facial, especialmente do sorriso, afetam a vida social e profissional de milhares de pessoas. Por esse motivo, aliado à sua relativa segurança, simplicidade e eficácia, o clareamento dental tornou-se um dos procedimentos estéticos mais realizados nos consultórios. No entanto, mesmo utilizando técnicas e protocolos bem definidos, a utilização de luz como agente fotoativador durante o procedimento continua dividindo os profissionais no mundo todo. Assim, o presente estudo buscou, através de avaliações composicionais, de rugosidade e de cor, avaliar a real contribuição e eficácia da luz LED durante a reação de decomposição do agente ativo dos géis clareadores, o peróxido de hidrogênio, quando empregado com um espessante vermelho. Para isso, foram utilizados 30 dentes incisivos bovinos que foram submetidos aos diferentes testes citados acima. Em seguida, os dentes foram distribuídos, aleatoriamente, em 3 grupos de 10 amostras cada e foram submetidos ao processo de clareamento dental. O primeiro grupo não foi ativado com fonte de luz; o segundo, foi ativado com luz LED azul e o terceiro, com luz LED verde. Em seguida, realizaram-se os mesmos testes iniciais de modo a comparar os resultados de cada grupo. De modo geral, os testes de cor, de rugosidade e composicional não mostraram diferenças significativas quando foi realizada a comparação entre o grupo que não utilizou fonte de luz com os grupos que foram fotoativados com luz LED. Todos os procedimentos realizados clarearam os dentes com sucesso. No entanto, ao analisar os resultados apenas dos grupos que foram fotoativados, constatou-se que a luz LED verde apresentou melhores resultados que a luz LED azul, já que o espectro de absorção do gel clareador utilizado (vermelho), apresenta melhor interação com o espectro da luz verde.

PALAVRAS CHAVE

esmalte, clareamento dental, peróxido de hidrogênio, LED azul, LED verde.

ABSTRACT

The perception and the appreciation of the facial appearance, especially the smile, affect the social and professional life of thousands of people. For this reason, in addition to its relative safety, simplicity and effectiveness, dental whitening has become one of the most accomplished aesthetic procedures in the dental offices. However, even using well-defined techniques and protocols, the use of light as a photoactivating agent during the procedure continues to divide professionals worldwide. Therefore, the present study sought, through compositional, roughness and color evaluations, to evaluate the actual contribution and efficacy of LED light during the active agent decomposition reaction of the bleaching gels, hydrogen peroxide, when used in combination with a red thickener. For this, 30 bovine incisor teeth were used, which were submitted to the different tests mentioned above. Then, the teeth were randomly distributed in 3 groups of 10 samples each and were submitted to the tooth whitening process. The first group was not activated with light source; the second was activated with blue LED light and the third with green LED light. Thereafter, the same initial tests were performed in order to compare the results of each group. In general, color, roughness and compositional tests did not show significant differences when comparing the group that did not use a light source with the groups that were photoactivated with LED light. All procedures performed successfully cleared the teeth. However, when analyzing the results only of the groups that were photoactivated, it was verified that the green LED light presented better results than the blue LED light, since the absorption spectrum of the bleaching gel used (red), presents better interaction with the spectrum of the green light.

KEY WORDS

enamel, dental bleaching, hydrogen peroxide, blue LED, green LED.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	p.11
1.1. Estado da Arte.....	p.11
1.2. Justificativa.....	p.13
1.3. Objetivos.....	p.13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	p.14
2.1. A Natureza da Luz.....	p.14
2.1.1. Teorias Corpuscular e Ondulatória da Luz.....	p.14
2.2. Interação Luz-Matéria.....	p.15
2.2.1. Reflexão da Luz.....	p.16
2.2.1.1. Difusão da luz.....	p.17
2.2.2. Refração da Luz.....	p.18
2.2.3. Absorção da Luz.....	p.19
2.2.4. Espalhamento da Luz.....	p.21
2.2.5. Transmissão da Luz.....	p.22
2.3. A Dentição Humana.....	p.23
2.3.1. Anatomia Dental.....	p.25
2.3.2. Fatores Responsáveis pela Coloração Natural dos Dentes.....	p.26
2.3.2.1. Fenômenos Ópticos.....	p.27
2.3.2.1.1. Escala CIELAB.....	p.28
2.3.2.2. Fatores Endógenos.....	p.30
2.3.2.3. Fatores Exógenos.....	p.31
2.3.2.3.1. Causas Extrínsecas.....	p.31
2.3.2.3.2. Causas Intrínsecas.....	p.32
2.4. Mecanismos do Clareamento Dental.....	p.32
2.4.1. Clareamento Dental <i>In Office</i> x Clareamento Dental <i>At Home</i>	p.33
2.4.2. Utilização de Fontes de Luz nos Procedimentos <i>In Office</i>	p.35
2.5. O Laser e o LED como Agentes Fotossensíveis.....	p.35
2.5.1. O LED.....	p.38
2.5.1.1. Interação da Luz LED com o Material Biológico.....	p.39
3. METODOLOGIA.....	p.40

3.1.	Delineamento Experimental.....	p.40
3.2.	Preparo das Amostras.....	p.41
3.3.	Delimitação da área de clareamento.....	p.42
3.4.	Grupos Experimentais e o Processo de Clareamento Dental.....	p.44
3.5.	Análise de Cor.....	p.44
3.6.	Análise da rugosidade superficial.....	p.45
3.7.	Análise Composicional – FTIR.....	p.48
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	p.49
4.1.	Análise da Cor.....	p.49
4.2.	Análise das Rugosidades Superficial Média e Total.....	p.55
4.3.	Análise Composicional.....	p.60
5.	CONCLUSÃO.....	p.65
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	p.65

1. INTRODUÇÃO

1.1. Estado da Arte

O clareamento dental é um dos procedimentos estéticos mais procurados e realizados em indivíduos adultos nos últimos anos. Isso porque tal técnica está diretamente relacionada à saúde e à estética bucal que, em condições precárias, podem afetar a vida pessoal, social e profissional de um paciente. (MALTAGLIATI e MONTES, 2007)

Existem diversos fatores responsáveis por alterar a coloração natural dos dentes e, portanto, fazerem com que pacientes busquem os procedimentos de clareamento. Os fatores endógenos afetam o germe dental, ou seja, as estruturas embrionárias que originarão os dentes e os exógenos atacam os dentes já formados. Esse segundo grupo ainda é dividido em causas extrínsecas, devido à ingestão de alimentos e bebidas com pigmentação excessiva (como chá e café, por exemplo) e/ou muito ácidos (bebidas alcóolicas), e intrínsecas, relacionados a alterações no interior do dente, como hemorragias e necrose pulpar, por exemplo. (MANDARINO, 2003)

O procedimento de clareamento dental pode ser classificado de acordo com o local onde é realizado: *in office*, quando feito por um profissional, no consultório odontológico, ou *at home*, quando o próprio paciente é responsável pela aplicação do produto, em sua residência, sob a orientação de seu dentista. O agente clareador dos géis aplicados na dentição, em ambas modalidades, é basicamente o mesmo, o peróxido, que pode ser de hidrogênio, de carbamida ou uma mistura de ambos. Basicamente, o peróxido realiza o clareamento através de uma microlimpeza do esmalte dental, difundindo-se com os pigmentos orgânicos que dão aparência mais escura aos dentes por meio de uma reação de oxirredução. Tal reação quebra os pigmentos em moléculas menores e mais simples que são facilmente removidas da estrutura dental. (ROSA, 2012; RIEHL, 2002; BAROUDI e HASSAN, 2014)

Por medida de segurança, a concentração de peróxido nos produtos utilizados *at home* é menor do que os utilizados *in office*. Nos consultórios, dentistas utilizam géis de peróxido com concentrações de 15 a 38% e durante a consulta, aplicam o produto 3 vezes durante 15 minutos. Os géis utilizados *at home*, no entanto, apresentam concentrações menores, entre 4 a 9,5%, e o protocolo indica que sejam

utilizados 1 ou 2 vezes ao dia, durante 1 hora cada. Essa diferença de concentração nos géis utilizados em ambas as modalidades explica a relativa demora em visualizar resultado nos tratamentos caseiros. Os resultados deste último demoram cerca de 2 a 6 semanas para atingir a excelência, enquanto que no tratamento realizado no consultório já é possível visualizar resultados após a primeira sessão. (ROSA, 2012; RIEHL, 2002; BAROUDI e HASSAN, 2014; CARNEIRO JUNIOR *et al.*, 2016)

Além da utilização de peróxidos mais concentrados, os dentistas, nos consultórios, contam com mais um aliado. Estudos recentes mostram que a luz acelera o processo químico do peróxido, atuando diretamente na reação de oxirredução, levando à uma maior liberação dos íons hidroxila. Assim, luz nas regiões do ultravioleta, do visível ou do infravermelho próximo incide na estrutura dental do paciente de modo a acelerar o procedimento de clareamento. Lasers de alta potência, como os lasers de argônio, diodos e Nd:YAG., diodos emissores de luz (LEDs) e associações destas diferentes fontes de luz (fontes de luz híbridas) podem ser citados como fontes de energia que atuam no peróxido, aumentando sua temperatura e diminuindo o tempo de contato entre gel + dente. (ROSA, 2012; RIEHL, 2002; ZANIN *et al.*, 2010)

De acordo com Zanin *et al.* (2010), dentre as possíveis fontes de luz que podem ser utilizadas, os LEDs (Light Emitting Diode) podem ser considerados as mais simples, econômicas, de maior vida útil e de pouca manutenção. A luz emitida apresenta uma excelente interação com os agentes clareadores (efeito fotoquímico), associado a um discreto aumento na temperatura (efeito fototérmico) durante o processo. Além disso, ela possui uma largura de banda estreita e é quase monocromática, sendo sua cor dependente do cristal e da impureza de dopagem com que o componente é fabricado.

Apesar de muitos estudiosos temerem que o aumento da temperatura ocasionado pela utilização de fontes de luz possa levar à necrose pulpar, Sulieman (2005) afirma que a luz não oferece riscos aos tecidos vascularizados do dente e também altera minimamente propriedades como rugosidade e microdureza da estrutura dental. Contudo, tais efeitos são dependentes de diversos fatores, dentre os quais destacam-se a densidade de energia e tempo de irradiação da luz.

Para o procedimento de clareamento dental *in office*, as propriedades ópticas dos dentes e a coloração do espessante utilizado com o peróxido influenciarão na

escolha do LED que será utilizado na aceleração do procedimento. O espessante, uma substância de composição quase sempre desconhecida, também é aplicada na estrutura dental dos pacientes; sua função é dar consistência ao agente clareador e atuar como modelador da reação.

1.1. Justificativa

O peróxido, agente branqueador utilizado no clareamento dental, oferece riscos aos dentes e aos tecidos moles bucais dos pacientes. Desse modo, é de extrema importância que o procedimento aconteça o mais rapidamente possível, reduzindo ao máximo o tempo de contato do peróxido com os dentes. Estudos revelam que a aplicação de luz durante o clareamento pode acelerar o procedimento. No entanto, para que essa ação tenha resultados significativos, é preciso conhecer as propriedades ópticas do dente e da mistura peróxido + espessante para que a absorção da luz seja máxima e a reação química seja efetivamente acelerada.

1.2. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo analisar as mudanças de coloração, de rugosidade superficial e de decomposição do esmalte dentário após três procedimentos de clareamento dental distintos empregando-se gel com espessante vermelho: sem ativação de luz, ativado por luz LED azul e ativado por luz LED verde. Além disso, objetivou-se descobrir qual comprimento de onda, azul ou verde, é mais adequado para a aceleração do processo químico de clareamento dental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Natureza da Luz

A luz é um tipo de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas. Tal energia possui caráter dual; alguns fenômenos, como a reflexão e a refração, são explicados pela teoria corpuscular e outros, como a difração e a interferência, são explicados pela teoria ondulatória. Para chegar a essa conclusão em relação a dualidade da luz, cientistas levaram anos, formularam diversas teorias e experimentos que, resumidamente, mostraram que o comportamento da luz depende da forma como interagimos com ela.

2.1.1. Teorias Corpuscular e Ondulatória da Luz

Desde o século XVII, o físico holandês Christian Huygens (1629-1695) apoiava a Teoria Corpuscular, ou seja, a ideia de que, assim com o som, a luz era formada por ondas que se propagavam no espaço (BELISÁRIO, 2015; LIMA, 2012).

Em contrapartida, o desenvolvimento da Teoria Corpuscular, por volta do século XVIII, visava explicar o comportamento da luz através de um modelo mecânico, extremamente inovador na época e tendo Isaac Newton (1642 – 1727) como seu principal defensor. Tal teoria dizia que a luz era composta por pequenas partículas que viajam em alta velocidade (BELISÁRIO, 2015; LIMA, 2012).

A Teoria Corpuscular foi, durante muito tempo, a ideia mais aceita pelos cientistas da época, especialmente pela fama de Newton e mesmo muitos fenômenos não sendo explicados por ela. A Teoria Ondulatória só passou a ser mais aceita a partir da década de 1860, quando o físico escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) descobriu a Teoria Eletromagnética, ou Eletromagnetismo Clássico, com o conceito de onda eletromagnética e supôs que a luz poderia ser constituída por esse tipo de onda. De acordo com Maxwell, as ondas eletromagnéticas são ondas transversais que podem se propagar inclusive no vácuo (BELISÁRIO, 2015; LIMA, 2012).

Max Planck (1858-1947) confirmou a ideia de Maxwell e ainda constatou que a radiação era emitida em pacotes de energia, denominados fótons, e não

continuamente como era imaginado. Posteriormente, Albert Einstein (1879-1955) foi além, utilizou a teoria de Planck e explicou o efeito fotoelétrico, que ocorre quando uma placa metálica é exposta a uma alta radiação e os fótons expulsam os elétrons dessa placa, como se a luz fosse composta por partículas (BELISÁRIO, 2015; LIMA, 2012).

Assim, notava-se que ora a luz se comportava como onda, ora como partícula e, de acordo com HALLIDAY e WALKER (2015), essa contradição só foi resolvida quando Louis Victor de Broglie (1892-1987), em 1925, estendeu o caráter dual da luz para a matéria, com o desenvolvimento da Mecânica Quântica.

2.2. Interação Luz-Matéria

Em 1906, Planck e Einstein mostraram que a energia de um feixe de luz era armazenada em pequenos “pacotes”, denominados fótons. Tal energia pode ser calculada através da equação (1) de Planck-Einstein.

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

onde, h é a constante de Plack, $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s e ν é a frequência da radiação em Hertz.

Através da equação (1) e da equação (2) da velocidade da luz, mostrada a seguir, é possível perceber que energia e frequência são grandezas diretamente proporcionais e que, quanto maior o comprimento de onda, menor a energia do fóton.

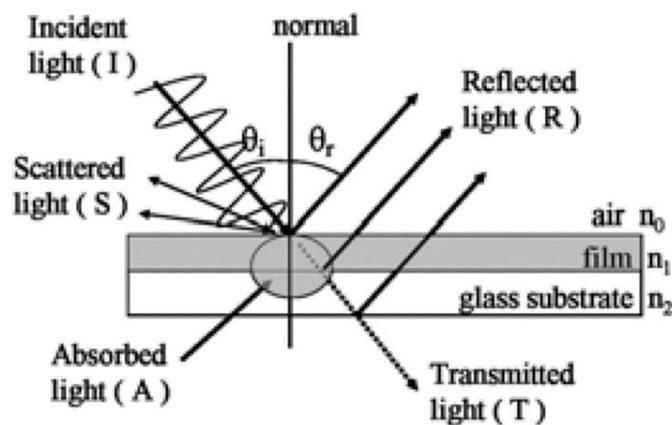
$$V = c/\lambda \quad (2)$$

onde, c é a velocidade da luz no vácuo, $3 \cdot 10^8$ m/s e λ é o comprimento de onda que se deseja analisar em nanômetros.

A luz pode interagir com a matéria de diversas formas, alterando suas propriedades ou não. A natureza da luz incidente, o tempo de irradiação e as características da matéria irão determinar o comportamento dos feixes de luz após a interação (MOREIRA, 2009)

Na Figura 1 é possível observar os fenômenos ópticos resultantes após a luz incidente encontrar uma determinada estrutura (biológica ou não). A luz incidente pode sofrer reflexão, refração, absorção, espalhamento e transmissão.

Figura 1: Representação dos fenômenos ópticos resultantes da interação da luz com a matéria.

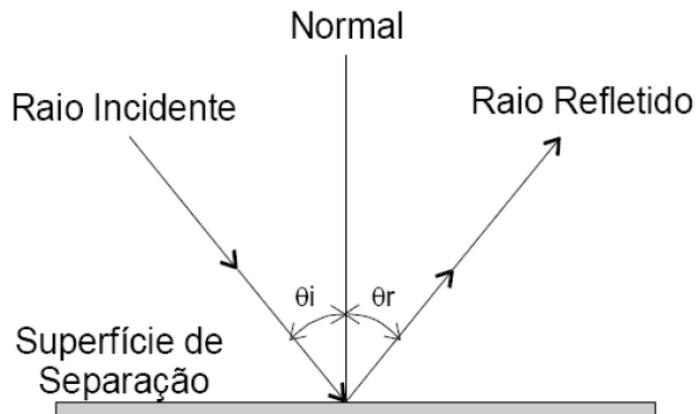


Fonte: PILVI, 2008.

2.2.1. Reflexão da Luz

O fenômeno da reflexão acontece quando um feixe de luz incide com um ângulo θ em uma determinada superfície que separa dois meios transparentes e retorna para o mesmo meio, com o mesmo ângulo θ de incidência. A Figura 2 explica claramente esse fenômeno (MOREIRA, 2009).

Figura 2: Fenômeno da reflexão da luz.



