



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

APLICAÇÃO DO LASER NA MEDICINA DENTÁRIA

Trabalho submetido por
Candice Colette Bonnet
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

junho de 2023



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO
EGAS MONIZ

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

APLICAÇÃO DO LASER NA MEDICINA DENTÁRIA

Trabalho submetido por
Candice Colette BONNET
grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
Prof. Doutora Alexandra Pinto Rodrigues

junho de 2023

Dedicatória

Aos meus pais, por todo o apoio e
força que sempre me transmitiram
durante este longo caminho.

Agradecimentos

Terminada uma grande etapa na minha vida gostaria de deixar aqui o meu sincero agradecimento a algumas pessoas que fizeram parte deste percurso:

A minha Orientadora de tese, o Prof. Doutora Alexandra Pinto Rodrigues, pela paciência e pelo apoio demonstrado.

Quero agradecer aos professores do Instituto Universitário Egas Moniz especialmente aos Docentes Clínicos.

Aos meus pais, por quem o meu amor transborda, que sempre encontraram as palavras certas para ajudar-me a superar os obstáculos que cruzaram o meu caminho, sempre estiveram presentes nos momentos mais importantes da minha vida. A nossa relação é preciosa e nunca me esquecerei de tudo o que fizeram por mim. Obrigada também ao meu irmão mais velho Julien, mais incrível que existe neste mundo, a tua bondade fascina-me tanto e a tua simplicidade é algo espetacular. Tenho imensa sorte de ter-te ao pé de mim e espero que todos os teus sonhos tornem-se realidade.

Aos meus avós, Mounette e Papou, que sempre me apoiaram durante meus estudos e mesmo antes. Sinto a presença e o amor deles diariamente. Tenho sorte de tê-los na minha vida. Só Deus sabe o quanto sou grata por fazer parte da minha vida e o quanto os amo.

A minha parceira Catarina, que fez prova de paciência para aturar o meu feitio durante esse último ano, fiquei feliz por ter trabalhado contigo, com alguém tão estudiosa como tu e que tinha os mesmos objetivos. Obrigada mais uma vez pela tua grande ajuda. Espero que tenhas um grande futuro na Medicina Dentária e que sejas feliz.

Resumo

A Medicina Dentária é a área das Ciências Médicas responsável pelo estudo, diagnóstico, prevenção e tratamento de condições fisiopatológicas que afetam a cavidade oral, os maxilares e as estruturas associadas.

Hoje em dia é essencial o Médico Dentista manter-se atualizado face à constante evolução da tecnologia, do conhecimento científico e das suas aplicações na área, com o objetivo de permitir uma prática clínica integrada e elaborar planos de tratamento multidisciplinares que podem maximizar a prevenção, o tratamento e o prognóstico das diversas condições e patologias.

A tecnologia Laser foi introduzida na Medicina Dentária por Maiman, em 1960, como uma alternativa às técnicas convencionais, e oferece muitas vantagens na prática clínica. Existem vários tipos de Lasers com características físicas próprias, e o seu comprimento de onda, têm aplicação nos tecidos moles e nos tecidos duros da cavidade oral. Com efeito, ele fornece uma potência concentrada muito baixa a muito alta num ponto específico permitindo realizar tratamentos menos invasivos e mais precisos para cortar os tecidos.

O uso do Laser foi aprovado como um aparelho capaz de aumentar a eficiência, a especificidade e a facilidade do tratamento dentário e tende a desenvolver-se cada vez mais nas diferentes áreas da Medicina Dentária.

Palavras-chave: Laser; Medicina Dentária; tecidos moles; tecidos duros.

Abstract

Dental Medicine is the area of Medical Sciences responsible for the study, diagnosis, prevention and treatment of pathophysiological conditions that affect the oral cavity, jaws and associated structures.

Nowadays, it is essential for the dentist to keep up to date with the constant evolution of technology, scientific knowledge and its applications in the area, in order to allow for an integrated clinical practice and to draw up multidisciplinary treatment plans which can maximize the prevention, treatment and prognosis of the various conditions and pathologies.

Laser technology was introduced into dentistry by Maiman in 1960 as an alternative to conventional techniques, which offers many advantages in clinical practice. There are several types of Lasers with their own physical characteristics, according to their wavelength, and their application in the soft and hard tissues of the oral cavity. In effect, it provides a very low to very high concentrated power in a specific point allowing less invasive and more precise treatments to be performed to cut the tissues.

The use of the Laser has been approved as a device capable of increasing the efficiency, specificity and ease of dental treatment and is developing more and more in the different areas of dental medicine.

Key words: Laser; dental medicine; soft tissue; hard tissue.

Índice Geral

I. Introdução	11
II. Desenvolvimento	13
1. Terminologia e definição	13
1.1. Terminologia	13
1.1.1. O fóton	13
1.1.2. A luz	13
1.1.3. Luz visível	14
1.1.4. A luz Laser	14
1.2. Princípios físicos dos Lasers	15
1.2.1. Características do feixe Laser	15
1.2.2. Interação Laser-tecido vivo	15
1.2.3. Efeitos do Laser nos tecidos vivos	16
1.2.3.1. A bioestimulação	16
1.3. Tecnologia dos Lasers	18
1.3.1. Princípios de realização	18
1.3.1.1. Meio ativo	18
1.3.1.2. Sistema de bombeamento	18
1.3.1.3. Cavidade de ressonância	19
1.3.2. Diferentes modos de funcionamento	19
1.4. Os diferentes tipos de Laser medicinais utilizados	19
2. Aplicação do Laser na Medicina dentária	25
2.1. Em cirurgia oral	25
2.1.1. Tratamento de tumores malignos e certas condições pré-cancerosas	26
2.1.2. Tratamento de Tumores Benignos	26
2.1.3. Tratamento das lesões herpéticas	31
2.1.4. Tratamento das aftas	31
2.1.5. Tratamento dos angiomas	32
2.1.6. Tratamento do líquen plano oral	32
2.1.7. Tratamento das lesões malignas da cavidade oral	32
2.1.8. Osteotomia	33
2.2. Em Periodontologia	33
2.2.1. Tratamento periodontal não-cirúrgico	34
2.2.2. Gengivectomia	35
2.2.3. Frenectomia	36

2.3. Em Implantologia	38
2.3.1. Tratamento da peri-implantite	38
2.3.2. Texturização dos implantes em zircónia	40
2.4. Em Medicina Dentária Conservadora	40
2.4.1. Deteção das lesões de cárie	40
2.4.2. Ação no esmalte	41
2.4.3. Ação na dentina	42
2.4.4. Ação na polpa	42
2.4.5. Hipersensibilidade dentinária	43
2.4.5. Laser e branqueamento	44
2.5. Em Ortodontia	45
2.5.1. Efeito do Laser nos movimentos dentários	45
2.5.2. Efeito na regeneração óssea	46
2.5.3. Descolagem dos braquetes	46
III. Conclusão	49
IV. Bibliografia	51

Índice de Figuras

Figura 1. O espectro eletromagnético (Matéria, 2017).....	11
Figura 2. A decomposição da luz branca (Freitas & Simões, 2015).....	12
Figura 3. (a) Luz convencional cujos raios divergem; (b) Luz Laser cujos raios são paralelos (Romanos, 2021)	12
Figura 4. Esquematização da cavidade de ressonância de um Laser (Convissar, 2015).....	17
Figura 5. Distribuição no espectro eletromagnético dos diferentes Lasers de acordo com os comprimentos de onda (Jorge, 2011).....	17
Figura 6. Ablação de um fibroma irritante por Laser de CO ₂ , imediatamente após a operação e após uma semana durante o controle da ferida (Sutter et al., 2019).....	19
Figura 7. Peça principal do Laser Er:YAG (Baudot, 2016).....	21
Figura 8. Exérese de uma fibroma com Laser (Sawai et al., 2021).....	24
Figura 9. Excisão de epúlide fissuratum com Laser de CO ₂ (Monteiro et al., 2011).....	25
Figura 10. Excisão de mucocelo com Laser CO ₂ (Ramkumar et al., 2016).....	26
Figura 11. Excisão de diapneusia palatina por Laser de Diodo (<i>Journal LS - Implantologie dentaire Utilisation des lasers diodes dans les actes de biopsie et d'exérèse des tumeurs bénignes LS - La Lettre de la Stomatologie</i> , s. d.).....	27
Figura 12. Excisão de um papiloma palatino (Ghidini, G et al., 2021).....	27
Figura 13. Imagem clínica do pós-operatório imediato de uma gengivectomia feita com bisturi em comparação com HPL (Silva et al., 2022).....	32
Figura 14. Frenectomia convencional realizada com lâmina de bisturi e sutura (Yadav et al., 2019).....	33
Figura 15. Frenectomia realizada com Laser sem sutura (Sobouti et al., 2021).....	34
Figura 16. Esquema para uma: (a) solução de design antibacteriano. (b) solução de design de aprimoramento de fixação de tecido mole.....	36
Figura 17. DIAGNOdent Pen-Kavo (<i>DIAGNOdentTM pen</i> , 2020).....	37
Figura 18: Passos do branqueamento em consultório. Retirado de Perdigão (2016).....	41

Índice de Tabelas

Tabela 1. Principais Lasers utilizados em Medicina Dentária (Walsh, 2003).....	18
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Laser: Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation

FL: Fluorescência a Laser

IV: Infravermelha

FOD: Fibra ótica digital

CO₂: Dióxido de carbono

ATP: Trifosfato de adenosina

DL: Laser Diodo

Nd:YAG: NeodymiumDoped Yttrium AluminiumGarnet

Nd:YAG: Neodímio Ítrio Alumínio Garnet

He:Ne: Helium Neon

Er:YAG: Erbium-Doped Yttrium Aluminium Garnet

Er,Cr:YSGG: Erbium, Chrome : Yttrium-Scandium-Gallium-Grenat

Nd:YAP: Neodymium Doped YttriumAluminiumPerovskite

LLLT: Laser de baixa intensidade

HLT: Laser de alta intensidade

ATM: articulação temporomandibular

HPV: Human Papilloma Virus

LPO: Líquen Plano Oral

Nm: Nanómetro

H₂O₂: Peróxido de Hidrogénio

LED: Light Emitting Diode

A.a: Aggregatibacter actinomycetemcomitans

P.g: Porphyromonas gingivalis

GS: Sorriso gengival

W: Watt

°C: Grau Celsius

cm: Centímetro

µm: Micrómetro

T1: Tumor até 2 cm de diâmetro

T2: Tumor entre 2 cm e 5 cm de diâmetro

RANK: Recetor do ativador do fator nuclear kappa-B

RANKL: Ligante do recetor do ativador do fator nuclear kappa-B

I. Introdução

O Laser (Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation) é uma das invenções mais importantes da tecnologia fotônica do século XX (Al-Amri et al., 2016). Devido às suas notáveis propriedades, ele encontra aplicações em todos os aspectos do empreendimento humano - indústria, medicina, defesa, pesquisa e até no entretenimento doméstico.

A introdução do Laser na Medicina Dentária, na década de 1960, por Maiman, levou à pesquisa contínua nas diversas vertentes do Laser nessa área (Maiman, 2018). Por um lado, existem diversos tipos de Laser como Dióxido de carbono (CO₂), Neodímio Ítrio Alumínio Garnet (Nd:YAG) e Er:YAG, que se aplicam nos tecidos moles e duros, mas apresentam algumas limitações. Por outro lado, existem Lasers frios, baseados nos dispositivos de diodos semicondutores, que são dispositivos compactos e de baixo custo, sendo amplamente denominados como a terapia a Laser de baixa intensidade (LLLT) ou "bioestimulação" (Verma et al., 2012 & Walsh, 2003). Pela facilidade, eficiência, especificidade e conforto, os Lasers são indicados para uma ampla variedade de procedimentos na prática da Medicina Oral.

A luz do Laser em Medicina Dentária é uma forma não ionizante de radiação eletromagnética que pode ser utilizada como uma fonte controlada de ablação dos tecidos, dependendo do comprimento de onda, da potência e do tecido-alvo. A sua aplicação na Medicina Dentária Preventiva, Estética e Operatória incluem remoção seletiva da cárie, preparo cavitário, branqueamento dentário, hipersensibilidade, etc. Em Endodontia o Laser aplica-se na esterilização do canal radicular, na terapia fotodinâmica e para cirurgias apicais. Esta "faca ótica" é utilizada para tratamentos cirúrgicos e não cirúrgicos de doenças periodontais e para procedimentos de tratamento estético do periodonto. A sua aplicação encontra-se nos campos da biomodulação óssea como por exemplo em Implantologia e em Ortodontia (Verma et al., 2012 & Walsh, 2003).

Os Lasers têm mostrado resultados bastante promissores nas aplicações clínicas como na dor orofacial, nos distúrbios da articulação temporomandibular e nos distúrbios potencialmente malignos da mucosa oral, herpes, úlceras aftosas recorrentes (Yamaguchi et al., 2021). Auxiliam no diagnóstico ótico aprimorado de lesões orais usando fluorescência, coerência, e técnicas espectroscópicas (Freitas & Simões, 2015).

Os tratamentos dentários a Laser são vantajosos por serem mais rápidos e mais eficientes juntamente com uma diminuição considerável da dor e com uma ausência de

sangramento. A necessidade de anestesia está altamente reduzida, assim como um desconforto pós-operatório mínimo. No entanto, nenhuma tecnologia é cem por cento fiável e segura (Coluzzi & Parker, 2018). Existem limitações que incluem custos relativamente altos, exigência da formação, e modificações de métodos clínicos. O paciente deve receber cuidados pós-operatórios adequados e instruções para cuidar corretamente da área durante a cicatrização. Nenhum comprimento de onda irá tratar de forma otimizada todas as doenças dentárias. Além disso, o médico dentista deve evitar o sobreaquecimento e a carbonização durante o ato clínico para não danificar os tecidos. A maioria dos pormenores técnicos podem ser corrigidos com experiência e adesão aos protocolos de segurança do Laser (Freitas & Simões, 2015).

Este trabalho pretende discutir os conceitos da física do Laser e a sua consequência biológica nos tecidos orais, o avanço da revolução do Laser na prática da Medicina Oral e as aplicações da biofotónica com uma orientação para a sua prevenção, terapêutica e como adjuvante na Medicina Oral. O primeiro passo para uma Medicina a Laser eficiente é recolher informações objetivas sobre todos os aspetos do instrumento e os seus usos. Se todos os aspetos forem ponderados, as recomendações e os protocolos seguidos criteriosamente, os Lasers podem ser de alta qualidade, minimamente invasivos, confortáveis, e podem ser vistos como um instrumento bem aceite pelo paciente com resultados favoráveis e rápidos.

Assim, realizou-se uma pesquisa de artigos científicos na base de dados Pubmed, Cochrane, Biomed-central, Google Scholar, B-On e também foram utilizados livros atualizados sobre o tema. Como critérios iniciais de inclusão foram considerados a língua de publicação em língua inglesa, portuguesa e francesa.

II. Desenvolvimento

1. Terminologia e definição

1.1. Terminologia

1.1.1. O fóton

É uma unidade básica de energia luminosa, o fóton do grego significa luz e constitui o quantum do campo eletromagnético. Ele descreve a luz como um elemento pontual na forma de um corpúsculo.

O fóton não é um objeto simples. Não tem massa, nem carga elétrica, nem posição fixa ou trajetória. Ele não responde à continuidade (Kanavin, 2018).

1.1.2. A luz

A luz é uma radiação eletromagnética perceptível ao olho que pode vir de uma fonte natural ou artificial ou de um objeto reflexivo.

De acordo com os princípios modernos da física, a natureza da luz é dupla e tem propriedades ondulatórias e corpusculares. É composta por ondas eletromagnéticas, cada uma caracterizada pelo seu comprimento de onda. O conjunto de ondas emitidas por um corpo é chamado de espectro eletromagnético (Figura 1) (Kanavin & Krokhin, 2018).

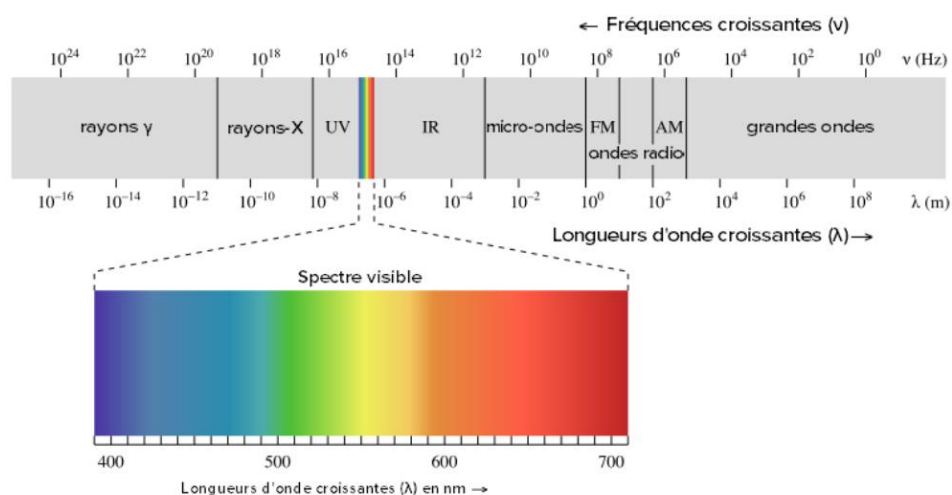


Figura 1. O espectro eletromagnético (Matéria, 2017)

1.1.3. Luz visível

A luz visível ao olho humano representa apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético do sol. Na verdade, apenas os comprimentos de onda entre 380 e 780 nm formam a luz branca. Observamos toda a radiação da luz visível quando decomponemos a luz branca (Figura 2) cujo espectro se estende do vermelho (maior comprimento de onda) ao violeta (menor comprimento de onda).