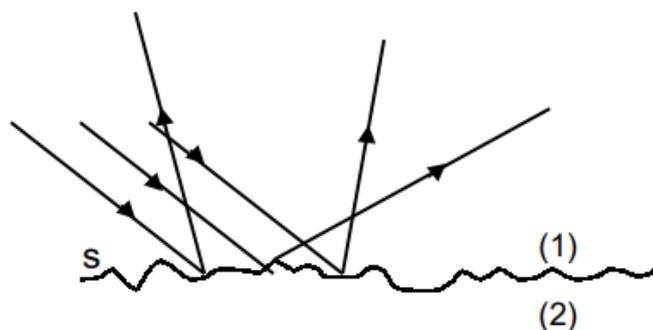
Fonte: HTM (2007) citado por MOREIRA (2009, p.17).

A parcela refletida será menor à medida que o ângulo de incidência se aproximar da normal ($\theta = 0$), e quanto maior for o coeficiente de absorção do meio de destino. Esse coeficiente é um parâmetro adimensional, característico de cada meio, que define quanto ele absorve energia (MOREIRA, 2009).

2.2.1.1. Difusão da Luz

O fenômeno da difusão, exemplificado na Figura 3, na verdade, é um caso especial de reflexão da luz. Ele acontece quando a luz interage com superfícies irregulares; os feixes então são refletidos em várias direções.

Figura 3: Reflexão difusa da luz.

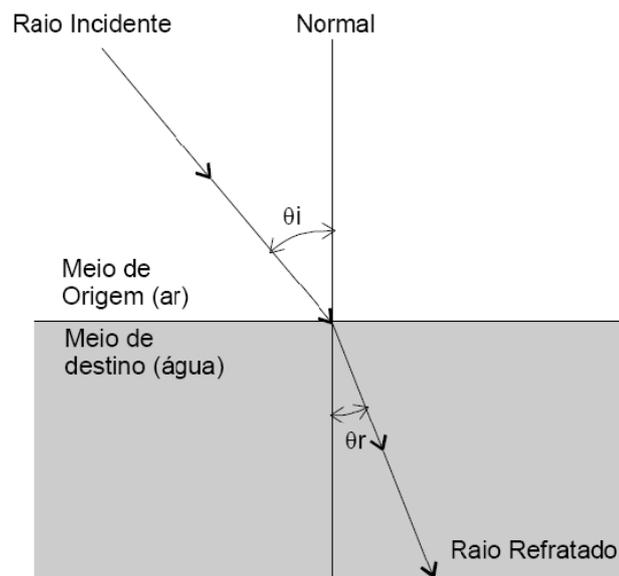


Fonte: COURROL e PRETO, (s.d.)

2.2.2. Refração da Luz

Quando um comprimento de onda que se propaga em um determinado meio, com um índice de refração determinado, encontra a superfície de um material, com um índice de refração diferente, parte da luz é refletida e a parte transmitida é redirecionada (Figura 4). Se a densidade do segundo meio, de destino, for maior que a do primeiro meio, de origem, a luz é refratada em direção à normal; caso contrário, ela se afasta da normal (MOREIRA, 2009).

Figura 4: Fenômenos da reflexão e da refração da luz na interface de dois meios transparentes (ar e água).



Fonte: HTM (2007) citado por MOREIRA (2009, p.18).

O índice de refração absoluto de um determinado meio (N) é resultado da divisão da velocidade da luz no vácuo c pela propagação da luz no meio (V) (MOREIRA, 2009).

$$N = c/V \quad (3)$$

A relação entre o ângulo de incidência e o de refração regido pela Lei de Snell, através da seguinte equação:

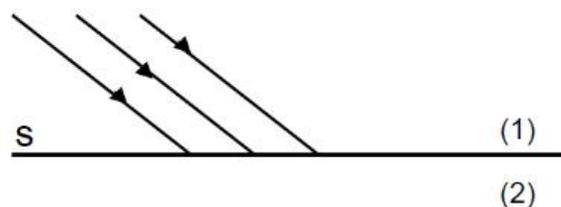
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad (4)$$

onde θ_1 e N_1 representam o ângulo de incidência e o índice de refração do meio de origem, e θ_2 e N_2 ângulo de refração e o índice de refração do meio de destino (MOREIRA, 2009).

2.2.3. Absorção da Luz

O fenômeno da absorção, exemplificado na Figura 5, ocorre quando um feixe de luz atravessa a superfície do material do meio de destino e tem sua intensidade diminuída porque parte da sua energia eletromagnética foi convertida em energias vibracional ou térmica. De acordo com Vo-Dinh (2002), em Biomedical Photonics Handbook, isso ocorre no meio biológico, basicamente, porque a energia do fóton incidente está no intervalo entre as energias interna e a de transição das moléculas de destino.

Figura 5: Fenômenos da absorção da luz.

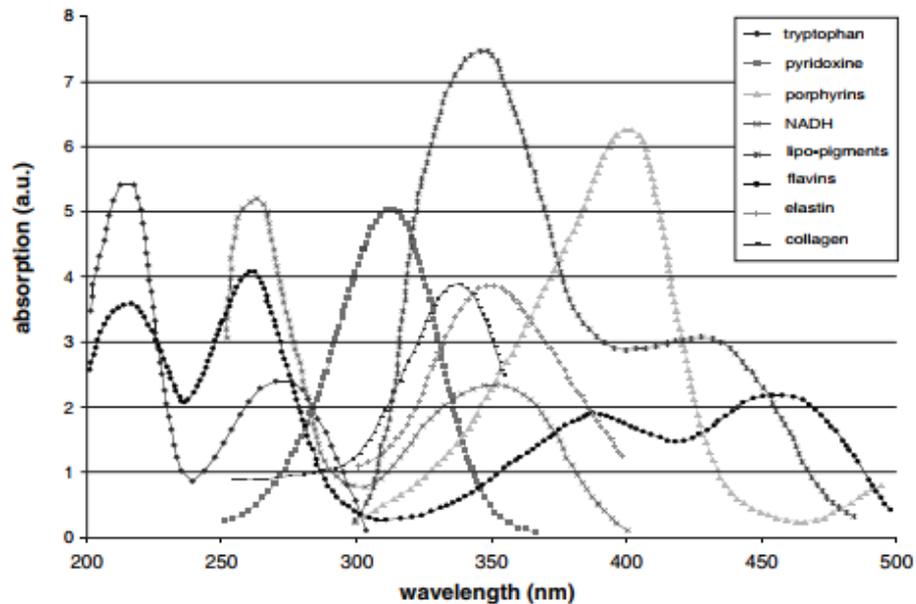


Fonte: COURROL e PRETO, (s.d.).

A absorção depende da constituição eletrônica de átomos e moléculas do tecido, do comprimento de onda da luz incidente, da espessura da camada absorvedora e da temperatura e concentração dos agentes absorventes. Na figura

abaixo, encontram-se o espectro de absorção de alguns componentes do tecido biológico.

Figura 6: Espectro de absorção de alguns componentes de tecidos biológicos.



Fonte: VO-DINH (2002).

Desse fenômeno, surge o conceito de absorvância de um meio (A), que pode ser definida como a razão entre as energias absorvidas e incidentes. Ela depende da concentração da espécie absorvedora e da espessura, ou caminho óptico, que a luz deverá percorrer.

$$A = \varepsilon LC \quad (5)$$

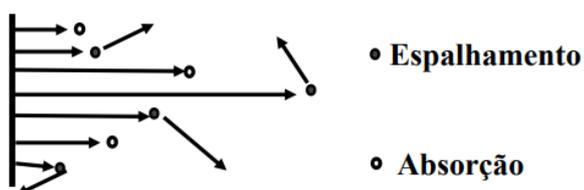
onde, ε é o coeficiente de absorvância molar do material ($cm^{-1}.M^{-1}$), L é o caminho óptico (cm) e C é a concentração (M).

O fenômeno da absorção da luz pode ser dividido em geral, quando todos os comprimentos de ondas são absorvidos, ou seletiva, permitindo a absorção apenas de algumas frequências.

2.2.4. Espalhamento da Luz

O fenômeno de espalhamento nada mais é que o fenômeno de absorção seguido da reemissão desses raios. Neste caso, a frequência da onda incidente não é a mesma da frequência natural das partículas do material de destino. Desse modo, a oscilação resultante é determinada por uma vibração forçada, o que faz com que os fótons diminuam sua velocidade. Na Figura 7, observa-se uma comparação entre o comportamento dos fótons absorvidos e dos fótons espalhados no tecido biológico.

Figura 7: Fenômeno do espalhamento da luz e seu comportamento em relação ao fenômeno de absorção.

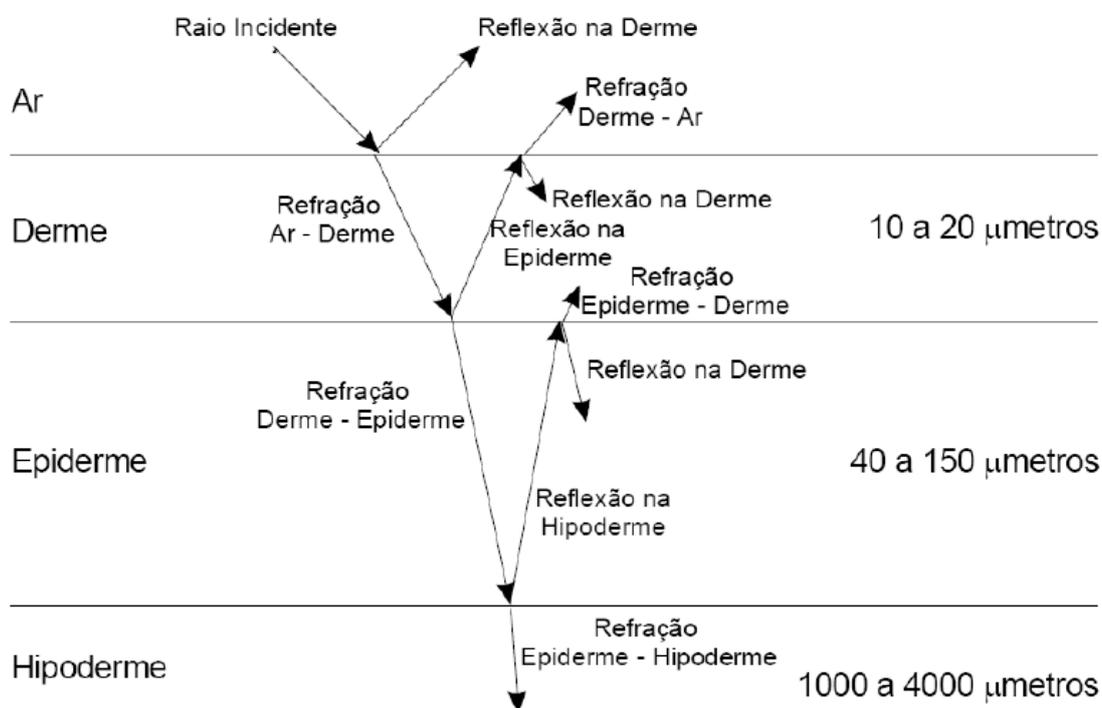


Fonte: Apostila do Mestrado Profissional Lasers em Odontologia IPEN-FOUSP, 2001.

Este fenômeno possibilita que os fótons atinjam regiões mais distantes do ponto de aplicação e, ao mesmo tempo, limita a penetração da radiação eletromagnética.

A figura abaixo mostra o espalhamento da luz LED vermelha nas três camadas da pele humana.

Figura 8: Espalhamento da luz LED vermelha na pele humana.



Fonte: HTM (2007) citado por MOREIRA (2009, p.19).

Os espalhamentos são divididos em elásticos e inelástico. No primeiro tipo, os fótons espalhados continuam com a mesma energia dos fótons incidentes. No espalhamento inelástico, os fótons espalhados possuem menor comprimento de onda do que os fótons incidentes e, conseqüentemente, maior energia.

2.2.5. Transmissão da Luz

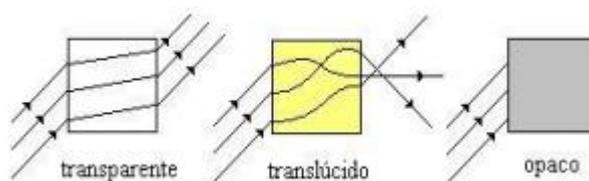
Juntamente com o fenômeno da reflexão, a transmissão da luz possibilita que os indivíduos enxerguem objetos, pessoas, paisagens, etc. Isso porque, para que algo possa ser visualizado, é necessário que ele emita sua própria luz, no caso das fontes primárias, ou que reflitam a luz que recebem de outros corpos, no caso das fontes secundárias (GUERARDI, 2014).

A transmissão da luz ocorre de acordo com as características dos meios no qual percorrem:

- Em meios transparentes, a luz é transmitida com regularidade e baixa perda de intensidade, uma vez que esses meios absorvem pouca luz. O ar e o vácuo são exemplos de meios transparentes (GUERARDI, 2014);
- Meios translúcidos permitem uma transmissão irregular da luz, provocando uma redução em sua intensidade e dificultando enxergar através deles. Vidros embaçados e a neblina são exemplos de meios translúcidos (GUERARDI, 2014);
- Os meios opacos, no entanto, não permitem a transmissão dos feixes de luz, bloqueando totalmente sua propagação. Metais e madeiras são exemplos de meios opacos (GUERARDI, 2014).

A Figura 9 exemplifica o comportamento dos raios de luz quando incidem em meios transparente, translúcido e opaco.

Figura 9: Fenômenos da transmissão da luz em meios transparente, translúcido e opaco.



Fonte: (GUERARDI, 2014).

2.3. A Dentição Humana

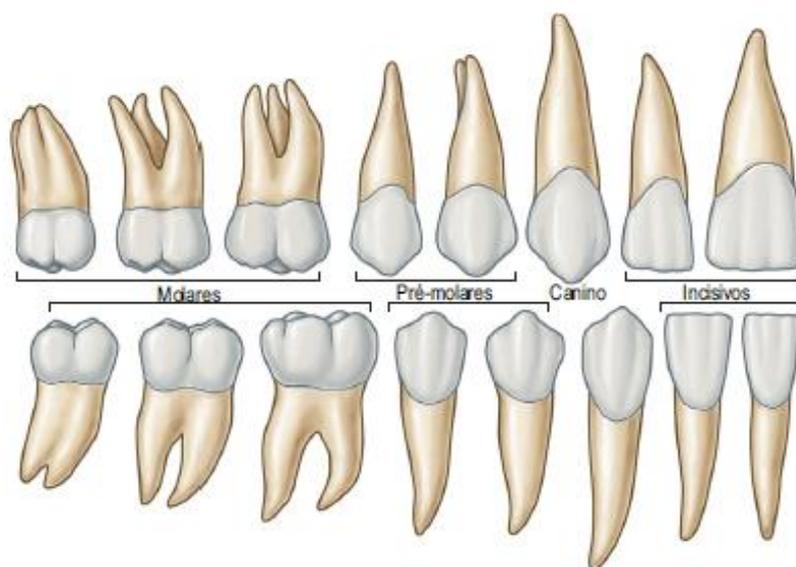
Ao longo da vida do ser humano, duas séries de dentes habitam sua cavidade oral. A primeira série, conhecida como dentição primária (ou decídua), começa a se desenvolver nos maxilares dos fetos a partir do trigésimo sétimo dia de gestação e, em condições normais, termina no período pós-natal, quando o indivíduo atinge por volta dos 3 anos de idade. Os aglomerados celulares iniciais são responsáveis por formar esses órgãos de alto teor mineral, compostos por estruturas orgânicas e inorgânicas que possuem características ópticas e estruturas distintas (ROESNER, 2007; NELSON e ASH JR, 2012).

De acordo com Nelson e Ash Jr (2012), a dentição primária apresenta-se, em média, aos 6 meses de vida e permanece intacta, com cerca de 20 dentes (a menos que o dente seja tomado por cáries ou submetido a algum trauma), até que a criança atinja os 6 anos de idade.

Em seguida, os dentes da primeira série começam a cair e os da segunda passam a substituí-los; é o chamado período de transição, quando ambas séries estão presentes, dividindo espaço na boca do indivíduo. Os dentes permanentes (ou sucessores) vão substituindo os primários aos poucos e essa etapa só é concluída por volta dos 15 anos de idade (NELSON e ASH JR, 2012).

A dentição permanente ocupa a cavidade oral por cerca de 12 anos ou mais e, salvo em casos de ausência congênita, contêm 32 dentes que são divididos, como ilustra a Figura 10, em 4 grupos que desempenham funções bem específicas: os incisivos, os caninos, os pré-molares e os molares (NELSON e ASH JR, 2012).

Figura 10: Os quatro grupos de dentes permanentes do ser humano.



Fonte: QUEIROZ, 2017.

O ser humano possui 4 dentes incisivos, localizados na região anterior da boca e responsáveis por iniciar o processo de mastigação. A tarefa principal desse grupo é cortar o alimento ingerido e, por isso, esses dentes possuem um formato afiado que auxilia nesse processo. Na sequência, aparecem os 4 caninos; pontiagudos e em formato de lança, os dentes mais fortes da boca têm a função de dilacerar os

alimentos. Após passar por esse grupo, o alimento começa a ser triturado pela estrutura rugosa dos 4 dentes pré-molares. E, finalmente, o processo de mastigação na boca termina com os 6 molares. Esses dentes apresentam uma superfície de contato maior que os outros e continua o processo de trituração iniciado pelos pré-molares, triturando os alimentos em pedaços ainda menores, prontos para serem digeridos (APRIMORA, 2014). A Figura 11 mostra a localização dos 4 grupos de dentes na boca humana.

Figura 11: Localização dos grupos de dentes nas arcadas dentárias superior e inferior.



Fonte: BACHMANN, 2004.