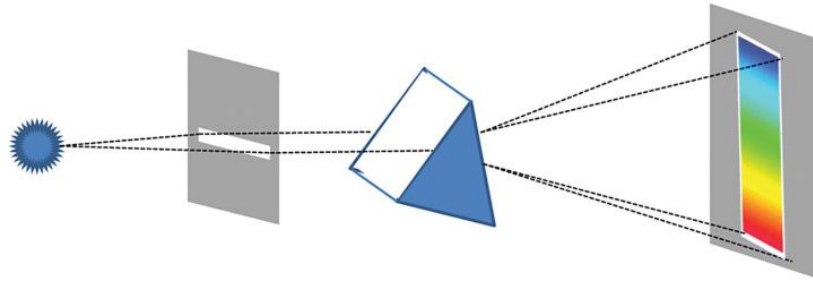


Figura 2. A decomposição da luz branca (Freitas & Simões, 2015)

1.1.4. A luz Laser

A luz do Laser não existe na natureza, é a luz produzida pela amplificação da luz por emissão estimulada de radiação (Figura 3). Os Lasers emitem radiação de comprimento de onda idêntico, todos em fase e que assim permanecem ao longo de sua trajetória. Um feixe de Laser é unidirecional, intenso, monocromático e coerente (Romanos, 2021).

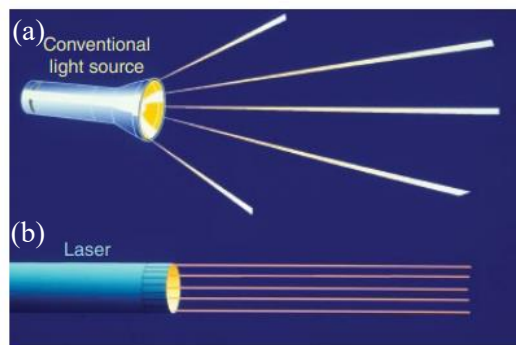


Figura 3. (a) Luz convencional cujos raios divergem; (b) Luz Laser cujos raios são paralelos (Romanos, 2021)

1.2. Princípios físicos dos Lasers

1.2.1. Características do feixe Laser

O termo Laser é identificado como um princípio físico que leva à produção de radiação eletromagnética, que difere da luz usual em varias propriedades.

O Laser fornece luz monocromática. Ao contrário da luz solar, que consiste em vários comprimentos de onda (luz policromática), a luz do Laser tem um comprimento de onda muito preciso e não pode ser difratada por um prisma. A luz é gerada como um feixe de uma única cor, que é invisível se o seu comprimento de onda estiver fora da parte visível do espectro (Fagd, 2015).

Um Laser é dito coerente porque todos os seus fótons estão em fase. A coerência mede a capacidade das ondas a interferir umas com as outras. Duas ondas de luz são ditas mutuamente coerentes se puderem dar origem a um padrão de interferência estável. O feixe de Laser é constituído por ondas coerentes nos planos espacial e temporal (Fagd, 2015).

O brilho e a intensidade dos Lasers estão relacionados com a corrente elétrica e a qualidade dos feixes (Fagd, 2015).

A luz de um Laser é direcional. Ao contrário de outras fontes de luz que emitem em todas as direções, o feixe do Laser é formado por raios quase paralelos (Fagd, 2015).

1.2.2. Interação Laser-tecido vivo

Durante a interação tecido-Laser ocorrem quatro fenómenos relevantes para a luz incidente: absorção, reflexão, transmissão e espalhamento. O efeito mais procurado é a absorção do feixe pelo tecido. A energia será transformada em calor e causará um efeito no tecido proporcional ao aumento de temperatura obtido (Niemz, 2019).

A absorção requer a presença de um alvo cujo espectro de absorção corresponda ao comprimento de onda do feixe de Laser. Quando absorvido pelo tecido, o fóton produz um efeito terapêutico. A penetração da luz no tecido depende do coeficiente de absorção e do coeficiente de espalhamento. Existem fatores que influenciam no processo de absorção como: tempo de aplicação, densidade de energia, superfície do ponto (alvo). Um ponto grande usa menos energia e é menos afetado pela dispersão do que um ponto menor (espalhamento).

É importante levar em consideração a reflexão da luz pelos tecidos para avaliar a quantidade de energia que pode ser absorvida ou difundida no tecido. Quando um feixe de luz passa de um meio para um outro de índices diferentes, uma parte desse feixe é refletida no nível da fronteira entre esses dois meios, enquanto o segundo atravessa essa fronteira e penetra no outro meio (daí o uso de óculos : 4 a 5% da luz é refletida ao nível do estrato córneo).

A transmissão é a penetração do feixe de laser através do tecido. Corresponde à fração do feixe que não é refletida, nem difundida, nem absorvida.

A difusão é a mudança de direção do raio de luz durante sua interação com uma pequena partícula ou num meio não homogêneo ou turvo. Depende da natureza do tecido. Este é um efeito indesejado porque diz respeito a um volume maior do que o alvo pretendido com um efeito reduzido sobre o mesmo.

1.2.3. Efeitos do Laser nos tecidos vivos

O efeito dos Lasers nos tecidos vivos depende, por um lado, das características específicas do Laser utilizado e também depende do tecido alvo e suas características; comprimentos de onda absorvidos pelos seus constituintes, transmissão às camadas subjacentes, difusão em cada camada, qualidade do tecido (duro ou mole). Os efeitos conhecidos dos Lasers em tecidos vivos são:

1.2.3.1. A bioestimulação

É a capacidade do feixe de Laser agir sobre um tecido vivo sem alterá-lo. Deve saber-se que a energia luminosa é transferida para a célula para estimular as suas funções metabólicas induzindo vários efeitos clínicos observáveis:

- Efeito analgésico
- Efeito anti-inflamatório
- Efeito no tempo de cicatrização

De facto, a luz do Laser tem a capacidade de modificar a atividade enzimática das células, ou mesmo induzir a proliferação celular (Niemz, 2019).

1.2.3.2. Efeitos térmicos

Este é o principal efeito da radiação Laser utilizada na terapia. Existem várias manifestações do efeito térmico e estão diretamente relacionadas à temperatura.

Para uma temperatura de 40 a 45°C, será observada hipertermia tecidual. Para uma temperatura de 50 a 55°C, a desnaturação das proteínas será observada. Estes dois são fenômenos da vasodilatação.

Para uma temperatura superior a 60°C mas inferior a 80°C, observa-se a coagulação devido à desnaturação das proteínas plasmáticas.

Para uma temperatura superior a 80°C, será observada dissecação ou carbonização. Ou seja, retração dos tecidos e desidratação levando à morte celular (Niemz, 2019).

1.2.3.3. Efeitos fotoquímicos

Os efeitos fotoquímicos fazem com que as células-alvo iniciem reações químicas induzidas pela luz do Laser, como por exemplo a fotopolimerização de resinas compostas; e causam a quebra das ligações químicas. O objetivo é marcar um tecido patológico com um fotossensibilizador e ativar o agente químico por radiação Laser apropriada, causando necrose do tecido (Niemz, 2019).

1.2.3.4. Efeitos foto ablativos

Este efeito é observado sem entrada significativa de calor. Varia de acordo com a capacidade de absorção de água dos tecidos. Quanto maior o coeficiente de absorção, menor o limiar de ablação.

1.2.3.5. Efeitos nos tecidos duros

Estudos recentes mostraram que os Lasers de CO₂ podem ser usados em baixas densidades de energia para a fusão de esmalte, dentina e apatite (Perveen et al., 2018).

O uso de Laser de alta energia pode causar lesões na polpa que podem requerer tratamento endodôntico mais tarde. No entanto, a utilização do Laser em baixas energias, graças à absorção muito forte em água e hidroxiapatite dos seus comprimentos de onda infravermelhos, pode ser utilizado para a remoção de cárie no esmalte e na dentina. Observa-se redução de 56% do esmalte primário quando se utiliza o Laser comparado ao condicionamento com ácido fosfórico (Olivi et al., 2018).

Também é descrita uma menor sensibilidade pós-processamento em comparação com os métodos tradicionais de preparo cavitário (Oral Health Group, 2020).

1.3. Tecnologia dos Lasers

1.3.1. Princípios de realização

Três elementos devem obrigatoriamente existir para permitir a emissão do Laser:

- Um ambiente ativo
- Um sistema de bombeamento
- Uma cavidade de ressonância

(Debta et al., 2022)

1.3.1.1. Meio ativo

É o meio ativo que dá nome ao Laser, pois define o comprimento de onda dos fótons emitidos. Ele pode ser :

- Um sólido (Nd: YAG, Er: YAG, Rubi, Safira, Alexandrita)
- Um gás (CO₂, Ar⁺, Krypton⁺, He-Ne, Excímeros)
- Um líquido (corantes)
- Um semicondutor (diodos)
- Uma fibra ótica

(Convissar, 2015)

1.3.1.2. Sistema de bombeamento

Representado por uma fonte externa de energia utilizada para excitar os átomos do meio ativo, o sistema de bombeamento pode ser de origem:

- Ótica: quando se trata de Lasers de corpo sólido e Lasers de corantes
- Descarga eletrônica: para Lasers a gás
- Descarga elétrica: para Lasers de diodo

Ao destruir o equilíbrio termodinâmico do meio ativo, esse sistema provoca a excitação dos átomos. O retorno dos átomos ao seu estado de equilíbrio é a base da radiação Laser (Fagd, 2023).

1.3.1.3. Cavityde de ressonância

Formada por dois espelhos paralelos, um refletor e outro semitransparente, a cavidade de ressonância permite o surgimento de grande número de fótons após a amplificação (Figura 4) .

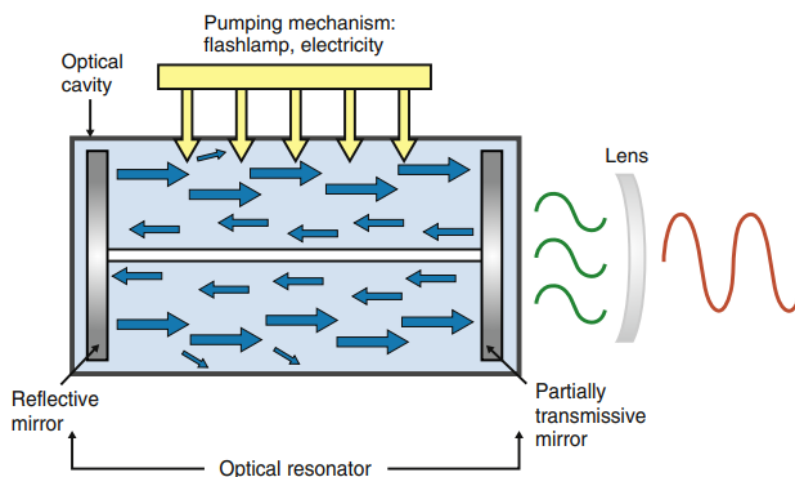


Figura 4: Esquemática da cavidade de ressonância de um laser (Convissar, 2015)

1.3.2. Diferentes modos de funcionamento

Cada tipo de Laser emite num modo específico. Este modo de emissão pode ser contínuo quando o meio ativo é excitado de forma contínua pelo sistema de energia externo ou por propulsão que pode ser relaxado, disparado ou com modos bloqueados (Jr., 2023).

1.4. Os diferentes tipos de Laser medicinais utilizados

1.4.1. Classificação

Na estomatologia, os Lasers odontológicos utilizados operam num espectro eletromagnético que vai do infravermelho ao ultravioleta passando pela luz visível.

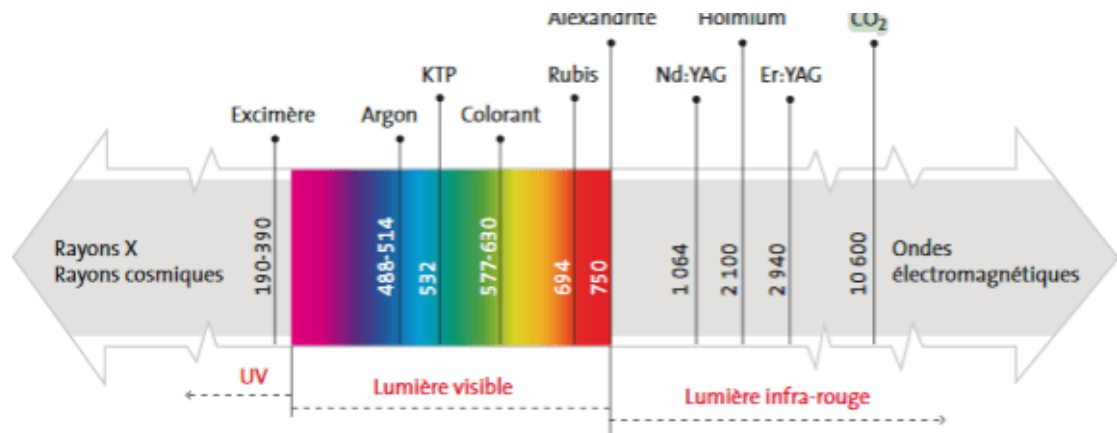


Figura 5: Distribuição no espectro eletromagnético dos diferentes Lasers de acordo com os comprimentos de onda (Jorge, 2011)

Os Lasers para uso medicinal podem ser classificados de acordo com a origem do meio ativo e com as aplicações clínicas: Neste caso, distinguimos os Lasers “quentes” para uso cirúrgico: CO₂, Nd: YAG, Er: YAG e Argon; e os Lasers “frios” ou soft lasers para aplicações terapêuticas leves: HeNe, Lasers de diodo (semicondutor): arseneto de gálio, arseneto de gálio-alumínio (Romanos, 2021).

Tipo do Laser	Meio ativo	Comprimento de onda	Sistema de transmissão
Argon	Gás	488, 515nm	Fibra ótica
Hélio-Neônio	Gás	633 nm	Fibra ótica
Diodo	Semicondutor	635, 670, 810,830,980 nm	Fibra ótica
Nd:YAG	Sólido	1064 nm	Fibra ótica
Er:YAG Er,Cr:YSGG	Sólido	2780 nm	Fibra ótica
Er:YAG	Sólido	2940 nm	Guia de onda, braço articulado
CO₂	Gás	9600, 10600 nm	Guia de onda, braço articulado

Tabela 1: Principais Lasers utilizados em Medicina Dentária (Walsh, 2003).

1.4.2. Os LaserS cirúrgicos

1.4.2.1. O Laser CO₂

Produce um raio que é fortemente absorvido pelos tecidos ricos em água e pela hidroxiapatite (Bawazir et al., 2020). É esta propriedade que lhe permite um excelente corte por vaporização do meio intersticial. As vantagens da cirurgia com Laser de CO₂ em relação à cirurgia convencional com bisturi são a hemostase e a obtenção de um campo cirúrgico relativamente seco, permitindo uma melhor visibilidade do campo operatório (Kim et al., 2019).

O Laser CO₂ é utilizado para:

- Cirurgia dos tumores benignos
- Gengivoplastia, gengivectomia e frenectomia
- Hiperqueratose
- Apicectomia
- Angiomas
- Verrugas
- Periodontologia
- Papiloma de origem viral
- Fibroma
- Epulis

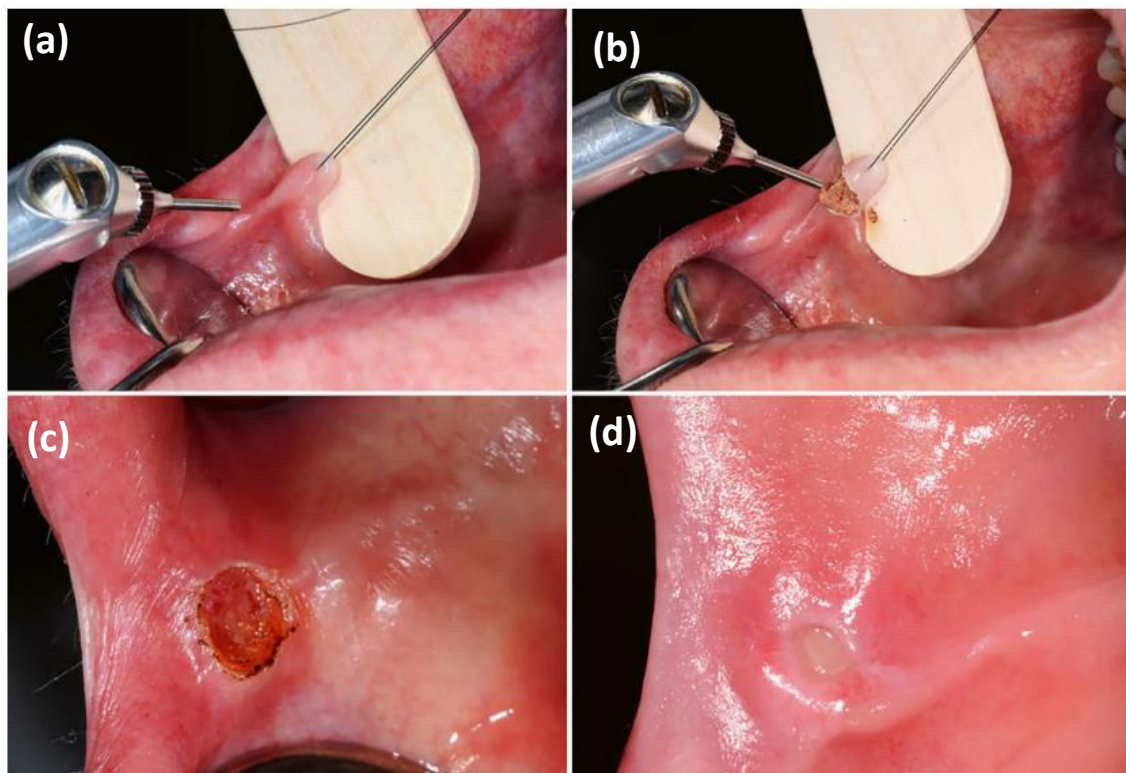


Figura 6: Ablação de um fibroma irritante por laser de CO₂, imediatamente após a operação e após uma semana durante o controle da ferida (Sutter et al., 2019)

1.4.2.2. O Laser Nd:YAG

É o acrónimo para Neodímio: Yttrium Aluminium Garnet. Cerca de 90% de sua energia é transmitida através da água. É por isso que a sua radiação é muito penetrante. Portanto, deve ser usado com atenção.

As aplicações mais comumente realizadas na Medicina Dentária são incisões, coagulação de tecidos moles, desbridamento sulcular e ablação seletiva da dentina. O seu raio penetrante é útil para hemostase, tratamento de aftas, úlceras e analgesia pulpar (Dostalova et al., 2019).