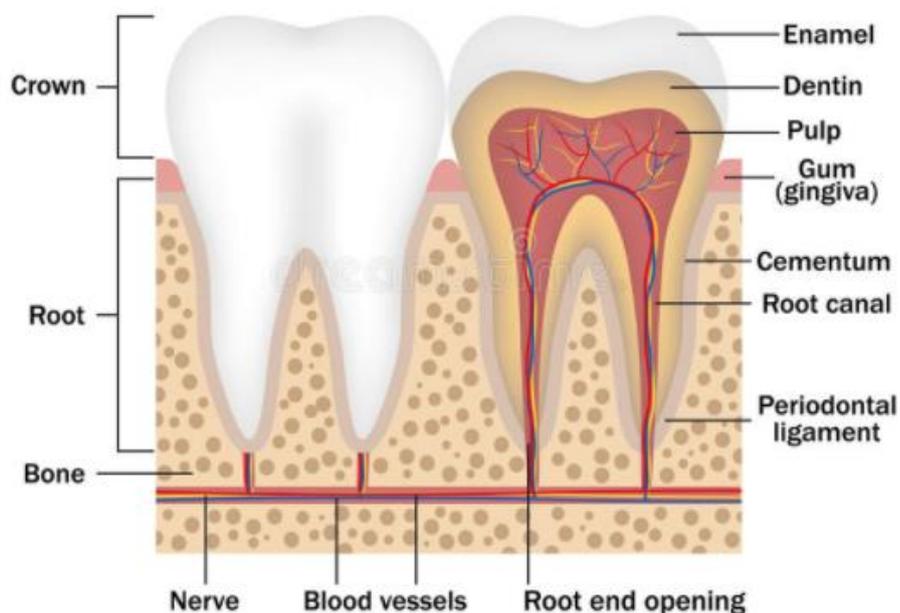
2.3.1. Anatomia Dental

Apesarem de desempenharem funções diferentes, o dente humano pode ser dividido, basicamente, em raiz, parte interna localizada dentro do alvéolo dental (osso) e coroa, estrutura externa visível (Figura 12). De acordo com Bachmann (2004) a forma que cada dente assume está diretamente ligada à forma da dentina, recoberta pelo esmalte dental.

O tecido pulpar, que ocupa a camada mais interna da coroa dental, é um tecido conjuntivo rico em vasos sanguíneos e nervosos. Ele é responsável pela nutrição, sensibilidade e reparo do dente e, através do canal radicular, se comunica com o organismo. A dentina é um tecido amarelado, heterogêneo, parcialmente mineralizado e constituído por múltiplos túbulos dentinários que se localiza na camada intermediária da coroa dental. A dentina é responsável pela estrutura elástica dos dentes, suportando e compensando a fragilidade da estrutura mais externa da coroa, o

esmalte dental. Este tecido mais externo translúcido é considerado o mais duro do corpo humano, constituído 97% por sais inorgânicos. Sua funcionalidade, com o auxílio da dentina, está relacionada à sua dureza que suporta as forças mecânicas da mastigação. Além disso, por não possuir banda de absorção no espectro visível, sua cor é determinada pelos fenômenos ópticos que ocorrem nas estruturas mais internas do dente (BACHMANN, 2004).

Figura 12: Estrutura interna do dente saudável.



Fonte: ALEXEY, 2017.

2.3.2. Fatores Responsáveis pela Coloração Natural dos Dentes

A coloração natural dos dentes não é uniforme dentre a população; ela varia inclusive de acordo com posicionamento da estrutura dental na cavidade oral em um mesmo indivíduo. O efeito colorimétrico resultante é composto pela união das propriedades ópticas dos dentes e da combinação de fatores endógenos e exógenos a que um sujeito está submetido (ROESNER, 2007)

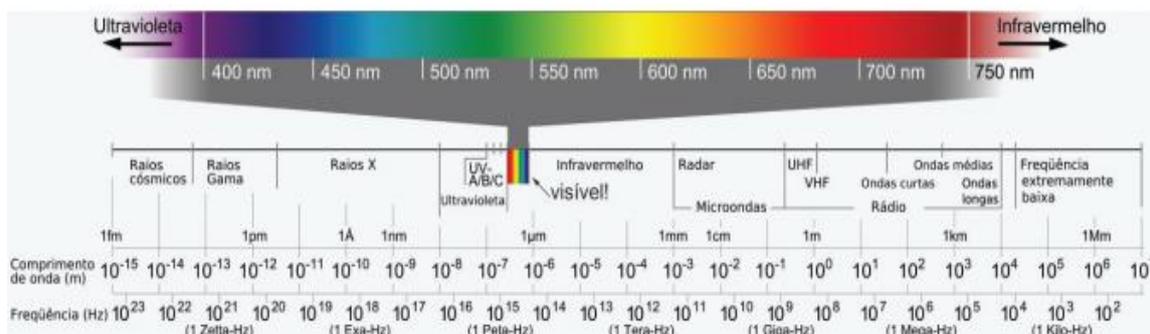
2.3.2.1. Fenômenos Ópticos

Quando um feixe de luz branca incide em um determinado anteparo após atravessar um prisma, por exemplo, é possível observar um espectro colorido com as mesmas cores presentes no arco-íris.

A luz é formada pela combinação de vários comprimentos de ondas que formam espectros visíveis e invisíveis, que podem ser vistos na Figura 13. As células receptoras de luz do olho humano responsáveis por iniciar o processo de percepção das cores, da ausência e da presença de luz, os cones e os bastonetes, são sensíveis apenas aos comprimentos de onda da faixa de 380 a 760 nm, ou seja, ao espectro visível (ROESNER, 2007)

O espectro invisível, raios ultravioletas e infravermelhos, possuem comprimento de onda inferior e superior à faixa captada pelo olho humano, menor que 380 nm e maior que 760 nm, respectivamente.

Figura 13: Espectro eletromagnético nas faixas do visível e invisível.



Fonte: FREIRE JUNIOR; PESSOA JUNIOR; BRUMBERG, 2010.

O fenômeno da cor é resultado da interação física da luz, proveniente de alguma fonte de luz, com o objeto que está sendo iluminado. No caso dos dentes, pode-se adicionar a essa equação, a sobreposição de suas estruturas internas, orgânicas e inorgânicas, que apresentam comportamentos ópticos diversos ao interagirem com a luz. Esmalte, dentina e polpa são estruturas policromáticas; elas interagem entre si, criando um efeito óptico difícil de se prever e imitar. Além disso, a cavidade oral, gengivas e lábios também interferem no resultado que observamos (ROESNER, 2007).

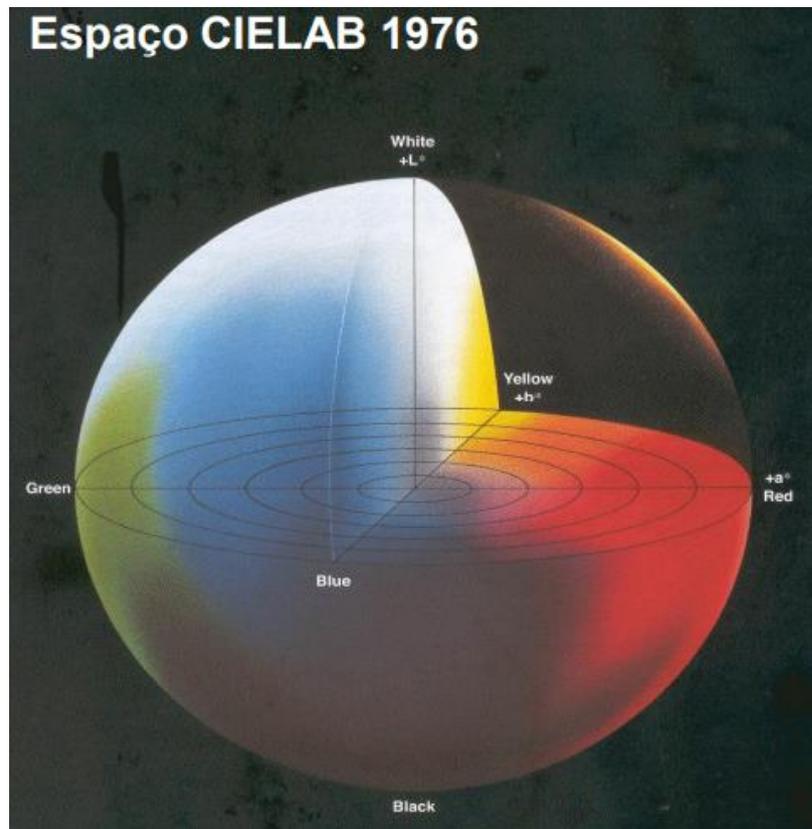
De acordo com Preston (1985), Buda (1994), Ahmad (2000) e Joiner (2004), citados em Roesner (2007), ao encontrar a estrutura dental, os feixes de luz sofrem 1) transmissão especular através do dente, ou seja, os feixes de luz são transmitidos sem sofrerem mudanças em sua trajetória, 2) reflexão especular na superfície dental, na qual os raios incidentes refletem no esmalte e retornam na mesma trajetória; 3) reflexão difusa ou refração na superfície do dente, em que, após o contato, os raios de luz sofrem alteração nas suas trajetórias, e 4) absorção e dispersão dentro dos tecidos dentais, capazes de gerar o fenômeno da fluorescência, por exemplo.

2.3.2.1.1. Escala CIELAB

Após inúmeras tentativas da CIE (*Commission Internationale de L'Eclairage*) de estabelecer parâmetros científicos para a medição de cor, foi criada, em 1976, a escala CIE L^*a^*b ou CIELAB (NEIRO et al., 2013; CORCIOLANI, 2009).

Esse espaço, ilustrado na Figura 14, é uma variação do espaço XYZ, com L^* , a^* e b^* como coordenadas. Basicamente, o eixo L^* indica luminosidade (ou claridade), que varia do branco (100) ao preto (0); o eixo a^* varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$); e o eixo b^* vai do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$). Os eixos a^* e b^* , ao contrário do eixo L^* , não possuem limites numéricos específicos; eles variam de acordo com a técnica utilizada para analisar a amostra (NEIRO et al., 2013; CORCIOLANI, 2009; THE JOURNAL OF CONTEMPORARY DENTAL PRACTICE, 2017).

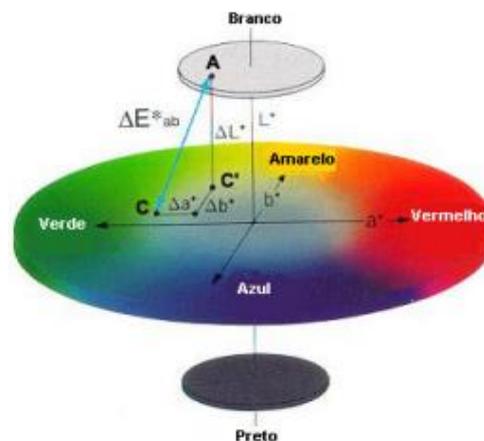
Figura 14: Coordenadas cartesianas do espaço psicométrico CIELAB.



Fonte: (TIANO, 2009).

No espaço CIELAB, a diferença total de cor é quantificada em termos de ΔL^* , Δa^* e Δb^* e é encontrada pela expressão ΔE , assim como mostra a Figura 15.

Figura 15: Diagrama do cálculo do ΔE no diagrama CIELAB.



Fonte: Fonte: KONICA MINOLTA, 2016.

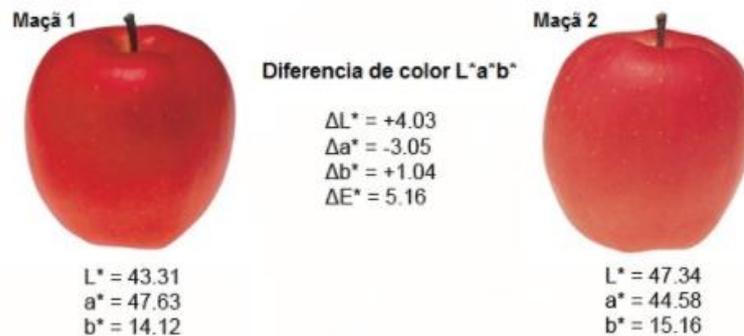
$$\Delta E_{a,b} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

onde, ΔL^* representa a diferença entre mais claro e mais escuro, Δa^* a diferença entre vermelho e verde e Δb^* a diferença entre amarelo e azul.

Na Odontologia, a diferença total de cor em um dente é considerada perceptível, mas aceitável, quando ΔE varia de 1 a 3,3. Quando o ΔE resulta em valores maiores que 3,3, a diferença passa a ser inaceitável, o que resultará na repetição da medição e, confirmando tal valor, na troca da restauração, por exemplo (LIMA, T., 2015).

Na Figura 16 pode-se observar um exemplo de comparação de cor realizado utilizando a escala CIELAB entre 2 maçãs.

Figura 16: Diferença de cor $L^*a^*b^*$ de duas maçãs.



Fonte: KONICA MINOLTA, 2016.

2.3.2.2. Fatores endógenos

Além dos fenômenos ópticos, existem outros fatores responsáveis por influenciar na coloração dos dentes. Tais fatores são conhecidos como endógenos e exógenos.

Entre o primeiro grupo, encontram-se as alterações que ocorrem durante a formação do germe dental e que não dependem de nenhum hábito ou vontade do paciente. Como exemplo, podem ser citadas a porfiria congênita e a eristoblastose fetal (MANDARINO, 2003).

A porfiria congênita está associada à afinidade física do indivíduo ao fosfato, que se deposita nos ossos e dentes de ambas as fases, primária e secundária, em desenvolvimento em homens e mulheres. A eritoblastose fetal é causada pela incompatibilidade do fator Rh entre mãe e bebê e umas das maneiras que essa doença se manifesta é na deposição de pigmento sanguíneo, a hemoglobina, no esmalte ou na dentina dos dentes em desenvolvimento (MANDARINO, 2003).

2.3.2.3. Fatores exógenos

Os fatores exógenos, no entanto, ocorrem após a formação dental e podem ser classificados em extrínsecos e intrínsecos.

2.3.2.3.1. Causas Extrínsecas

Entre as causas extrínsecas podemos destacar o cigarro e a ingestão de alimentos e bebidas com pigmentação excessiva, como chá e café, e/ou que são muito ácidos, como frutas cítricas e bebidas alcólicas. Essas substâncias afetam a camada mais externa e protetora do dente, o esmalte dental (MANDARINO, 2003).

O esmalte, camada mais externa e protetora do dente, é um tecido poroso. Por essa razão, a higienização dental deve ser realizada corretamente, especialmente quando o alcatrão do cigarro e alimentos e bebidas que possuem muito corante são consumidos com muita frequência. Tais substâncias são capazes de penetrar os poros do esmalte dental e fazerem com que os dentes fiquem manchados (STUPPIELLO, 2016).

Os alimentos e as bebidas ácidas, quando também consumidos com frequência, aumentam a acidez do ambiente bucal e, conseqüentemente, levam à desmineralização da superfície do esmalte do dente. Para compensar esse problema, a saliva realiza uma ação remineralizadora, devolvendo os sais minerais essenciais perdidos. No entanto, quando essa estrutura externa é afetada, o dente fica mais sensível aos pigmentos; durante o processo de remineralização, os pigmentos podem ser incorporados ao dente, manchando essa estrutura (STUPPIELLO, 2016).

2.3.2.3.2. Causas Intrínsecas

Já os fatores exógenos de caráter intrínseco estão relacionados a alterações no interior do dente, como hemorragias e necrose pulpar devido à algum trauma, por exemplo (MANDARINO, 2003).

Após o traumatismo, alguns vasos podem se romper, fazendo com que eritrócitos penetrem nos túbulos dentinários, onde sofrem degradação e liberam sulfeto de hidrogênio que leva o dente a adquirir uma coloração negra. A necrose pulpar pode acontecer devido à algum trauma ou silenciosamente, levando a polpa à morte celular, ou seja, à falência de todo seu sistema nervoso e vascular (MANDARINO, 2003; ROESNER, 2007).

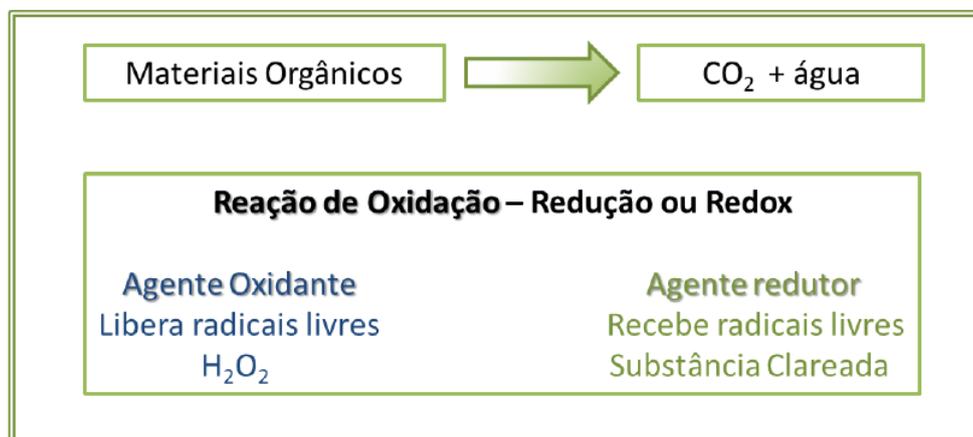
2.4. Mecanismos do Clareamento Dental

Seja devido à fatores endógenos ou exógenos, o clareamento dental é o procedimento estético mais realizado por dentistas do mundo todo, principalmente por ser muito eficiente, não invasivo e de relativa simplicidade (PLEFFKEN *et al.*, 2012).

O clareamento acontece, basicamente, devido a uma reação de oxidação do peróxido de hidrogênio (ou de carbamida), agente clareador em gel aplicado nos dentes durante o procedimento. Quando o peróxido de hidrogênio se decompõe, instáveis moléculas de radicais livres de oxigênio são liberadas e, para tornarem-se estáveis, devem capturar um elétron de moléculas vizinhas, como os pigmentos presentes na junção esmalte-dentina e na dentina. Este processo quebra os pigmentos em cadeias cada vez menores, que irão refletir comprimentos de onda mais claros aos olhos humanos, resultando na percepção de branqueamento dos dentes ((MANDARINO, 2003).

De maneira geral, os grandes pigmentos absorvem e refletem vermelho e verde, o que acaba resultando em uma aparência amarelada. Ao serem quebrados, ocorre menor absorção do azul e, portanto, os dentes parecem mais brancos aos olhos humanos. “*A velocidade da oxidação do peróxido de hidrogênio pode ser acelerada pelo aumento da excitação do pigmento e/ou peróxido e pelo mecanismo termocatalítico ou fotocatalítico*” (CARDOSO *et al.*, 2012).

Figura 17: Esquema da reação de oxidação durante o procedimento de clareamento dental.



Fonte: LIMA, 2015.

A alta permeabilidade e o baixo peso molecular dos radicais livres liberados na dissociação do agente clareador se difundem facilmente nos tecidos duros por osmose, agindo diretamente nas moléculas dos pigmentos, garantindo o sucesso e a uniformidade do procedimento. No entanto, apesar da sua relativa simplicidade e segurança, a supervisão de um profissional é imprescindível já que, o procedimento não deve ultrapassar o ponto de saturação dos dentes. A partir desse momento, quando o dente atinge o seu limite de máximo clareamento, os radicais livres liberados passam a atingir e danificar outras estruturas dentais que também apresentam cadeias de carbono em sua composição, como a matriz do esmalte e a dentina (RIEHL *et al.*, s.d.).

2.4.1. Clareamento Dental *In Office* x Clareamento Dental *At Home*

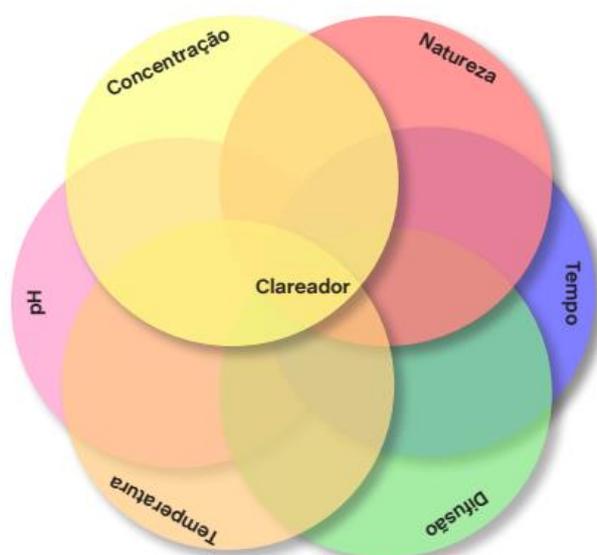
As duas técnicas de clareamento dental mais realizadas são a *in office*, quando o procedimento é realizado por um dentista, no consultório, e a *at home*, quando o indivíduo é responsável por aplicar o produto em sua residência, sob a supervisão de seu dentista. As grandes diferenças entre os dois procedimentos são a concentração de peróxido utilizado, o tempo em que o produto fica em contato com o dente e o tempo que os resultados aparecerão.

De acordo com Riehl *et al.* (s.d), enquanto a técnica *in office* utiliza produtos de concentração de 15 a 38%, a técnica *at home* utiliza peróxidos em concentrações mais baixas, que podem variar de 4 a 9,5%. Além disso, quando realizado no consultório, o agente clareador é aplicado 3 vezes durante a consulta, por períodos de 15 minutos, aproximadamente. O protocolo da técnica caseira indica que o indivíduo deve utilizar a moldeira com o gel branqueador 2 vezes por dia, durante 1 hora cada.

Por utilizar produtos mais concentrados e ficar mais tempo em contato com a dentição do paciente, os resultados dos procedimentos realizados *in office* aparecem mais rapidamente, sendo visíveis já após a primeira sessão. Além disso, nos consultórios, os dentistas contam com mais um auxílio que garante a rapidez do tratamento: o uso de fontes de calor para catalisar a oxidação do peróxido de hidrogênio.

Riehl *et al.*, s.d. esquematizou um diagrama da Figura 18 com os principais fatores que, inter-relacionados, influenciam direta ou indiretamente o procedimento de clareamento dental.

Figura 18: Fatores que influenciam direta ou indiretamente a efetividade de um clareador na estrutura dental.



Fonte: RIEHL *et al.*, s.d.

2.4.2. Utilização de Fontes de Luz nos Procedimentos *In Office*

Na história do procedimento de clareamento dental *in office*, diversas fontes de energia foram testadas para ativar o gel clareador. De acordo com a revisão de literatura de Zanin *et al.* (2010), radiação eletromagnética nas regiões do ultravioleta, do visível e do infravermelho próximo podem ser utilizadas para essa finalidade.

A técnica do calor difundido de uma fonte aquecida foi rapidamente abandonada devido ao aumento excessivo de temperatura que prejudicava as estruturas dentais dos pacientes. O uso das lâmpadas halógenas, de intensidades de 400 a 800 mW/cm², eram amplamente utilizadas até perceberem que ela podia aquecer excessivamente a superfície dental e causar danos pulparem devido a emissão de radiação no infravermelho. Além disso, a vida útil dessas lâmpadas era muito baixa, apenas 100 horas, aproximadamente. Outra técnica muito utilizada que foi abandonada por causar superaquecimento da estrutura dental e por não ter um protocolo seguro de aplicação foi a irradiação por arco de plasma (ZANIN *et al.*, 2010).

Como substitutas, surgiram duas novas técnicas que utilizavam lasers e LEDs como fotoativadores de géis clareadores. Basicamente, ambas técnicas possuem vida útil de até 10.000 horas e apresentam menor largura de banda espectral, eliminando a necessidade de filtrar-se a luz para eliminar a emissão infravermelha, ou de outros comprimentos de onda do espectro que não sejam desejáveis (ZANIN *et al.*, 2010).

2.5. O Laser e o LED como Agentes Fotossensíveis

A densidade dos fótons que interagem com o tecido biológico, é descrita pela Lei de Beer-Lambert. De acordo com ela, “ a intensidade de um feixe de luz monocromático decresce exponencialmente à medida que a concentração da substância absorvente aumenta aritmeticamente”.

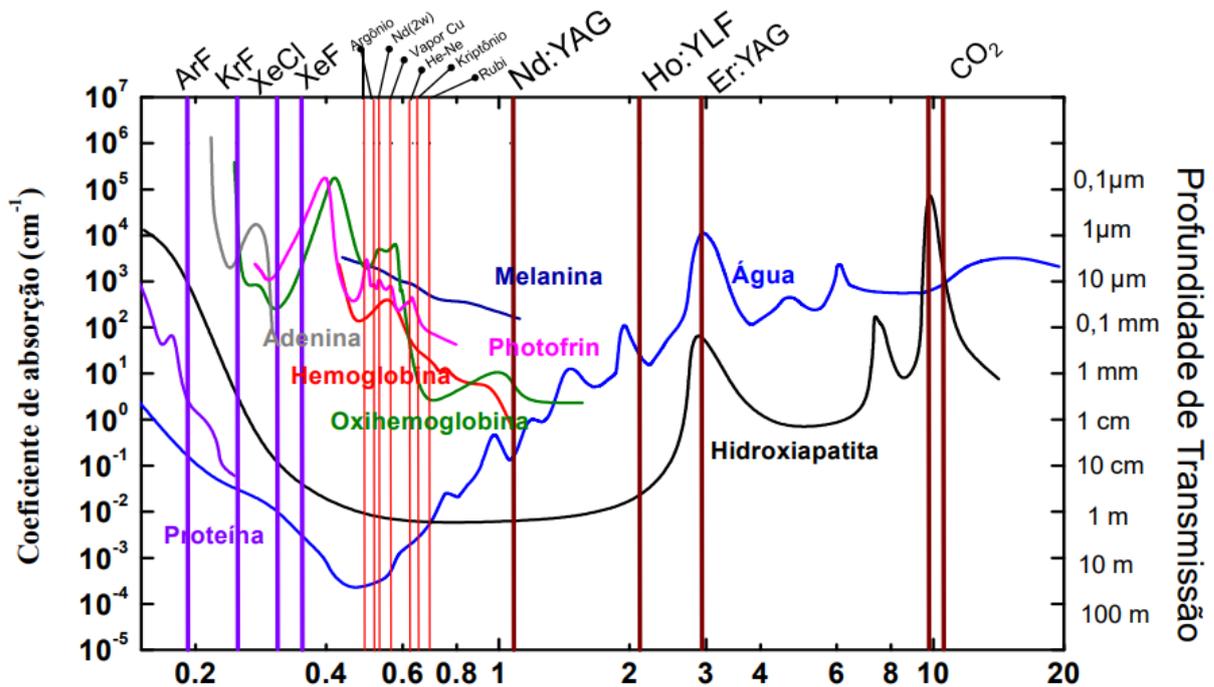
$$I(z) = I_0 e^{-\alpha z} \quad (6)$$

onde $I(z)$ é a intensidade na distância z , I_0 é a intensidade incidente, α é o coeficiente de atenuação e z é distância axial para dentro do tecido (BACHMANN, 2004).

O coeficiente de atenuação da equação (6) varia de acordo com as características do tecido e do feixe de luz que está sendo utilizado, e α mede a densidade de fótons à medida que o feixe penetra no tecido (BACHMANN, 2004).

Como mostrado na Figura 19, as principais moléculas responsáveis pela absorção dos fótons nos tecidos biológicos são: a água, principal componente do corpo humano; as macromoléculas, como as proteínas; e os pigmentos, como a melanina.

Figura 19: Coeficientes de absorção para diferentes tecidos em relação aos principais lasers existentes, de diferentes comprimentos de onda.

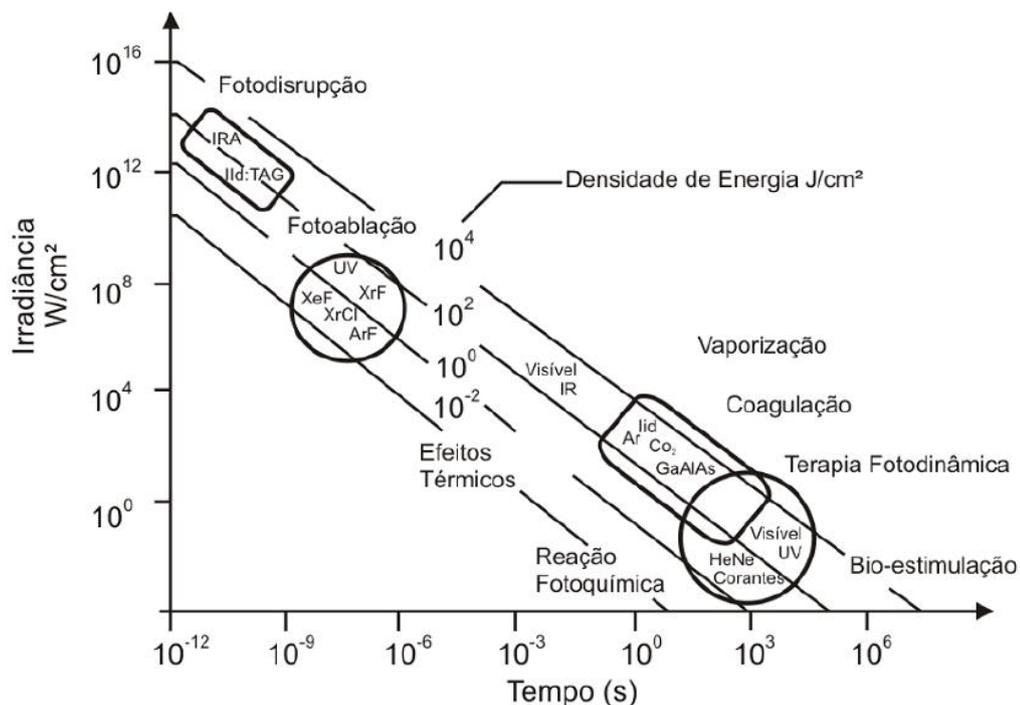


Fonte: ANA, 2012.

Após ser absorvida (ou transmitida), a radiação eletromagnética causa diversos efeitos biológicos, conhecidos como mecanismos biofísicos. A irradiância do feixe, o tempo de interação à exposição radiante e o coeficiente de absorção do tecido irão determinar qual mecanismo será desencadeado. Estes mecanismos podem ser agrupados em térmicos, mecânicos, fotoablativos e fotoquímicos, e podem ser observados na Figura 20.

- Mecanismos térmicos: basicamente, dependendo da temperatura e do tempo de aquecimento, tal mecanismo pode produzir três fenômenos distintos – conversão de luz em calor, transferência de calor e reação do tecido (ZHANG HUI, 1998 citado por MOREIRA, 2009).
- Mecanismos mecânicos: formam uma onda de choque que se propaga e pode causar danos aos tecidos. Esses mecanismos podem surgir de fenômenos de formação de plasma, de vaporização explosiva ou cavitação (MOREIRA, 2009).
- Mecanismos fotoablativos: a ablação do tecido acontece devido a absorção excessiva de energia para quebra de ligações químicas que resulta em produção de calor. Tal efeito permite a rápida transição das moléculas para a fase gasosa resultando em ablação (TRELLES, 1984 citado por MOREIRA 2009).
- Mecanismos fotoquímicos: refere-se à produção de mecanismos fotoquímicos a partir de espécies químicas excitadas após absorção de fótons (TRELLES, 1989 citado por MOREIRA 2009).

Figura 20: Mecanismos da Interação das Luzes Laser e LED no Tecido Biológico.



Fonte: HTM (2007) citado por MOREIRA (2009, p.50).

Atualmente, os lasers de baixa intensidade e os LEDs atuam fotoquimicamente como catalisadores na reação de oxirredução do peróxido de hidrogênio em contato com os dentes. A energia que essas fontes de luz emitem são absorvidas pelo gel clareador e, conseqüentemente, a reação química que libera oxigênio responsável por oxidar os pigmentos que causam o escurecimento dos dentes é acelerada. Desse modo, a eficiência da fonte de luz utilizada está relacionada com a absorção da energia pelo gel clareador (ZANIN *et al.*, 2010).

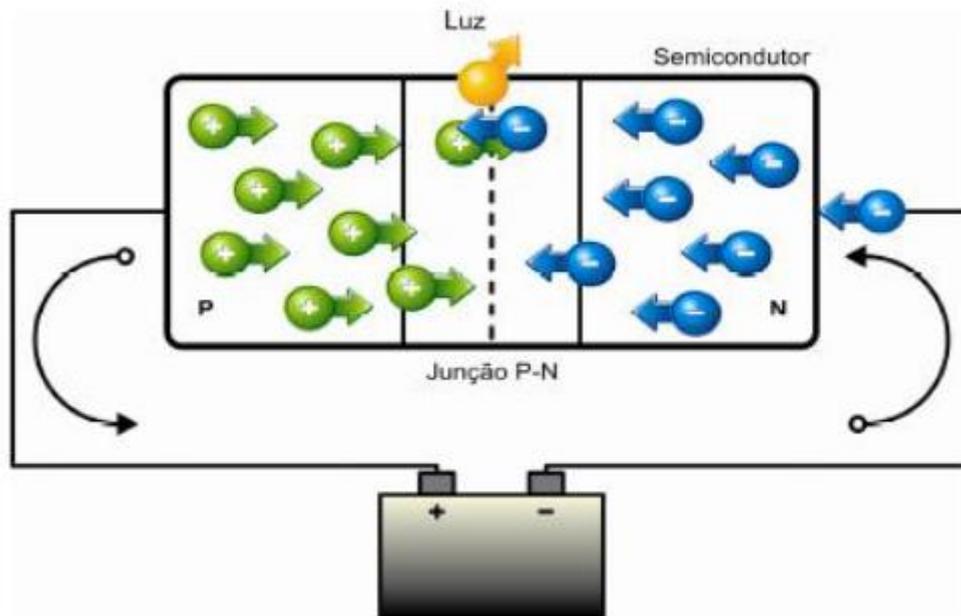
2.5.1. O LED

O LED (*Light Emitting Diode*) é um componente bipolar, que permite ou não a passagem de corrente elétrica que, além de ser uma importante fonte de luz, possui diversas outras aplicações, principalmente por apresentar características semelhantes às de um diodo semicondutor (MARTELETO, 2011).

O princípio de funcionamento de um LED pode ser explicado pela existência de uma junção P-N formada por dois materiais semicondutores utilizados para fabricar esse componente. Se o mesmo material for utilizado para ambas regiões a junção P-N recebe o nome de homojunção. Se o material for diferente, heterojunção (MARTELETO, 2011).

No lado P, o material semicondutor é dopado com impurezas com três elétrons na camada de valência, fazendo com existam lacunas. No lado N, o material semicondutor é dopado com impurezas com cinco elétrons na camada de valência, fazendo com que existam elétrons em excesso nessa área. De modo a impedir a futura reabsorção dos fótons emitidos, os LEDs são fabricados com o lado P ligeiramente acima do lado N, criando uma região de contato conhecida como “região de depleção”, que funciona como uma barreira de potencial. Quando esse componente é polarizado diretamente, as lacunas do lado P e os elétrons do lado N movem-se em direção à região de depleção e, em sua vizinhança, a recombinação de elétrons e lacunas gera energia resultando na emissão espontânea de luz, exemplificada na Figura 20. (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009 e BULLOUGH, 2003 citados em DIAS, 2012).

Figura 21: Processo de emissão de luz por um LED.



FONTE: PINTO, 2008.