Ele permite igualmente tratar a hipersensibilidade dentinária. Sendo um Laser de alta potência, ele pode produzir um efeito de fusão na superfície da dentina irradiada, obliterando a entrada dos túbulos dentinários, interrompendo assim o movimento do fluido intratubular (Nammour et al., 2022).

1.4.2.3. O Laser Nd:YAP

O Laser Nd-YAP possui um cristal de ítrio-alumínio- perovskita dopado com neodímio. É caracterizado pela emissão de luz com um comprimento de onda de 1340 nm. Tem boa absorção na água, hemoglobina e melanina. Consequentemente, quanto mais os tecidos contiverem água, mais eficaz será o Laser. É um Laser bastante utilizado em Endodontia. Ele ativa a solução de hipoclorito de sódio matando as bactérias nas paredes infetadas do canal radicular (Liu et al., 2022) e utiliza-se para realizar retratamento removendo o material de preenchimento do canal radicular (Cheng & Zhu, 2021).

1.4.2.4. O Laser Argon

A luz verde-azulada de 488-515 nm de comprimento de onda deste tipo de Laser é bem absorvida nos tecidos contendo hemoglobina, hemossiderina e melanina. O Laser Argon, portanto, tem excelentes capacidades hemostáticas. Utilizado de forma muito segura para os tecidos gengivais, pois não causa nenhum dano aos dentes, tem um efeito bactericida, por isso é utilizado no tratamento de doenças periodontais (Romanos, 2021).

1.4.2.5. Os Lasers Érbio

Existem dois comprimentos de onda distintos que usam erbium. Esses dois Lasers têm propriedades semelhantes. O Laser Er: YAG tem um comprimento de onda de 2940 nm e o Laser érbio, cromo: YSGG tem um comprimento de onda de 2780 nm.

1.4.2.5.1. Er: YAG

A profundidade de penetração da radiação no tecido é de apenas 1 µm (10–3 mm), para que ocorra uma fotoablação seletiva e o tecido seja removido camada por camada. Este comprimento de onda é usado principalmente no campo da microcirurgia e cirurgia de tecidos duros. Incisões e remoção de tecidos moles podem ser alcançadas devido à baixa profundidade de penetração. Devido à alta taxa de absorção do feixe de Laser na água, este comprimento de onda pode ser usado para a ablação de esmalte, dentina ou osso (Dua et al., 2021). Descoloração e zonas carbonizadas aparecem no tecido apenas nas margens da área irradiada. Isso pode ser evitado por meio de uma irrigação a água integrada (Figura 7).

Nas osteotomias com o Laser de Er:YAG, observou-se uma zona mínima de necrose, quando comparada com as osteotomias feitas com o Laser de CO₂, e não levou a nenhum atraso na cicatrização da ferida.

Em relação ao tratamento dos tecidos moles, o comprimento de onda deste Laser é recomendado para a ablação da mucosa oral (por exemplo, remoção cirúrgica de leucoplasia ou líquen plano). A aplicação clínica em áreas onde não há grande tendência de sangramento (por exemplo, na remoção de tumores benignos de tecidos moles, gengivoplastia e extra oral na pele) é possível sem a necessidade de suturas adicionais. O Laser de Er:YAG também pode ser aplicado, conforme demonstrado em estudos in vitro em Periodontologia, para remoção de cálculo da superfície radicular.

Testes experimentais com este comprimento de onda também foram realizados com sucesso na artroscopia da articulação temporomandibular (ATM), pois a artroscopia convencional é altamente demorada e complexa e está associada a traumas significativos (Romanos, 2021).

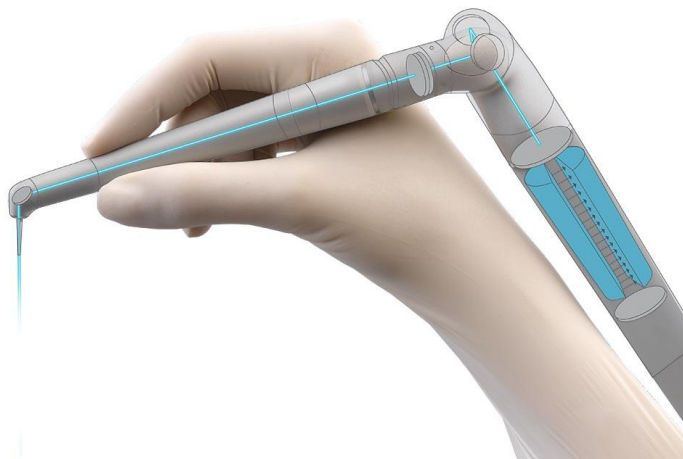


Figura 7: Peça principal do Laser Er: YAG (Baudot, 2016)

1.4.2.5.2. Laser Er, Cr: YSGG

Grandes esforços têm sido feitos com o desenvolvimento do Laser Er,Cr:YSGG (2780 nm) para corte ósseo. Este comprimento de onda pode ser usado em Dentisteria Operatória para o condicionamento ácido do esmalte antes do sistema adesivo e para a preparação da cavidade. Além disso, ele tem sido usado em cirurgia oral para osteotomias, osteoplastias e remoção de dentes supranumerários utilizando spray de água e ar em diferentes proporções. Existem outras aplicações na Implantologia, como a preparação da janela lateral do seio maxilar, a descoberta do implante e a preparação do local do implante. Em Odontopediatria e Ortodontia, para remoção do freio, gengivectomias e operculectomias, é uma oportunidade para excisões de tecidos moles com baixas taxas de complicações. O Laser de Er,Cr:YSGG apresenta menor coeficiente de absorção de água em relação ao Laser de Er:YAG e, portanto, maior profundidade de penetração nos tecidos moles. Portanto, a eficiência de corte é melhor. (Romanos, 2021).

1.4.3. Os Lasers frios

Ao contrário dos Lasers usados em cirurgia, os Lasers frios são considerados uma ferramenta terapêutica.

Eles não emitem calor e não danificam os tecidos da área tratada. Esses Lasers consomem 100 miliwatts de energia ou menos, daí o nome “Lasers de baixa intensidade”. Eles têm um comprimento de onda entre 400-700 nm (Alamoudi et al., 2019).

Estes Lasers são usados em certas terapias, como a terapia a Laser de baixa intensidade (LLLT) (Rathod et al., 2022).

Os resultados clínicos obtidos em Reumatologia, Dermatologia ou Periodontologia permitiram avaliar a eficácia destes Lasers em terapias anti-inflamatórias, analgésicas e cicatrizantes. A aceleração da cicatrização observada após o uso desses Lasers seria explicada pelo aumento da produção de colágeno pela estimulação dos fibroblastos (Rathod et al., 2022).

1.4.3.1. Laser de Hélio-Neon

A irradiação com o Laser He-Ne acelera o processo de cicatrização, com melhor formação das fibras de colágeno e maior deposição de colágeno, conjuntamente com uma reepitelização e neovascularização mais rápidas (Sardari & Ahrari, 2016).

1.4.3.2. Laser Diodo

O Laser Diodo é um Laser semiconductor que tem propriedades semelhantes ao Laser de HeNe, tais como a bioestimulação e a analgesia.

As vantagens do Laser de diodo são numerosas, ele permite cortes precisos, controlar a hemostase e minimizar a dor ou o inchaço pós-operatório em cirurgias de tecidos moles. O Laser de diodo atualmente é inadequado para a manipulação do tecido duro, devido à carga térmica sobre a polpa e os tecidos periodontais, no entanto, mostrou-se bastante eficaz no tratamento de peri-implantite permitindo uma boa desinfecção das superfícies irregulares dos implantes que são difíceis de alcançar por métodos mecânicos convencionais (Atieh et al., 2022).

2. Aplicação do Laser na Medicina dentária

2.1. Em cirurgia oral

O principal Laser utilizado em cirurgia oral é o Laser cirúrgico de CO₂. É o Laser de escolha para cirurgia de tecidos moles. Permite realizar cirurgias incruentas com pouca dor e boa cicatrização.

Os Lasers Nd-YAG e os Lasers de diodo também fornecem resultados valiosos. Os Lasers Erbium (Er-YAG e Er,Cr:YSGG) são Lasers versáteis que combinam cirurgia óssea e cirurgia dos tecidos moles com uma hemostase mais controlada. Os Lasers frios são usados para biomodulação promovendo a aceleração da cicatrização e a ação analgésica e anti-inflamatória (Kalhori et al., 2019).

As indicações para uso desses Lasers em cirurgia oral são:

2.1.1. Tratamento de tumores malignos e certas condições pré-cancerosas

Limitado a tumores T1 e T2, bem circunscritos, não infiltrantes, antes ou após irradiação local, de fácil acesso por via endobucal, respeitando os critérios clássicos de segurança oncológica (Beutter et al., 2018). A vantagem do Laser de CO2 na cirurgia oral é que não causa contração no caso de tumores da língua, a cirurgia é incruenta (melhor visibilidade), a cicatrização é melhor, há menos edema e menos dor pós-operatória, o que não acontece seja com a clássica lâmina fria ou com o bisturi elétrico. Será necessário estar muito atento e monitorizar a possível recorrência (Thomson et al., 2017).