Os LEDs, apesar de serem fontes de luz incoerentes, emitem luz quase monocromática e a sua cor é determinada pela combinação química dos materiais semicondutores utilizados em sua construção. As cores mais utilizadas são: azul (400 a 470 nm), verde (470 a 550 nm), vermelho (630 a 700 nm) e infravermelho (700 a 1200 nm). O feixe luminoso produzido é direcional, ou seja, ele não irradia luz em todas as direções, como as lâmpadas convencionais. Além disso, eles são mais econômicos, possuem longa vida útil (entre 50.000 e 100.000 h) e apresentam respostas significativas nos tratamentos em que são utilizados (DIAS, 2012).

2.5.1.1. Interação da Luz LED com o Material Biológico

Os LEDs apresentam características que os tornam ideais para diversas modalidades terapêuticas, como vem ocorrendo nos últimos tempos. Atualmente, a luz LED auxilia a cicatrização de lesões de pele (reduzindo os riscos de infecção), a recuperação muscular (em atletas) e no tratamento de lesões em diabéticos (auxiliando nos processos bioquímicos e fisiológicos das feridas), por exemplo (DOURADO *et al.*, 2012).

Por serem fontes de luz incoerentes, apresentam uma maior área de cobertura, em relação ao laser, por exemplo e, portanto, diminuem o tempo de tratamento. Além disso, são fontes consideradas seguras, pois não possuem energia suficiente para causar danos ao tecido humano, apresentando um pico máximo na ordem de miliWatts (DIAS, 2012; DOURADO *et al.*, 2012).

De acordo com Dourado *et al.* (2012), os efeitos biológicos desencadeados pela luz LED dependem de comprimento de onda, dose (ou fluência), intensidade (ou densidade de potência), tempo de irradiação, modo de atuação (contínuo ou pulsado) e padrões de pulso.

Dourado *et al.* (2012) ainda afirma que o LED é “seguro, não é térmico, nem tóxico e invasivo, e não há relato na literatura de efeitos colaterais”. No entanto, de acordo com Barolet (2008, citado em DOURADO *et al.*, 2012), deve-se redobrar a atenção em pacientes com epilepsia e ou com fotofobia, geralmente relacionada ao modo de luz pulsado.

3. METODOLOGIA

3.1. Delineamento Experimental

Foi realizado um estudo *in vitro* randomizado no qual 30 dentes incisivos bovinos foram aleatoriamente distribuídos em 3 grupos de 10 amostras que, por sua vez, foram submetidas ao procedimento de clareamento dental *in office* com gel espessante vermelho: G1 – amostras que não foram ativadas com luz, G2 – amostras que foram ativadas com LED azul e G3 – amostras que foram ativadas com LED verde.

Antes e após o clareamento, as amostras foram submetidas a testes de rugosidade (Ra e Rz), cor (ΔE) e composição superficial (ATR-FTIR). A análise estatística foi realizada individualmente, para cada parâmetro mensurado (rugosidade, cor e composição superficial), considerando-se o teste estatístico mais adequado de acordo com a normalidade e homogeneidade dos dados.

Abaixo, encontra-se um fluxograma que resume o procedimento experimental realizado.



3.2. Preparo das amostras

Trinta dentes incisivos bovinos saudáveis foram obtidos a partir de animais com idade média de três anos, e foram armazenados em água destilada à temperatura de 4°C até o início dos procedimentos, que não ultrapassaram 28 dias.

Os dentes foram seccionados méso-distalmente através de seus longos eixos utilizando um disco diamantado sob refrigeração, de forma que apenas as coroas de esmalte íntegro fossem obtidas. Em seguida, as amostras foram embutidas em resina acrílica transparente empregando-se embutidora metalográfica, onde apenas a superfície vestibular de cada amostra foi mantida exposta. Tal superfície foi planificada com lixas abrasivas sob rotação em lixadeira.

Figura 22: Embutidora metalográfica e lixadeira utilizadas no preparo das amostras.

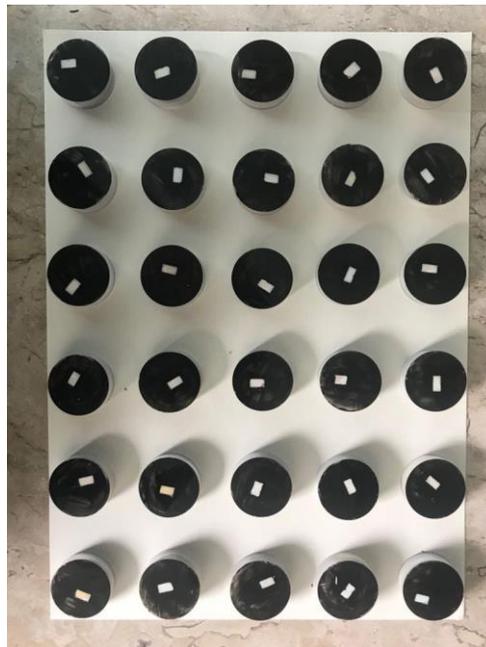


3.3. Delimitação da área de clareamento

As amostras foram mantidas a 37°C em estufa durante este período, sendo depois submetidas a profilaxia com um jato de bicarbonato e imersas em água num aparelho de ultrassom para se obter uma superfície livre de resíduos.

Para delimitar a área de leitura de cor, um adesivo retangular de 7 x 4 mm foi aderido ao centro da superfície dental. Todo o dente e outras partes foram revestidos com esmalte preto para unhas (Colorama, São Paulo, SP, Brasil). Após secagem do esmalte, o adesivo foi retirado, gerando uma “janela” de esmalte de 28 mm² de área.

Figura 23: Amostras Preparadas para os Testes Iniciais



3.4. Grupos Experimentais e o Processo de Clareamento Dental

As amostras foram aleatoriamente distribuídas em três grupos experimentais, de 10 amostras cada:

- **Grupo 1:** As amostras receberam aplicação de gel clareador e não foram ativadas com fonte de luz;

- **Grupo 2:** As amostras receberam aplicação de gel clareador e foram ativadas com luz azul;
- **Grupo 3:** As amostras receberam aplicação de gel clareador e foram ativadas com luz verde.

Em todos os grupos experimentais, as amostras receberam um gel de clareamento a base de Peróxido de Hidrogênio [35%] (Whiteness HP, FGM, São Paulo, Brasil) de acordo com as especificações do fabricante. O agente de clareamento tem em sua composição peróxido de hidrogênio (35%), água, estabilizantes, corante vermelho, espessante, regulador de pH e surfactante, com pH em torno de 6,62. Foi então aplicada uma camada de 2 mm de espessura de gel clareador na superfície do esmalte previamente seco. Após o tempo preconizado para cada tratamento, o gel foi removido das superfícies por meio de enxague com água deionizada por 1 minuto e secagem com papel absorvente.

Figura 24: Gel de Clareamento Utilizado, Preparação da Mistura Peróxido + Espessante e Produto Aplicado em uma das Amostras.

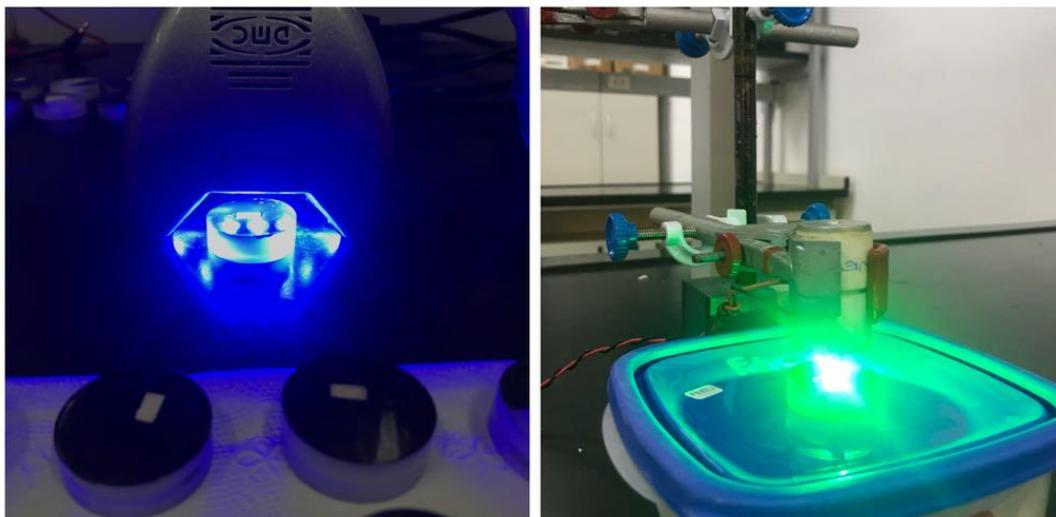


Nos grupos que receberam ativação por luz, as amostras receberam ativações repetitivas usando 1 minuto de aplicação e 1 minuto de descanso (1 minuto ligado – 1 minuto desligado), sendo este procedimento repetido por três vezes em cada amostra visando-se simular um procedimento clínico.

No grupo 2, a ativação do gel foi feita empregando-se dispositivo Orto Laser (DMC Equipamentos, São Carlos, SP, Brasil), o qual possui 6 LEDs emissores de luz azul, comprimento de onda de 470 ± 10 nm e irradiância de 300 mW/cm^2 . No grupo 3,

a ativação do gel clareador foi realizada utilizando-se dispositivo construído no laboratório de Fototerapia e Análise Microbiológica da UFABC, que possui um LED emissor de luz verde.

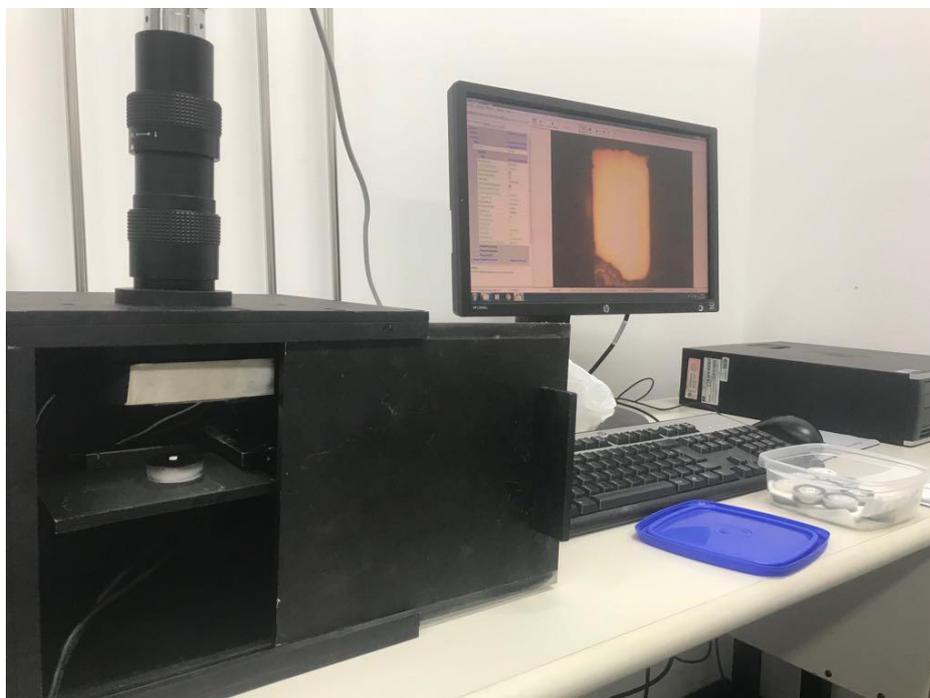
Figura 25: LEDs Azul e Verde Utilizados Durante o Clareamento Dental.



3.5. Análise de Cor

Para a tomada de cor, todas as amostras foram fotografadas após o polimento (ou seja, antes do procedimento) e após o clareamento. As fotos foram tiradas utilizando uma câmera digital mvBlueFOX120a (*Matrix Vision*, Alemanha) acoplada a um dispositivo construído de modo a deixar o ambiente completamente escuro. “Essa câmera possui um sensor de 4,73 mm x 3,55 mm em uma matriz de 640 x 480 pixels e um controle eletrônico do tempo de exposição do sensor de 1 a $10^7 \mu\text{s}$ ”, formando imagens monocromáticas com 8, 10 ou 12 bits por pixel, o que permite uma análise precisa das intensidades (LINS, 2009).

Figura 26: Dispositivo Utilizado para Tirar as Fotos das Amostras Antes e Após o Clareamento.



As imagens obtidas foram submetidas à análise qualitativa numa rotina pronta no software MATLAB, onde foram upadas, em uma interface interativa, as fotos das amostras tratadas, ou seja, após o escurecimento e processo de clareamento, e de controle, que nada mais são do que as fotos das amostras após terem sido preparadas na embudadora e lixadeira. Para selecionar a área de análise, foi escolhido um valor fixo de 200 pixels para todas as amostras, já que no geral essa é a maior área útil disponível para estudo, o que diminui desvio padrão dos dados obtidos. Desta maneira, foram obtidos os valores de *L, *a e *b, usados para o cálculo do ΔE .

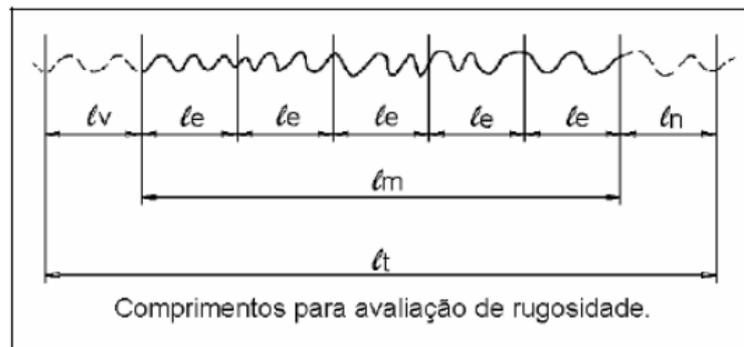
3.6. Análise da rugosidade superficial

As amostras foram submetidas aos testes de rugosidade superficial antes e após o tratamento, utilizando o rugosímetro Mitutoyo. A rugosidade média (R_a) e a rugosidade total (R_z) foram determinadas por três medidas diametralmente opostas, e os resultados submetidos à análise estatística descritiva utilizando o Microsoft Excel

2013® (Microsoft Office, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, EUA, 2013). O nível adotado para rejeição foi de 5%.

Para realizar a medição da rugosidade, o rugosímetro leva em consideração a análise de três comprimentos que estão ilustrados na Figura 27: o l_v (comprimento de amostragem), o l_m (comprimento de medição) e o l_t (comprimento total).

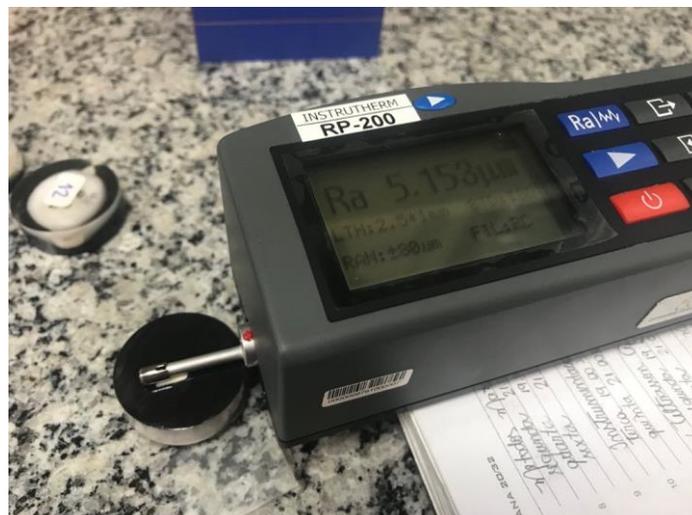
Figura 27: Comprimentos relevantes para avaliação da rugosidade de uma amostra.



Fonte: PIRATELLI FILHO, 2011.

De acordo com Riehl (2002), o rugosímetro funciona, basicamente, convertendo os movimentos verticais realizados pela ponta do sensor do rugosímetro na superfície da amostra em sinal elétrico, que é então mostrado no visor do aparelho, como indica a Figura 28.

Figura 28: Medida do cálculo da rugosidade média (R_a) de uma amostra.



Ainda segundo Riehl (2012), diferentes geometrias de superfície, podem exibir valores de rugosidade média idênticos. De modo a evitar que este tipo de erro aconteça, deve-se utilizar o *cut-off*, um filtro elétrico que tem a função de eliminar a detecção de irregularidades acima do seu valor.

Para encontrar o valor apropriado de *cut-off* para este experimento, foi realizado um teste com três amostras, uma de cada grupo, escolhidas aleatoriamente, de acordo com a norma ISO 4287/2002. Foi utilizado o critério de medição em função da rugosidade média esperada (PIRATELLI FILHO, 2011).

A média dos valores de R_a encontrados foram de 2,444 μm que, de acordo com a Figura 29, leva a um filtro, baseado no comprimento de amostragem (l_e) de 2,50 mm.

Figura 29: Variação dos valores de R_a e R_z e seus respectivos valores de *cut-off*.

Rugosidade R_a (μm)	Rugosidade R_z ou $R_{m\acute{a}x}$ (μm)	l_e (mm)	l_m (mm)
até 0,1	até 0,5	0,25	1,25
de 0,1 até 2,0	de 0,5 até 10,0	0,80	4,00
de 2,0 até 10,0	de 10,0 até 50	2,50	12,50
acima de 10,0	acima de 50,0	8,00	40,00

Fonte: PIRATELLI FILHO, 2011.