2.1.2. Tratamento de Tumores Benignos

No tratamento de tumores benignos, o Laser permite excisar ou vaporizar totalmente tumores orais benignos como miomas, epúlides, mucocelos, diapneusias, papilomas, condilomas, granulomas, lipomas e outros nevus, com pouco sangramento e sem suturas e com cicatrização rápida que ocorre alguns dias após a operação (Araghi, 2022).

2.1.2.1. Fibromas

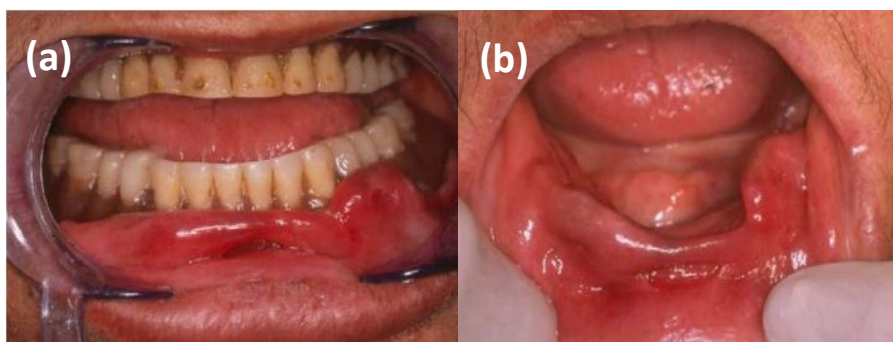
O fibroma é a Lesão mais encontrada na cavidade oral, é firme e pedunculado, recoberto por um epitélio liso queratinizado ou paraqueratinizado (Figura 8). A ablação, incruenta e indolor, com cicatrização rápida em poucas semanas dos miomas pode ser obtida por meio de Laser de diodo a 810 nm (Sawai et al., 2021).



Figura 8: Exérese de uma fibroma com Laser (Sawai et al., 2021)

2.1.2.2. Epúlide:

O epúlide fissuratum não é um tumor verdadeiro. É uma resposta fibroepitelial adaptativa devido a uma irritação crônica de baixo grau de próteses mal adaptadas com graus variáveis de hipertrofia e hiperplasia (Figura 9 a). A excisão com Laser de CO2 é uma ferramenta útil neste tipo de cirurgia com a sua precisão de corte e a singularidade da técnica sem contato, reduzindo o risco de infecção e promovendo a esterilização da ferida cirúrgica. Uma das principais vantagens sobre as cirurgias convencionais é uma excelente hemostase. Por essas razões, não há necessidade de suturar e a ferida pode cicatrizar por segunda intenção. Isso permite a manutenção de uma profundidade de sulco adequada, importante para obter um selamento periférico correto para retenção e estabilidade da prótese dentária, evitando novas recorrências (Monteiro et al., 2011).



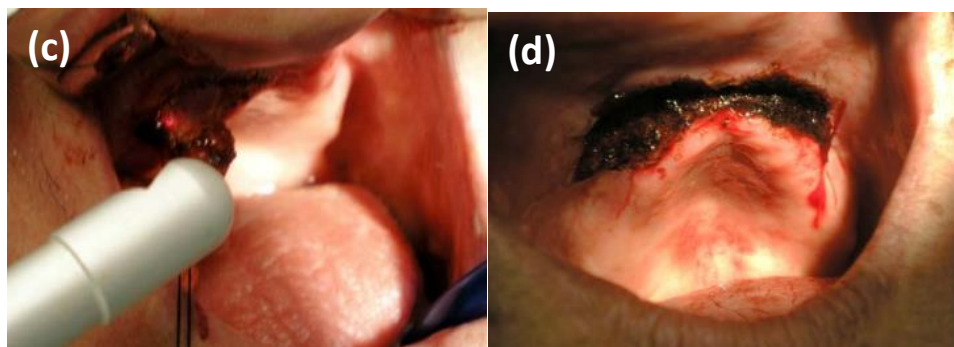


Figura 9: Excisão de epúlide fissuratum com Laser de CO2 (Monteiro et al., 2011).

2.1.2.3. Mucocelo

Os mucocelos orais são lesões císticas não neoplásicas das glândulas salivares major e minor que ocorrem comumente na cavidade oral (Figura 10 a). Os mucocelos são classificados principalmente em dois tipos, de extravasamento e de retenção. Os mucocelos de extravasamento são causados por trauma mecânico nas células dos ductos salivares que culmina no acúmulo de mucina no espaço extracelular. Os mucocelos de retenção, que ocorrem meramente raras, devem-se ao resultado da retenção de mucina por obstrução dos ductos salivares ou ácinos. O local comum dos mucocelos é o lábio inferior, enquanto outros locais onde os mucocelos foram observadas também incluem a superfície ventral da língua, lábio superior e pavimento da boca. Embora muitas vezes assintomática, um mucocelo, devido ao seu tamanho e localização, também pode causar sensação de desconforto e dor e, posteriormente, comprometer a funcionalidade da boca. O tratamento tradicional para mucocelos orais de menor tamanho é a excisão cirúrgica, enquanto por outro lado a marsupialização é empregada para lesões maiores.

A utilização de vários tipos de Lasers dentários, tais como o Laser CO2 (Figura 10 b) com vários comprimentos (10–600 nm), o Laser Er,Cr:YSGG (2780 nm) e o Laser Diodo (900 nm) proporcionam bons resultados com ausência de sangramento e dor durante o procedimento e obtendo melhor cicatrização do que a excisão cirúrgica convencional (Sadiq et al., 2022).

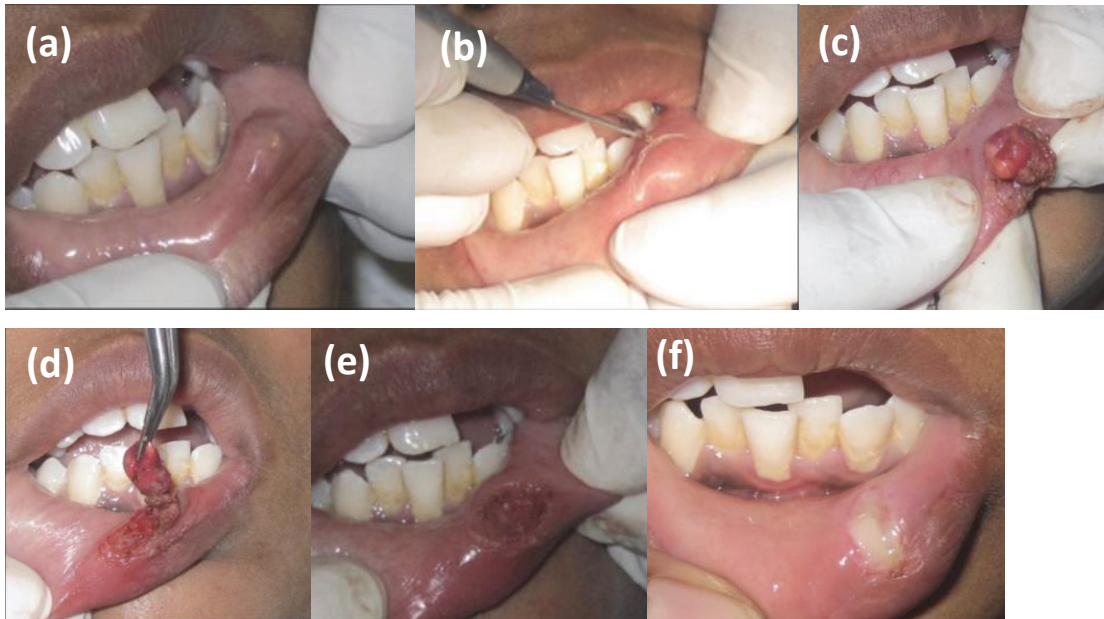


Figura 10: Excisão de um mucocelo com Laser CO2 (Ramkumar et al., 2016).

2.1.2.4. Diapneusia

As diapneusias são tumores benignos bastante frequentes devido a parafunções tais como: sucção da mucosa através de um diastema ou prótese mal ajustada (Figura 11 a). O desaparecimento definitivo após a excisão está ligado ou à redução do diastema, ou ao reajuste ou substituição da prótese defeituosa.

O Laser de diodo no comprimento de onda de 980 nm permite a ressecção incruenta com coagulação do local da operação e boa cicatrização em poucos dias (*Journal LS - Implantologie dentaire Utilisation des Lasers diodes dans les actes de biopsie et d'exérèse des tumeurs bénignes* | *LS - La Lettre de la Stomatologie*, s. d.).

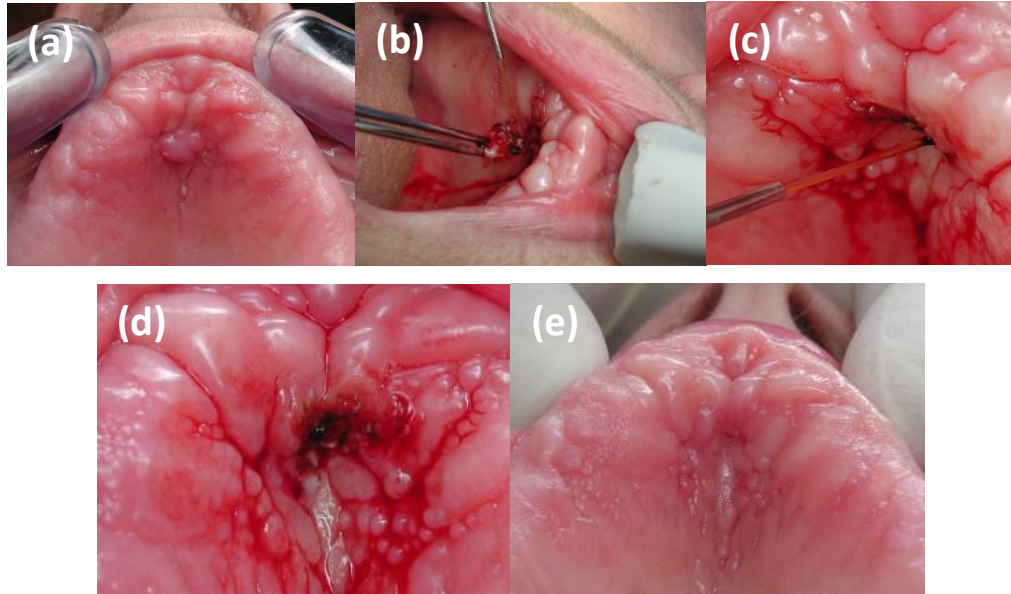
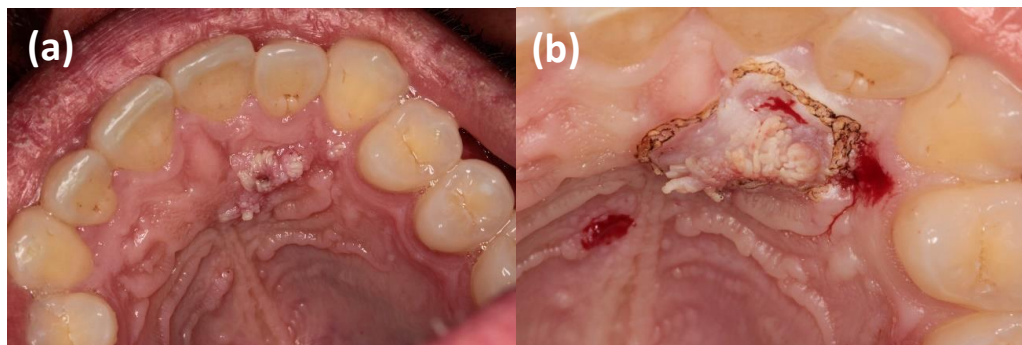


Figura 11: Excisão de diapneusia dalatina por Laser de Diodo (*Journal LS - Implantologie dentaire Utilisation des Lasers diodes dans les actes de biopsie et d'exérèse des tumeurs bénignes | LS - La Lettre de la Stomatologie*, s. d.).

2.1.2.4. Papilomas

Os papilomas orais (HPV para Human PapillomaVirus) são tumores epiteliais benignos da mucosa oral. A sua designação vem de sua condição de superfície, que lembra a de "couve-flor" (Figura 12 a). Essas lesões, às vezes múltiplas, podem ser isoladas (Betz, 2019).

A utilização de Lasers de CO2 permite a vaporização dessas lesões, com redução ou mesmo desaparecimento do sangramento e da dor durante a intervenção (Figura 12 b), obtendo-se boa cicatrização (Ghidini, G et al., 2021).



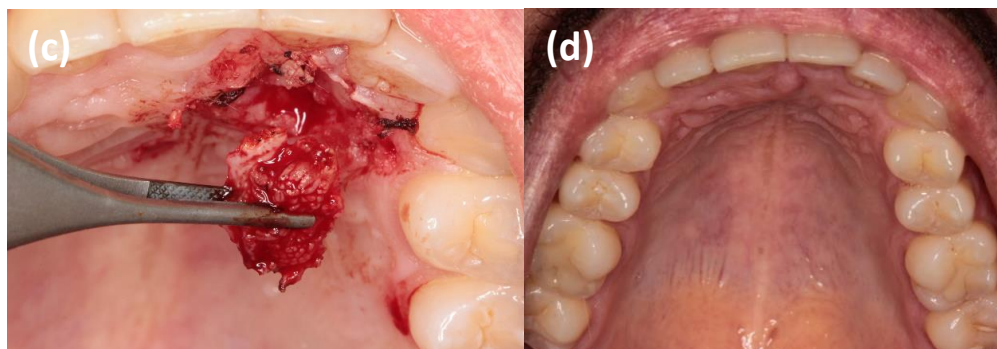


Figura 12: Excisão de um papiloma palatino (Ghidini, G et al., 2021).

2.1.3. Tratamento das lesões herpéticas

A terapia a Laser de baixa intensidade tem um impacto em todas as vias patológicas da infecção por herpes vírus, reduz a inflamação, restaura a microcirculação, melhora os distúrbios do metabolismo dos tecidos e fornece efeitos analgésicos. Por causa disso, a terapia a laser de baixa intensidade (LLLT) pode substituir uma série de medicamentos ou potencializar as suas ações. É importante salientar que a iluminação a Laser induz simultaneamente a inibição da alteração (primária ou secundária em diferentes estágios da doença) e a ativação da proliferação, com efeito anti-exsudativo, que, em conjunto, proporcionam a estimulação dos processos regenerativos e a prevenção de cicatrizes (principalmente com lesões ulcerativas crônicas e necróticas pelo herpes vírus). A analgesia induzida pelo Laser reduz significativamente as sensações de irritação, prurido, queimadura, inchaço e outras. Com efeito, a iluminação a Laser promove os mecanismos de defesa imune locais e sistêmicos do hospedeiro. Vários dos principais estudos experimentais e clínico-laboratoriais realizados evidenciaram o mecanismo altamente eficaz da ação antiviral diminuindo a recorrência (Moskvin, 2021).

2.1.4. Tratamento das aftas

As úlceras aftosas, comumente conhecidas como aftas, são as lesões recorrentes mais comuns que afetam a cavidade oral.

O tratamento a Laser da estomatite aftosa recorrente é um procedimento fácil, rápido e indolor. Estudos demonstraram que as úlceras tratadas com terapia a Laser proporcionam alívio imediato da dor e menos recorrências no futuro. A principal vantagem do LLLT em comparação com outras opções de tratamento é que ele pode ser usado para todas as causas da doença sem causar efeitos colaterais e sem o risco de

overdose de medicamentos. Em conclusão, o tratamento a Laser oferece vantagens tanto para o médico dentista como para o paciente (Akerzoul, N. & Chbicheb, S. 2018).

2.1.5. Tratamento dos angiomas

Um angioma corresponde a uma anormalidade dos vasos sanguíneos ou linfáticos, que se manifesta pelo aparecimento na pele de manchas vermelhas características.

O uso do Laser ND:YAG possibilita o clareamento da pele e o desaparecimento dessas manchas. Também permite coagular os vasos anormais onde o angioma está localizado, sem causar dor durante a intervenção e sem qualquer desvantagem social. Várias sessões espaçadas por um período de 1 mês são necessárias para eliminar certos angiomas (Negosanti et al., 2021).

2.1.6. Tratamento do líquen plano oral

O Líquen Plano Oral, ou LPO, é uma doença mucocutânea crônica associada com a evolução de células escamosas carcinoma. Afeta a qualidade de vida dos pacientes, justificando, na maioria das vezes, um tratamento médico. O tratamento de eleição para o LPO sintomático é a aplicação tópica de corticosteróides. No entanto, o tratamento do LPO com o LLLT traz várias vantagens, permitindo uma redução significativa da sensação dolorosa e do tamanho da lesão. Tem uma grande eficácia na diminuição dos sinais e dos sintomas (Del Vecchio, A et al., 2021). O LPO pode ser curado com o Laser CO₂, a radiação desfocada foi usada para a evaporação das lesões, sem efeito colateral. No entanto, as recorrências podem ocorrer principalmente como lesões queratósicas leves (Seyyedi & Dalirsani, 2021).

2.1.7. Tratamento das lesões malignas da cavidade oral

O interesse do Laser de CO₂ nas lesões localizadas como o carcinoma espinocelular in situ na sua forma incipiente possibilita a realização de excisão de biópsia para fazer um diagnóstico ou confirmar um diagnóstico rapidamente e encaminhar o paciente ao serviço de oncologia competente. O patologista deve ser informado sobre o tipo de técnica de amostragem para não ser surpreendido pelas bordas carbonizadas da amostra (Dilouya, 2015).

2.1.8. Osteotomia

São operações cirúrgicas que reparam deformações ósseas e articulares. Um sistema Laser combinado de Er: YAG e CO2 é usado para todas as osteotomias. Atualmente, o Laser Er: YAG está adaptado à área da cirurgia óssea, principalmente para osteotomias, com um modo de trabalho definido, sem pressão e com pouca vibração. A osteotomia com Laser pode diminuir significativamente a dor, o trismo na remoção do terceiro molar e o edema em comparação com a osteotomia rotacional; além disso, a velocidade de corte na osteotomia rotacional é altamente significativa em comparação com o Laser, indicando que o Laser pode ser uma técnica alternativa à cirurgia rotacional convencional. A dor, hemorragia e edema após a osteotomia com Laser são menores do que com a cirurgia rotacional, mas o tempo decorrido do Laser é o dobro em comparação com a incisão convencional. Além disso, a cicatrização é mais rápida (Baek et al., 2020).