3.7. Análise Composicional – FTIR

A análise inicial foi feita por meio da técnica de reflexão atenuada da espectroscopia de absorção no infravermelho por transformada de Fourier (ATR-FTIR). No espectrômetro (Frontier, Perkin Elmer, EUA), foi acoplado um acessório de reflexão total atenuada (ATR, com cristal de diamante-seleneto de zinco). No momento da aquisição dos dados, foram feitos 80 *scans* de cada amostra, na resolução de 4 cm^{-1} , sendo a tomada de *background* realizada a cada 15 amostras. A faixa dos espectros coletados variou entre 650 a 4000 cm^{-1} . O registro e a conversão

dos espectros de absorção foram realizados através do programa específico do espectrômetro.

Para análise dos dados, todos os espectros foram normalizados após o traçado do *baseline*; foram consideradas as áreas sob as seguintes bandas de absorção: entre 883 cm^{-1} e 1070 cm^{-1} para fosfatos; entre 1300 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} para carbonatos; 1200 cm^{-1} e 1400 cm^{-1} para amida III; entre 1400 cm^{-1} e 1600 cm^{-1} para amidas I e II; 1600 cm^{-1} e 1700 cm^{-1} para água e amida I; 2800 cm^{-1} e 3000 cm^{-1} para estiramento C-H.

Figura 30: Amostra durante o procedimento de análise composicional.



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de Cor

As Figuras 31, 32 e 33 mostram as fotos adquiridas com a câmera mvBlueFOX120a (*Matrix Vision*, Alemanha), acoplada ao anteparo mostrado no item 3.5 deste trabalho. É possível notar a diferença qualitativa do efeito do clareamento dental nas 3 amostras selecionadas.

Figura 31: Análise qualitativa do antes e depois de uma amostra que não foi ativada com fonte de luz.

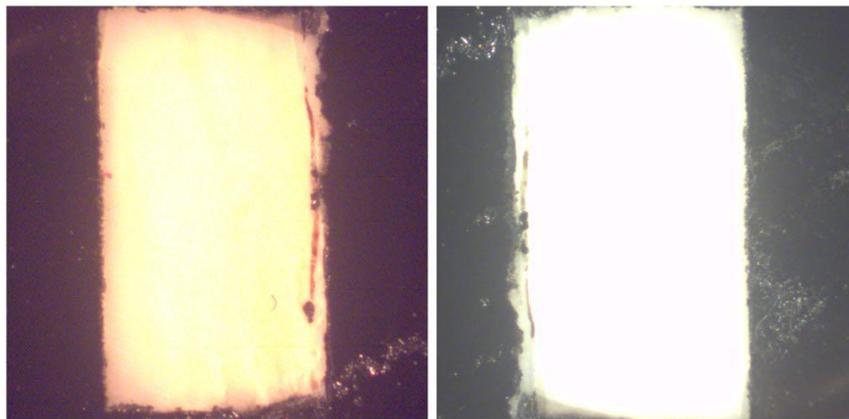


Figura 32: Análise qualitativa do antes e depois de uma amostra irradiada com LED azul.

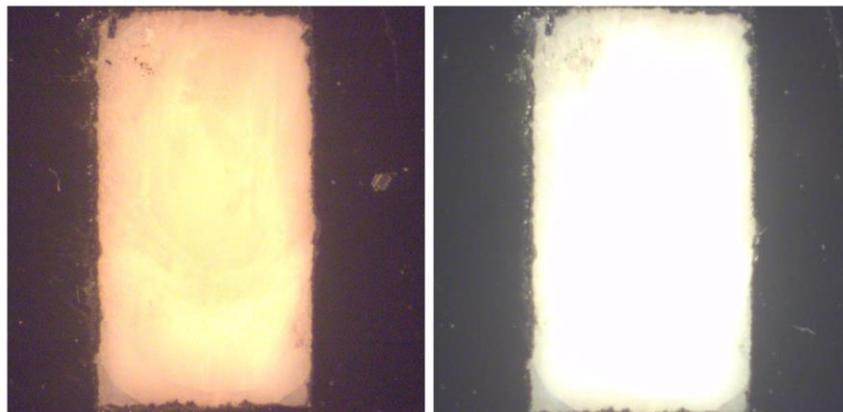
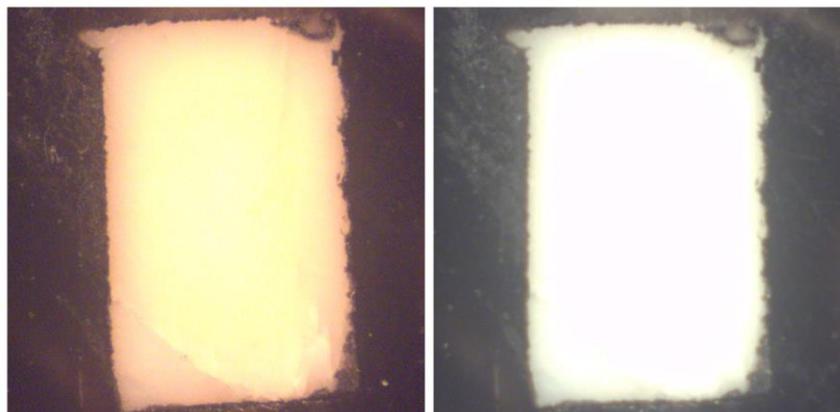


Figura 33: Análise qualitativa do antes e depois de uma amostra irradiada com LED verde.



Em uma primeira observação, é possível constatar que o clareamento produziu resultados satisfatórios nos 3 grupos de amostras, já que todas elas ficaram mais claras do que estavam inicialmente.

Em seguida, com o auxílio do software Matlab, foram obtidos os padrões da escala CIELAB (L^* , a^* e b^*), que se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Variações médias e desvio padrão de L^* , a^* , b^* e E^* nos três grupos analisados.

Grupo	Δ^*L	Δ^*a	Δ^*b	ΔE	σ^*L	σ^*a	σ^*b	σ^*E
Sem luz	1,84	2,23	9,35	9,98	1,14	1,66	1,89	1,82
LED azul	1,97	1,84	11,17	11,69	1,63	1,43	1,95	1,83
LED verde	1,35	1,90	9,89	10,51	0,96	2,08	4,04	3,67

Abaixo, as Figuras 34, 35, 36 e 37 mostram a variação de cada parâmetro da escala CIELAB dos três grupos experimentais.

Figura 34: Variação do Δ^*L e seu desvio padrão para os três grupos de amostras.

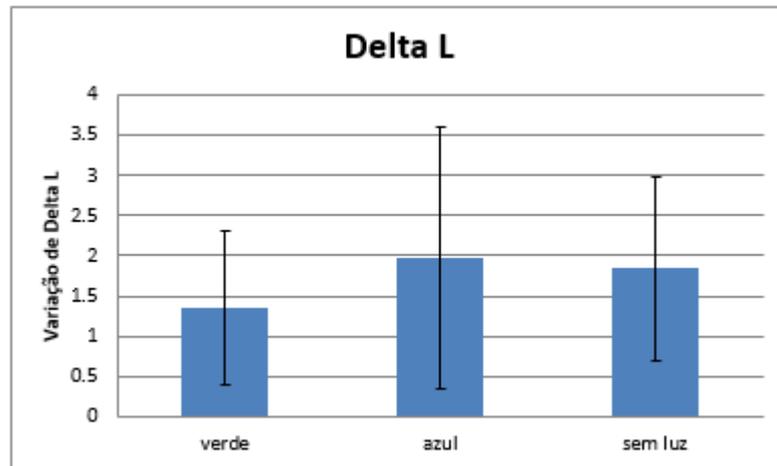


Figura 35: Variação do Δ^*a e seu desvio padrão para os três grupos de amostras.

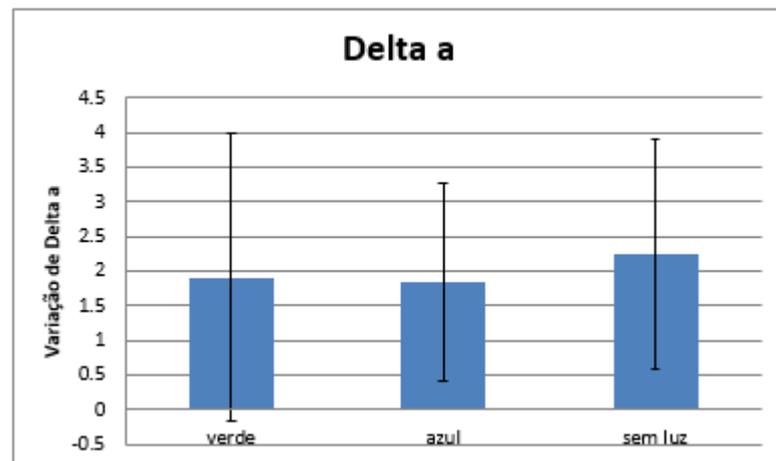


Figura 36: Variação de Δ^*b e seu desvio padrão para os três grupos de amostras.

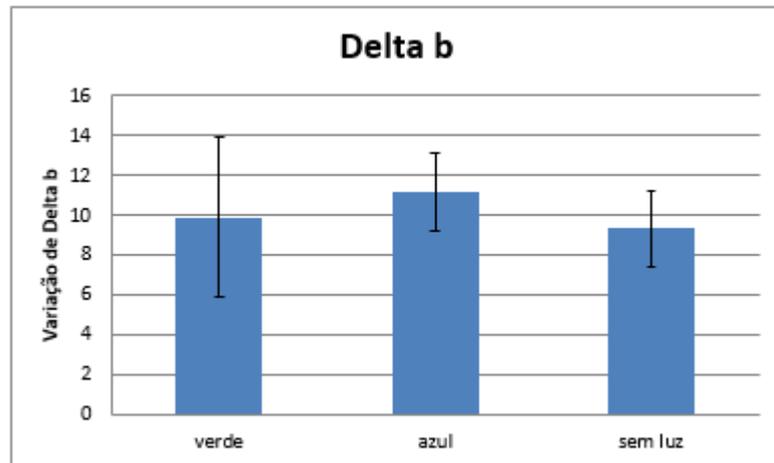
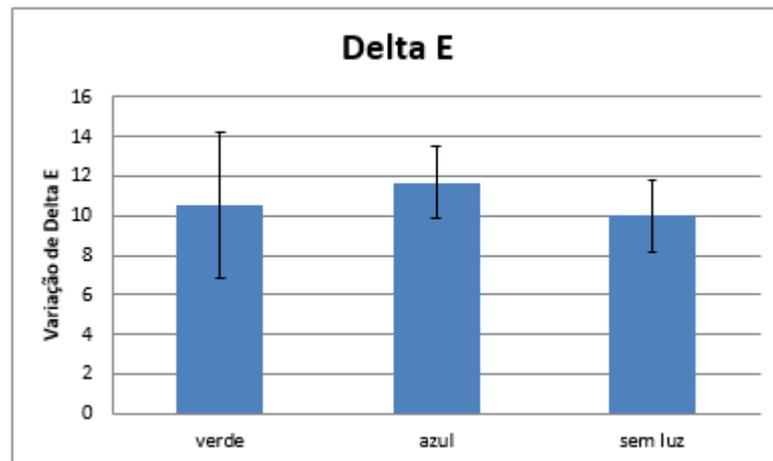


Figura 37: Variação de Δ^*E e seu desvio padrão para os três grupos de amostras.



Todas as análises estatísticas foram feitas considerando-se o nível de significância estatística de 5%. Para todas as comparações, foram feitos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias (Shapiro-Wilk e Levene); todas as distribuições deram não-normais e, por isso, foi realizado o Teste Não Paramétrico.

As Figuras 38, 39 e 40 mostram a comparação dos parâmetros intra e intergrupos.

Figura 38: Valor de L para cada um dos grupos e seus respectivos desvios padrão antes e após os procedimentos experimentais (Estatística de KRUSKAL-WALLIS + STUDENT NEWMAN-KEULS).

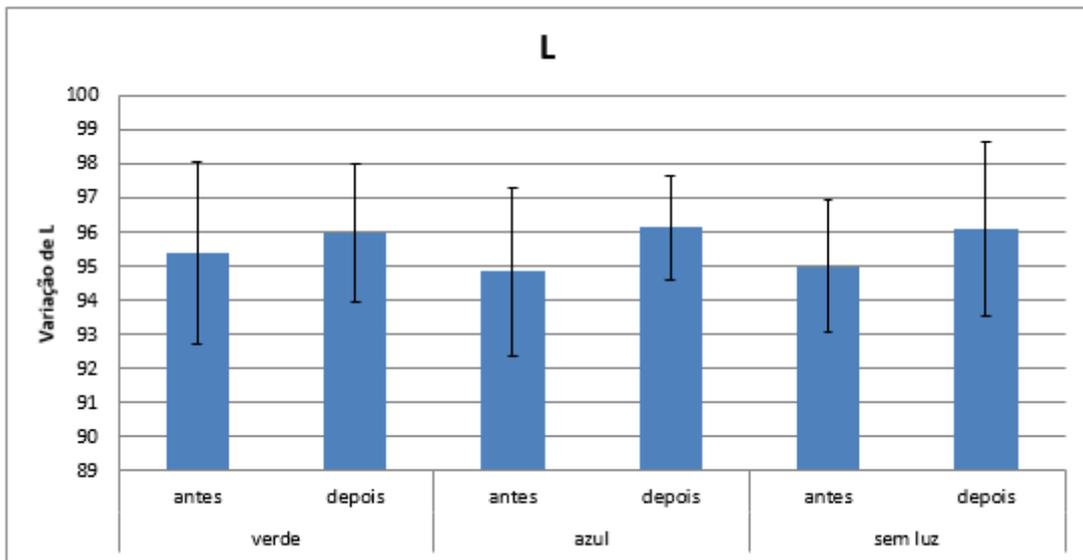


Figura 39: Valor de a para cada um dos grupos e seus respectivos desvios padrão antes e após os procedimentos experimentais.

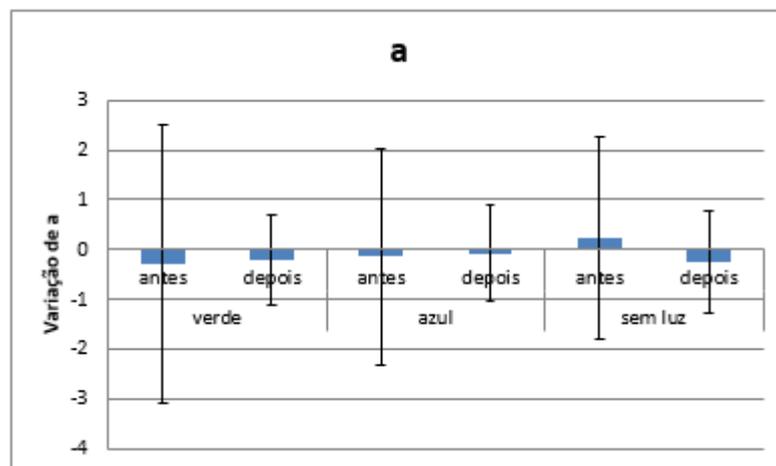
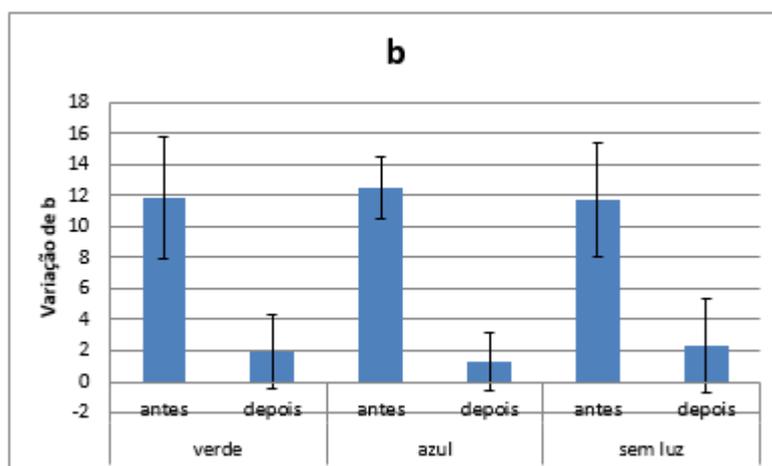


Figura 40: Valor de b para cada um dos grupos e seus respectivos desvios padrão antes e após os procedimentos experimentais.



De forma geral, os três tipos de tratamentos realizados alteraram igualmente a cor dos dentes. Após o clareamento dental, o teste *t* de Student apontou que, para os três grupos, *b* teve uma redução estatisticamente significativa ($p < 0,0001$). Já na avaliação intergrupos, comparando o grupo irradiado com a luz azul, verde e sem luz, (por meio do teste de Kruskal Wallis + Student Newman Keuls para amostras independentes), não foram observadas diferenças significativas.

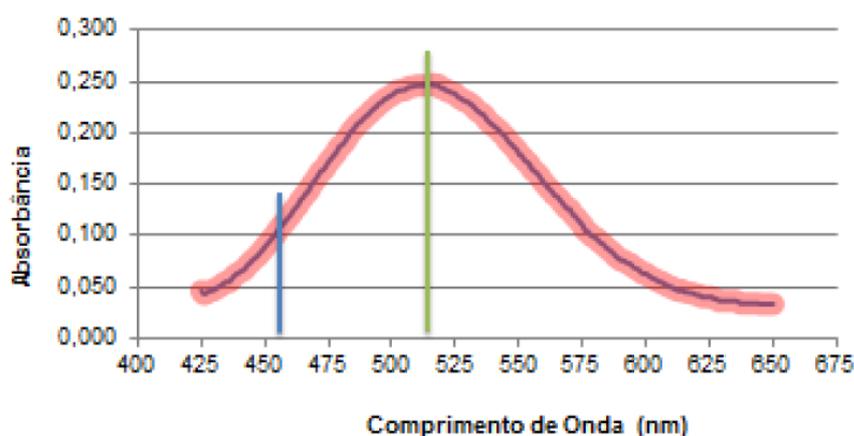
Pode-se observar que o ΔE dos três grupos de amostras (Figura 37) foi maior que 1, o que significa que a alteração de cor promovida foi perceptível ao olho humano. No entanto, todos grupos deveriam passar por mais uma sessão de tratamento ou por mais uma análise, já que todos os ΔE ultrapassaram o valor de 3,3. Isso significa que, embora o clareamento tenha sido perceptível, essa alteração é considerada inaceitável (LIMA, T., 2015).

Além disso, é possível observar que os grupos irradiados apresentaram maiores valores médios de Δ^*E em comparação com o grupo que não recebeu luz. Dentre os grupos que foram irradiados com LED, o grupo do LED verde foi o que apresentou menor valor de ΔE , ou seja, que apresentou cor mais próxima do valor inicial.

De acordo com Riehl *et. al.* (s.d.), a energia proveniente dos LEDs verde (500 nm à 565 nm) e azul (440 nm à 485 nm) “*supostamente aumentaria a reatividade de moléculas cromóforas dentinárias, tornando-as mais receptivas ao peróxido presente ao seu redor, acelerando o procedimento*”. Para que as luzes verde e azul acelerem o clareamento dental, recomenda-se a utilização de espessantes vermelho ou transparente (RIEHL *et. al.*, s.d.).

Lima (2015) afirma que o pico máximo de absorção do gel clareador utilizado é por volta de 513 nm, o que significa que ele absorve melhor na região do espectro da cor verde. No entanto, observou-se que os tratamentos com e sem luz apresentaram resultados parecidos.

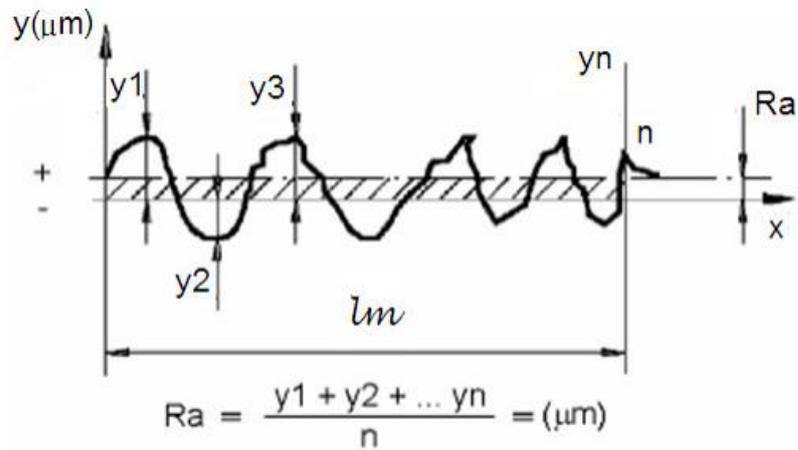
Figura 41: Comparação dos comprimentos de onda das luzes LEDs verde e azul em relação à curva de absorção do espessante vermelho utilizado.



4.2. Análise das Rugosidades Superficial Média e Total

A análise da rugosidade das amostras envolveu a medição de dois parâmetros significantes: a rugosidade média (R_a) e a rugosidade total (R_z). A rugosidade média é determinada em função da linha média M do perfil de rugosidade, conforme mostra a Figura 42.

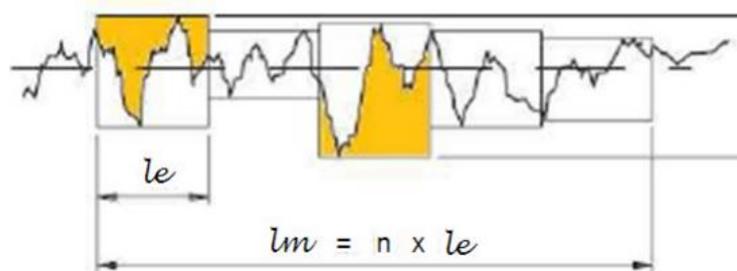
Figura 42: Cálculo da Rugosidade Média de uma Amostra.



Fonte: PIRATELLI FILHO, 2011.

A rugosidade total, ou Rz, corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais baixo no comprimento da avaliação (l_m), como mostra a Figura 43.

Figura 43: Cálculo da Rugosidade Total de uma Amostra.



Fonte: PIRATELLI FILHO, 2011.

Na Tabela 2, encontram-se os valores de perda das rugosidades média (R_a) e total (R_z) das amostras.

Tabela 2: Rugosidades Média (R_a) e Total (R_z) das Amostras.

Grupo	Amostra	R_a Inicial (μm)	R_a final (μm)	R_z inicial (μm)	R_z final (μm)
Verde	1	1,488	1,263	18,79	5,56
	2	1,409	2,647	9,60	23,40
	3	2,741	2,015	28,79	10,53

	4	3,455	3,268	25,00	36,64
	5	4,266	1,096	26,39	14,80
	6	1,508	0,744	10,34	5,97
	7	1,423	1,912	14,66	17,77
	8	2,629	1,843	30,19	13,41
	9	1,699	1,839	26,23	11,51
	10	3,491	3,126	29,61	19,89
Azul	11	1,775	1,845	18,21	15,39
	12	2,944	4,917	33,63	33,18
	13	2,688	1,346	30,74	13,00
	14	2,026	2,124	24,73	18,50
	15	1,558	0,531	8,79	3,34
	16	5,990	5,460	31,95	41,42
	17	1,859	2,540	17,20	14,32
	18	1,234	5,353	5,70	37,81
	19	0,247	1,404	2,21	9,02
	20	5,695	3,887	35,99	29,93
Sem luz	21	4,475	1,047	34,13	4,54
	22	2,738	2,140	29,55	25,05
	23	3,105	1,459	21,27	8,81
	24	4,143	5,662	39,48	54,71
	25	4,265	3,541	33,93	29,66
	26	1,742	1,678	15,44	11,22
	27	2,065	4,385	25,95	40,38
	28	1,524	1,578	15,31	9,35
	29	4,764	3,864	42,94	49,76
	30	1,203	2,041	7,96	12,38

Em seguida, através das medidas realizadas acima, foram obtidos valores médios referentes a cada grupo experimental.

Tabela 3: Valores médios, para cada grupo, de Rugosidades Média (Ra) e Total (Rz).

Grupo	Ra inicial	Ra final	Rz inicial	Rz final
Verde	2,411	1,975	21,96	15,95
Azul	2,605	2,941	20,92	21,59
Sem luz	3,002	2,740	26,60	24,59

A partir dos valores obtidos, foi efetuada a análise estatística objetivando-se verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Para tal, primeiramente foram efetuados testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, por meio dos testes de Levene e Shapiro-Wilk, ao nível de significância estatístico de 5%. Foi observado que os dados, tanto de Ra quanto de Rz, apresentavam distribuição normal. Em seguida, foi efetuada a análise da comparação intra-grupos, isto é, comparando-se os valores antes e depois dos tratamentos, por meio do teste *t* de Student, também ao nível de significância de 5%.

Observou-se que nenhum dos tratamentos propostos promoveu alterações significativas no esmalte dentário tanto no Ra quanto no Rz (todos os valores de *p* foram maiores que 0,05), ou seja, a fonte de luz, qualquer que seja o seu comprimento de onda, não altera a rugosidade do esmalte. Além disso, na comparação inter-grupos, também não foram observadas diferenças estatisticamente significantes. Os valores da média e respectivos erro-padrão podem ser observados nas Figuras 44 e 45 a seguir.

Figura 44: Comparação entre os valores de Ra médios obtidos em cada grupo experimental, antes e após o clareamento dental. As barras evidenciam erro padrão.

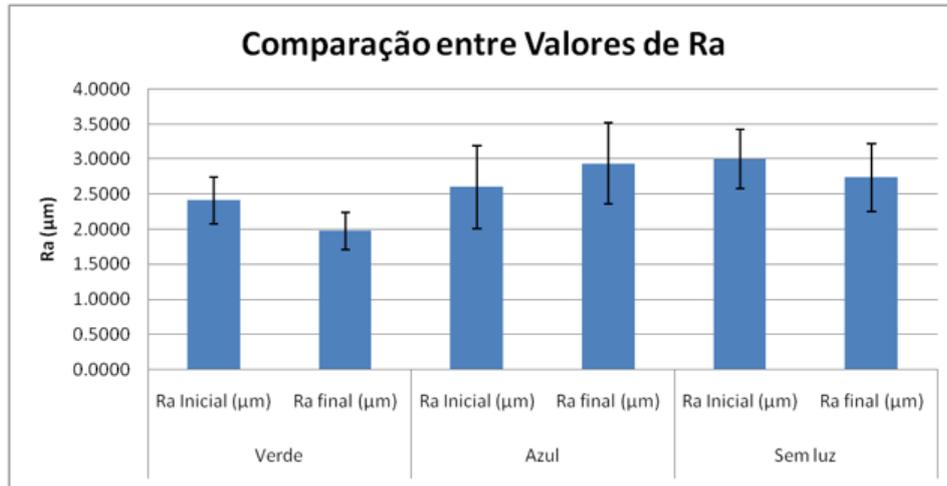
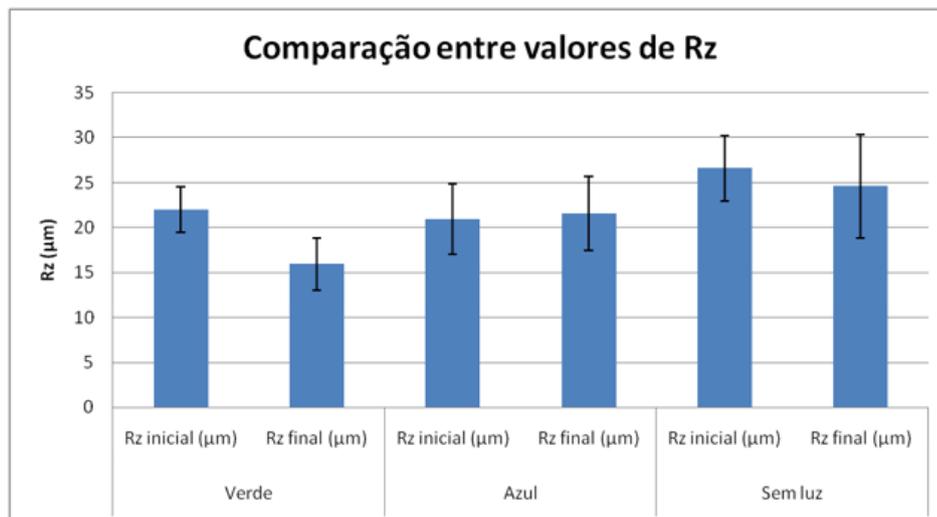


Figura 45: Comparação entre os valores de Rz médios obtidos em cada grupo experimental, antes e após o clareamento dental. As barras evidenciam erro padrão.



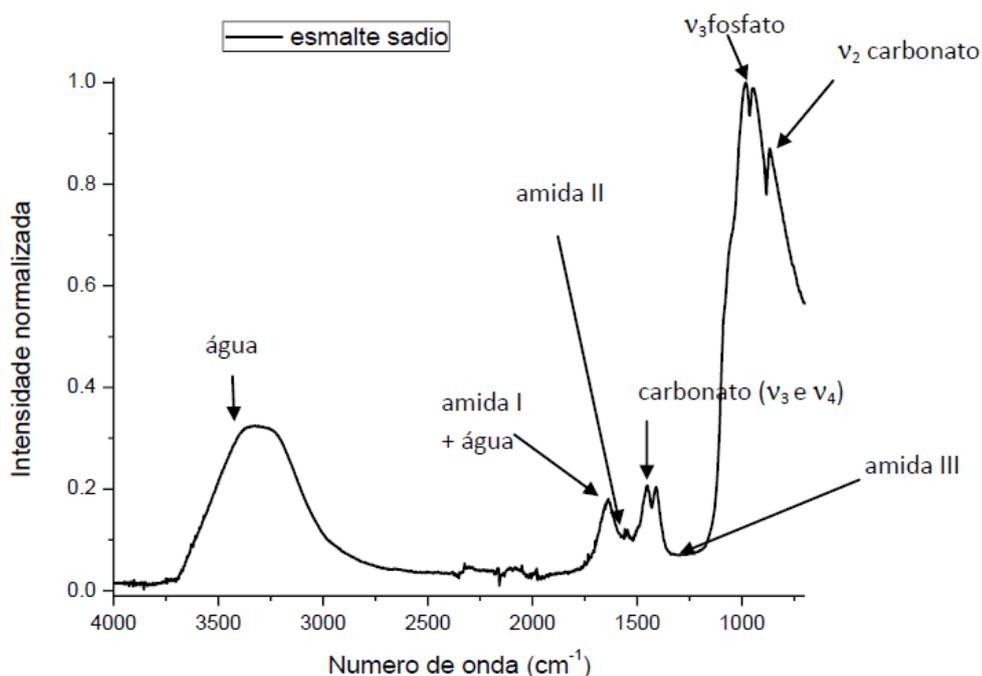
O aumento da rugosidade em um dente aumenta a sua porosidade e, conseqüentemente, suas chances ficar manchado novamente e de acumular placa bacteriana. O grupo irradiado com o LED azul apresentou um ligeiro aumento nas rugosidades média e total, mas, de modo geral, os valores não alteraram de modo significativo.

Os resultados obtidos corroboram com os dados da literatura de Riehl (2012), Cadenaro *et.al.* (2004) e Pedreira de Freitas *et. al.* (2010), mostrando que a ativação do peróxido de hidrogênio por luz não causa danos ao esmalte dental, podendo inclusive prevenir o aumento da rugosidade. No entanto, diversos outros estudos apontam para um aumento da rugosidade após o procedimento de clareamento. Essa divergência de resultados, de acordo com Riehl (2012), pode ser explicado pelo uso de diferentes protocolos e métodos de análises que dificultam a comparação dos dados.

4.3. Análise Composicional

Os espectros de absorção foram normalizados levando em consideração a intensidade da banda de absorção do fosfato, já que esta apresenta menor possibilidade de alterações devido ao procedimento. A Figura 46 mostra o espectro de absorção no infravermelho de um esmalte bovino sem qualquer tratamento, mostrando as principais bandas de absorção.

Figura 46: Espectro de absorção de esmalte bovino sem tratamento.



Fonte: PERUGINE, 2017.

Para a comparação intragrupo, ou seja, antes e após o tratamento, foi utilizado o teste *t* de Student, com nível de significância de 5%. As Figuras 47, 48, 49, 50 e 51 mostram a comparação entre os principais componentes do esmalte dental bovino antes e após o clareamento. É possível observar que não houveram diferenças significativas na variação dos componentes, para os três grupos de amostras.

As barras 1 e 2 estão relacionadas ao LED verde, pré e pós-clareamento, respectivamente; as barras 3 e 4, mostram as variações relacionadas ao grupo irradiado pelo LED azul (pré e pós clareamento, respectivamente) e as barras 5 e 6, estão relacionadas com as amostras que não foram irradiadas por nenhuma fonte de luz.

Figura 47: Comparação de Amida I antes e após o procedimento com os respectivos desvios padrão.

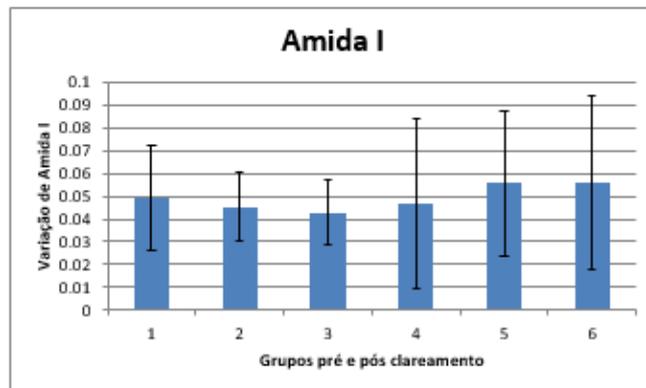


Figura 48: Comparação de Amida II antes e após o procedimento com os respectivos desvios padrão.

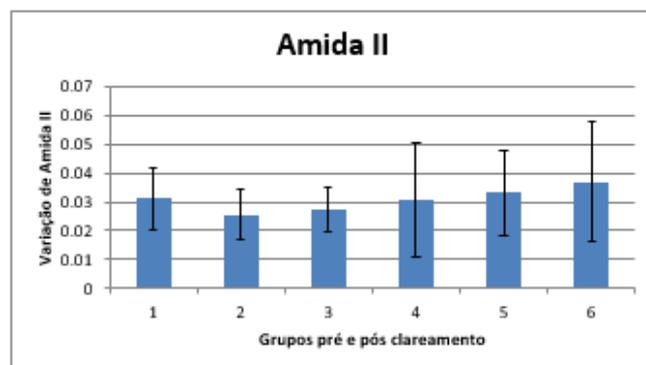


Figura 49: Comparação de Amida III antes e após o procedimento com os respectivos desvios padrão.

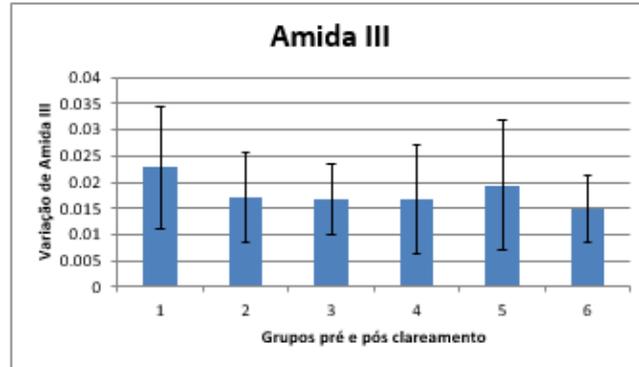


Figura 50: Comparação de Carbonato (v3 e v4) antes e após o procedimento com os respectivos desvios padrão.

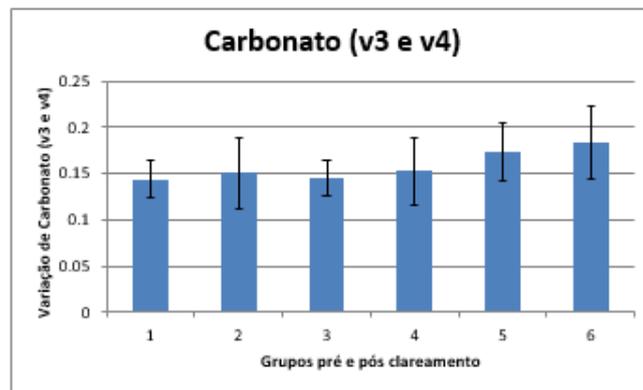
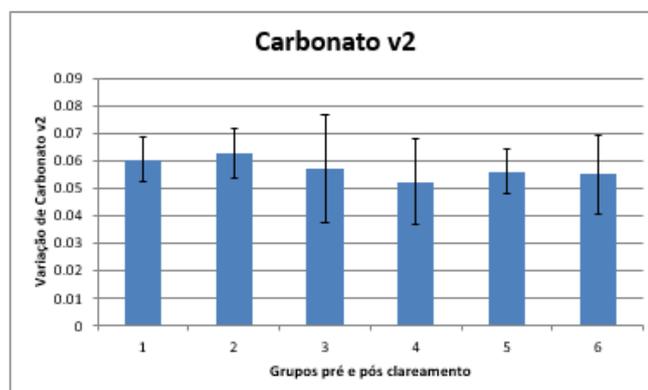


Figura 51: Comparação de Carbonato v2 antes e após o procedimento com os respectivos desvios padrão.



Em seguida, foi realizada a comparação intergrupos, em que os três grupos foram comparados entre si. Foi utilizada a estatística de KRUSKA-WALLIS + STUDENT NEWMAN KEULS. Os gráficos das Figuras 52, 53, 54, 55 e 56 comparam a variação dos componentes do esmalte nos três grupos analisados.

Figura 52: Comparação de Amida I entre os três grupos com os respectivos desvios padrão.

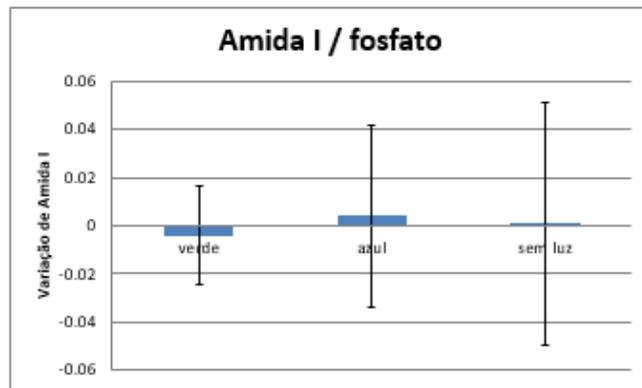


Figura 53: Comparação de Amida II entre os três grupos com os respectivos desvios padrão.

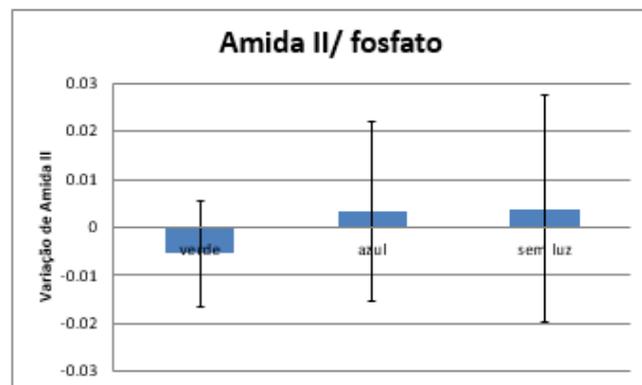


Figura 54: Comparação de Amida III entre os três grupos com os respectivos desvios padrão.

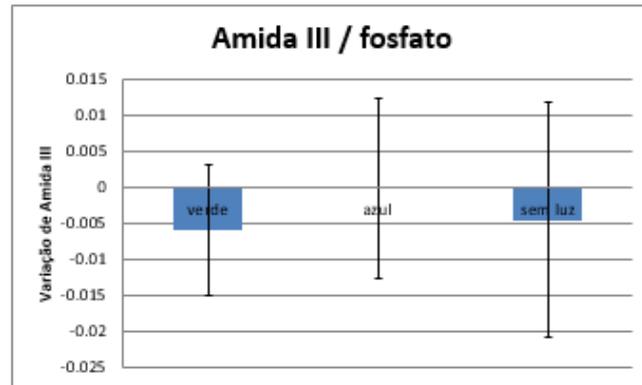


Figura 55: Comparação de Carbonatos v3 e v4 entre os três grupos com os respectivos desvios padrão.

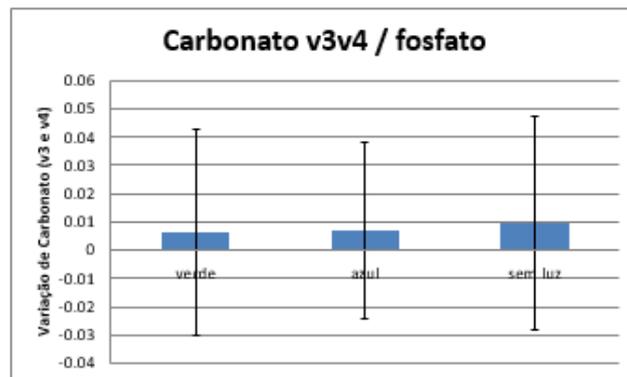
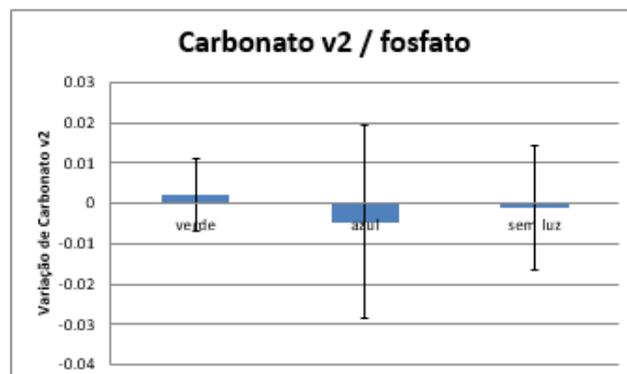


Figura 56: Comparação de Carbonato v2 entre os três grupos com os respectivos desvios padrão.



Na Tabela 4, encontram-se os valores de p de cada componente.

Tabela 4: Valores de p para cada componente do esmalte dental.

	Amida I	Amida II	Amida III	Carbonato v3 e v4	Carbonato v2
p	0,9961	0,3712	0,5545	0,9509	0,8304

De acordo com os gráficos acima, é possível observar que o grupo irradiado com a luz LED verde possuiu uma diminuição significativa da amida III em relação ao grupo irradiado com LED azul, que praticamente não apresentou variação. Os demais componentes não apresentaram aumento ou diminuição significativas.

5. CONCLUSÃO

O clareamento dental, associado ou não à fotoativação, mostraram resultados semelhantes quanto ao sucesso e segurança. Os ensaios de cor, de rugosidade e composicional, apesar de terem apresentados pequenas variações, não apresentaram diferenças significativas. As amostras que foram clareadas utilizando luz LED, verde ou azul, não demonstraram ser mais efetivas do que o procedimento que não utilizou fonte de luz.

No entanto, analisando somente os grupos que foram irradiados, o grupo submetido à luz verde apresentou melhores resultados quando os ensaios de cor e rugosidade foram analisados. Tal fato corrobora com a literatura, que afirma que, para o gel clareador vermelho (da mesma marca que foi utilizado no presente experimento), a luz LED verde apresenta melhor interação e, conseqüentemente, melhores resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXEY, Kazakov. **Anatomia dos dentes:** Dreamstime. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/ilustração-stock-anatomia-dos-dentes-image65571570>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

ANA, Patricia Aparecida da. **Interação laser-Tecido**. Santo André: Ufabc, 2012. 38 slides, color. Disponível em: <<http://ebm.ufabc.edu.br/wp-content/uploads/2011/10/aula-3-interacao-luz-com-a-matéria-20121.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.

APRIMORA. **TIPOS DE DENTE: INCISIVOS, CANINOS, PRÉ-MOLARES E MOLARES**. 2014. Disponível em: <<http://clinicaaprimora.com.br/blog/?p=29>>. Acesso em: 20 out. 2017.

BACHMANN, L. Estrutura e Composição do Esmalte e da Dentina Tratados Termicamente ou Irradiados com Lasers Emissores no Infravermelho. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-IPEN. São Paulo. 2004.

BELISÁRIO, Roberto. A Natureza da Luz: Ela se comporta ora como partícula, ora como onda. **Pre-univesp: UNIVERSO**, São Paulo, v. 61, n. 1, p.2-5, dez. 2016.

CADENARO, Milena et al. Effect of Two In-office Whitening Agents on the Enamel Surface In Vivo: A Morphological and Non-contact Profilometric Study. **Operative Dentistry**, v. 2, n. 33, p.127-134, 2008.

CARDOSO, Roberta Marques et al. A rugosidade do esmalte dental e o tratamento clareador. **Rpg Rev Pós Grad**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 19, p.39-45, nov. 2012.

CORCIOLANI, Gabriele. **A Study of Dental Color Matching, Color Selection and Color Reproduction**. 2009. 187 f. Tese (Doutorado) - Curso de Phd Program, School Of Dental Medicine, University Of Siena, Siena, 2009.

COURROL, Lilia Coronato; PRETO, André de Oliveira. **APOSTILA TEÓRICA: ÓPTICA TÉCNICA I**. São Paulo: Fatec Sp, s.d. 96 p.

DIAS, Marcelo Paschoal. **AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE UM PRÉ-REGULADOR BOOST DE BAIXA FREQUÊNCIA NO ACIONAMENTO DE LEDS DE ILUMINAÇÃO**. 2012. 94 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa

de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

DOMINGUEZ Arantza, GARCIA Juan Antonio, COSTELA Angel, GOMEZ Clara. Influence of the Light Source and Bleaching Gel on the Efficacy of the Tooth Whitening Process. Revista Photomedicine and Laser Surgery 2011; Espanha v.29, n. 1.

DOSTALOVA, Tatjana, et al. Diodo Laser-Activated Bleaching. Braz Dent; v.15, p.3-8, 2004.

DOURADO, Kerson Bruno Vieira et al. LEDTERAPIA: Uma nova perspectiva terapêutica ao tratamento de doenças de pele, cicatrização de feridas e reparação tecidual. In: DOURADO, Kerson Bruno Vieira; CARNEVALI JUNIOR, Luiz Carlos; PAULO, Rafael Julio Francisco de. **Ensaio e Ciências: Ciências Agrárias, Biológicas e da Saúde**. 6. ed. Valinhos: Anhanguera Educacional Ltda, 2012. p. 231-248.

FREIRE JUNIOR, Olival; PESSOA JUNIOR, Osvaldo; BRUMBERG, Joan Lisa. **Teoria Quântica - Estudos Históricos e Implicações Culturais**. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010. 456 p.

GUERARDI, Michael. **Curso Pré-Universitário Popular da Universidade Federal de Juiz de Fora: Física**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014. 91 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física Moderna. Tradução de Denise Helena da Silva Sotero, Gerson Bazo Costamilan, Luciano Videira Monteiro e Ronaldo Sérgio de Biasi. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. 355p. Título original: Fundamentals of Physics, 4th edition, Extended Version.

Konica Minolta Sensing Americas. **Entendendo o Espaço de Cor L*a*b***. 2016. Disponível em: <<http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

LIMA, Débora da Conceição. **EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO FÍSICO DA LUZ**. 2012. 58 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Departamento de Física de Ji-paraná, Universidade Federal de Rondônia, Ji-paraná, 2012.

LIMA, Thainá Fernanda Castro de. **Avaliação dos efeitos de diferentes fontes de luz sobre o processo de clareamento dental**. 2015. 55 f. Tese (Bacharelado) - Curso de Engenharia Biomédica, Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Abc, Santo André, 2015.

LINS, Emery Cleiton Cabral Correia. **Espectroscopia da fluorescência na citricultura**. 2009. 118 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física Aplicada, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MALTAGLIATI, L. A., Montes, L. A. P., Análise dos fatores que motivam os pacientes adultos a buscarem o tratamento ortodôntico. RevistaDental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial2007; Maringá, v. 12, n. 6, p. 54-60.

MANDARINO, Fernando. **Clareamento Dental**. Ribeirão Preto: Webmasters do Laboratório de Pesquisa em Endodontia da Forp-usp, 2003. 30 p.

MARTELETO, Douglas Coelho. **Características semelhantes às de um diodo semicondutor**. 2011. 96 f. Tese (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MOREIRA, Mauro Ceretta. **Utilização de Conversores Eletrônicos que Alimentam LEDs de Alto Brilho na Aplicação em Tecido Humano e sua Interação Terapêutica**. 2009. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

NEIRO, Everton da Silva et al. Análise de cor de para discriminação de seis variedades de cana-de-açúcar em quatro épocas de colheita no ano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO

DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** . Foz do Iguaçu: Inpe, 2013. p. 1 - 8.

NELSON, Stanley J.; ASH JUNIOR, Major M.. **Wheeler - Anatomia Dental, Fisiologia e Oclusão**. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2012. 360 p.

FREITAS, Ana Carolina Pedreira de et al. AFM analysis of bleaching effects on dental enamel microtopography. **Elsevier**, v. 9, n. 256, p.2915-5, 2010.

PERUGINE, Amanda Gabarron. **EFEITOS PROMOVIDOS NO ESMALTE DENTAL SUBMETIDO AO PROCESSO DE CLAREAMENTO IN OFFICE EMPREGANDO-SE LASER E LED**. 2017. 82 f. Tese (Bacharelado) - Curso de Engenharia Biomédica, Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas Universidade Federal do Abc, São Bernardo do Campo, 2017.

PILVI, Tero. **Atomic Layer Deposition for optical applications: metal fluoride thin films and novel devices**. 2008. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Chemistry, Faculty Of Science, University Of Helsinki, Helsinki, Finland, 2008.

PINTO, Rafael Adaime. **Projeto e Implementação de Lâmpadas para Iluminação de Interiores Empregando Diodos Emissores de Luz (LED)**. 2008. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PIRATELLI FILHO, Antonio. **Rugosidade Superficial**. Brasília: Laboratório de Metrologia, 2011. 41 slides, color. Disponível em: <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/arquivos/palestra_ufu_17_05_2011.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2017.

PLEFFKEN, Patrícia Rondon et al. The Effectiveness of Low-Intensity Red Laser for Activating a Bleaching Gel and Its Effect in Temperature of the Bleaching Gel and the Dental Pulp. **Journal Of Esthetic And Restorative Dentistry**. São José dos Campos, p. 126-132. fev. 2012.

QUEIROZ, Eduardo. **ANATOMIA DENTAL**: Quixadá: Unicatolica, 2017. 21 slides, color. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/EduardoQueiroz44/anatomia-dental-generalidades>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

RIEHL, Heraldo. **Estudo in vitro do efeito de três diferentes agentes clareadores sobre a dureza e rugosidade do esmalte dentário bovino**. 2002. 116 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Odontologia, Universidade de São Paulo, Bauru, 2002.

RIEHL, Heraldo et al. Clareamento de dentes vitais e não vitais: Uma visão crítica. **Odontologia Estética: A Arte da Perfeição**, 68 p.

ROESNER, Tayanna Hawerth. **FLUORESCÊNCIA NA ODONTOLOGIA ESTÉTICA: IMPORTÂNCIA NOS DENTES NATURAIS E NOS MATERIAIS RESTAURADORES**. 2007. 94 f. Tese (Especialista) - Curso de Especialização de Dentística, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007

ROSA, Enio Ratton. **Avaliação clínica da sensibilidade e efetividade do clareamento em consultórios de dentes polpados, com e sem o emprego de fonte de luz: controle de 12 meses**. 2012. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Odontologia, Universidade de São Paulo, Bauru, 2012.

SCHIAVONI, Renato Jonas dos Santos. **Avaliação da Eficácia de Clareamento, Permeabilidade e Morfologia Superficial do Esmalte Submetido a Diferentes Técnicas de Aplicação de Peróxido de Hidrogênio a 35%, Após Aplicação de Flúor**. 2010. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Odontologia, Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

STUPPIELLO, Bruna. **Saiba quais são os cuidados com os alimentos que mancham os dentes**. 2016. Disponível em: <<http://www.minhavidacom.br/alimentacao/materias/17443-saiba-quais-sao-os-cuidados-com-os-alimentos-que-mancham-os-dentes>>. Acesso em: 05 set. 2017.

THE JOURNAL OF CONTEMPORARY DENTAL PRACTICE: Comparison between Color Spaces of Vita Lumin Shade Guide with Natural Teeth in Bengaluru Population using Spectrocolorimeter: An in vivo Study. New Delhi, ago. 2017. Disponível em: <http://www.thejcdp.com/Aheadofprint/18_OR.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2017.

TIANO, Paulo Cezar M.. **Minicursos 2009: Cor e Colorimetria.** São Paulo: Conselho Regional de Química - Iv Região (sp), 2009. 122 p. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_cor_site.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2017.

VO-DINH, Tuan. **Biomedical Photonics HANDBOOK.** Oak Ridge, Tennessee: CRC PRESS, 2002. 1787 p.

ZANIN, Fátima et al. Clareamento de dentes vitais com a utilização da luz: In-office dental bleaching of vital teeth: light as a differential. **Dentística**, Santa Maria, v. 5, n. 64, p.338-345, 2010. Disponível em: <<http://www.fo.usp.br/wp-content/uploads/Artigo-Clareamento-de-dentes-vitais1.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