2.2. Em Periodontologia

O Laser influenciou o tratamento periodontal em muitos aspetos. As vantagens do Laser sobre os instrumentos convencionais foram relatadas, e incluem alívio da dor, redução da inflamação, aceleração da reparação dos tecidos, cicatrização de feridas, redução da formação de cicatrizes, remoção de tecido de granulação e revestimento epitelial e tratamento de bolsas periodontais (Abu-Ta'a & Karamneh, 2022).

Na terapia periodontal não cirúrgica, há um benefício clínico adicional ao usar um Laser de diodo (DL) e alisamento radicular em pacientes com periodontite moderada a grave. De facto, permite a eliminação bacteriana graças às propriedades bactericidas, ou seja, é capaz de destruir as bactérias presentes nas bolsas periodontais. Isso ajuda a reduzir a carga bacteriana responsável pela doença periodontal e promove a cicatrização. O Laser ER:YAG parece ser o mais adequado para terapia periodontal não cirúrgica e promove os mesmos efeitos clínicos que a terapia convencional. Na cirurgia periodontal, a vaporização do tecido gengival ou da mucosa pode ser realizada com DL, CO2, ND: YAG, ER: YAG e ER, Cr: YSGG. A fotobiomodulação, mediada por Lasers de baixo nível associada à terapia periodontal não cirúrgica, promove benefícios adicionais no curto prazo e acelera o processo de reparação dos tecidos ósseos e gengivais e também reduz os sintomas pós-operatórios da cirurgia periodontal. O efeito da terapia

fotodinâmica antimicrobiana é relevante nos períodos iniciais de reavaliação (Theodoro et al., 2021).

Os Lasers são muito úteis em certos tratamentos, como:

2.2.1. Tratamento periodontal não-cirúrgico

As aplicações mais comuns do Laser para terapia periodontal incluem diodo, dióxido de carbono (CO₂), dopado com neodímio: granada de ítrio e alumínio (Nd:YAG), dopado com érbio: granada de ítrio e alumínio (Er:YAG) e érbio, dopado com cromo: ítrio, escândio, gálio, granada (Er,Cr:YSGG) com comprimentos de onda variando de 635 a 10.600 nm. Todos esses comprimentos de onda podem ser usados em conjunto com a instrumentação mecânica não cirúrgica para desbridar o tecido conjuntivo e o epitélio dentro das bolsas periodontais, inativar bactérias e remover cálculos subgengivais. De fato, o Laser Er:YAG com comprimento de onda de 2.940 nm apresenta alta absorção em água e iões de hidróxido, proporcionando assim a possibilidade de remover o cálculo subgengival sem causar efeitos colaterais térmicos nos tecidos adjacentes (Salvi et al., 2020).

Uma aplicação adicional de fotões de Laser visa destruir as células bacterianas nas bolsas periodontais por meio de radicais de oxigénio altamente reativos produzidos por uma combinação de luz Laser de baixo nível em conjunto com um fotossensibilizador. Várias bactérias orais são suscetíveis à luz Laser de baixo nível na presença de fotossensibilizadores, como azul de toluidina O, azul de metileno e verde de malaquita. Espera-se que este procedimento não apenas reduza a carga bacteriana e a inflamação nos tecidos periodontais, mas também forneça efeitos bioestimuladores com energia fotónica (Salvi et al., 2020).

A energia fotónica de um Laser de diodo ablativo na bolsa periodontal doente resulta em vários efeitos benéficos. Resulta numa redução no volume bacteriano de *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (A.a) (complexo periodontal bolso-violeta) e *Porphyromonas gingivalis* (P.g) (complexo vermelho) que podem penetrar facilmente no epitélio sulcular sem danificar os tecidos conjuntivos subjacentes (efeito bactericida), que são os principais microrganismos patogénicos na periodontite. Pode resultar também numa redução dos marcadores inflamatórios e o aumento da proliferação celular e da circulação linfática levam à melhoria da inserção periodontal (efeito regenerativo). E resulta no alívio da dor pós-operatória (Pawelczyk-Madalińska et al., 2021).

2.2.2. Gengivectomia

A gengivectomia consiste na remoção cirúrgica do tecido gengival. Este procedimento é usado para tratar doenças da gengiva e eliminar bolsas profundas ou para corrigir um sorriso gengival (GS) (Figura 13 A). Os Lasers usados nesses procedimentos são os Lasers ER-Cr: YSGG e Diodos que são Lasers de baixa potência. (Silva et al., 2022).

O GS é uma condição clínica, com exposição excessiva da gengiva acima da parte superior dos dentes anteriores, durante o sorriso, que pode ter um impacto negativo na estética e na autoestima dos indivíduos, tornando a interação social difícil.

O GS pode ser classificado em quatro categorias, de acordo com os seus fatores etiológicos: o GS dento-gengival, se houver uma erupção passiva alterada dos dentes; o GS muscular, se houver hiperatividade do lábio superior e dos músculos zigomáticos; o GS dentoalveolar, se houver um crescimento vertical excessivo da maxila e o GS misto se mais de uma dessas condições estiver presente.

A gengivectomia pode ser realizada com bisturi, Laser, unidade eletrocirúrgica e produtos químicos como 5% para formaldeído ou hidróxido de potássio. A ausência de sangramento onde a gengivectomia foi realizada com um Laser de alta intensidade (HLT) pode ser explicada pelo facto de que, quando o Laser encontrar o tecido, promove a contração do colagénio na parede vascular (Figura 13 B). Essa contração resulta em constrição da abertura do vaso e hemostase, que também, em outros casos, dispensaria o uso de suturas. Esta natureza hemostática dos Lasers, com base na interação fototérmica entre luz e matéria, é de excelente valor em cirurgia oral, e permite que essa interação seja realizada com mais precisão e que o cirurgião tenha uma melhor visibilidade do local da cirurgia (Silva et al., 2022).

A redução ou ausência de dor pós-operatória após cirurgias de HPL ocorre principalmente devido à cauterização das terminações nervosas que promovem a formação de neuromas térmicos, causando menos dor após a cirurgia e evitando o uso de analgésicos (Silva et al., 2022).

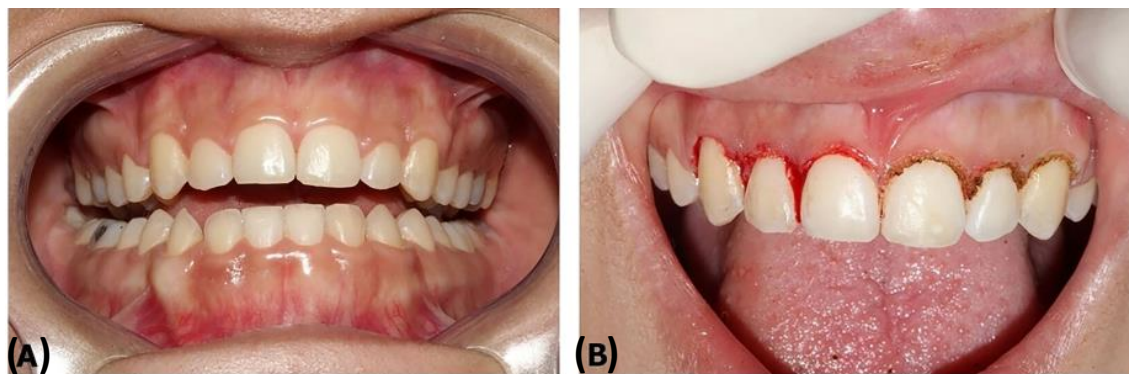


Figura 13: Imagem clínica do pós-operatório imediato de uma gengivectomia feita com bisturi em comparação com HPL (Silva et al., 2022)

2.2.3. Frenectomy

O freio é uma estrutura anatómica que conecta a mucosa do processo alveolar ao lábio superior, ou que conecta a língua ao pavimento da boca. O freio pode limitar a mobilidade do lábio, ou da língua, afetando a mastigação e a fala (Figura 14 A). Além disso, o freio às vezes está muito próximo da gengiva marginal e inibe a escovagem ideal. Assim, sob condições desfavoráveis, existe um risco futuro de retração gengival devido ao acúmulo de placa ou tração muscular (Sarmadi et al., 2020). A frenectomia pode ser efetuada por opção ortodôntica para eliminar um espaço entre os dentes da frente ou pode permitir posicionar a língua para acomodar o crescimento e o movimento da mandíbula (Nammour, 2019).

A frenectomia a Laser é uma técnica rápida e muito simples para obter uma hemostase perfeita que permite precisão de corte (Figura 15 C). O Laser utilizado neste procedimento é o Nd:YAG. O Laser atua por propulsão, trabalhando em contacto direto para a cirurgia de tecidos moles. Deve ter-se em mente que o tempo de ablação depende da composição do tecido alvo, portanto, a secção do cordão do freio provavelmente será mais longa do que o resto da incisão. As suturas geralmente não são necessárias e a ferida cicatriza por segunda intenção. Um penso cirúrgico (Figura 14 D), opcional, fornece proteção secundária da ferida, conforto para o paciente e, acima de tudo, uma barreira física adicional contra qualquer recidiva imediata (Yadav et al., 2019).

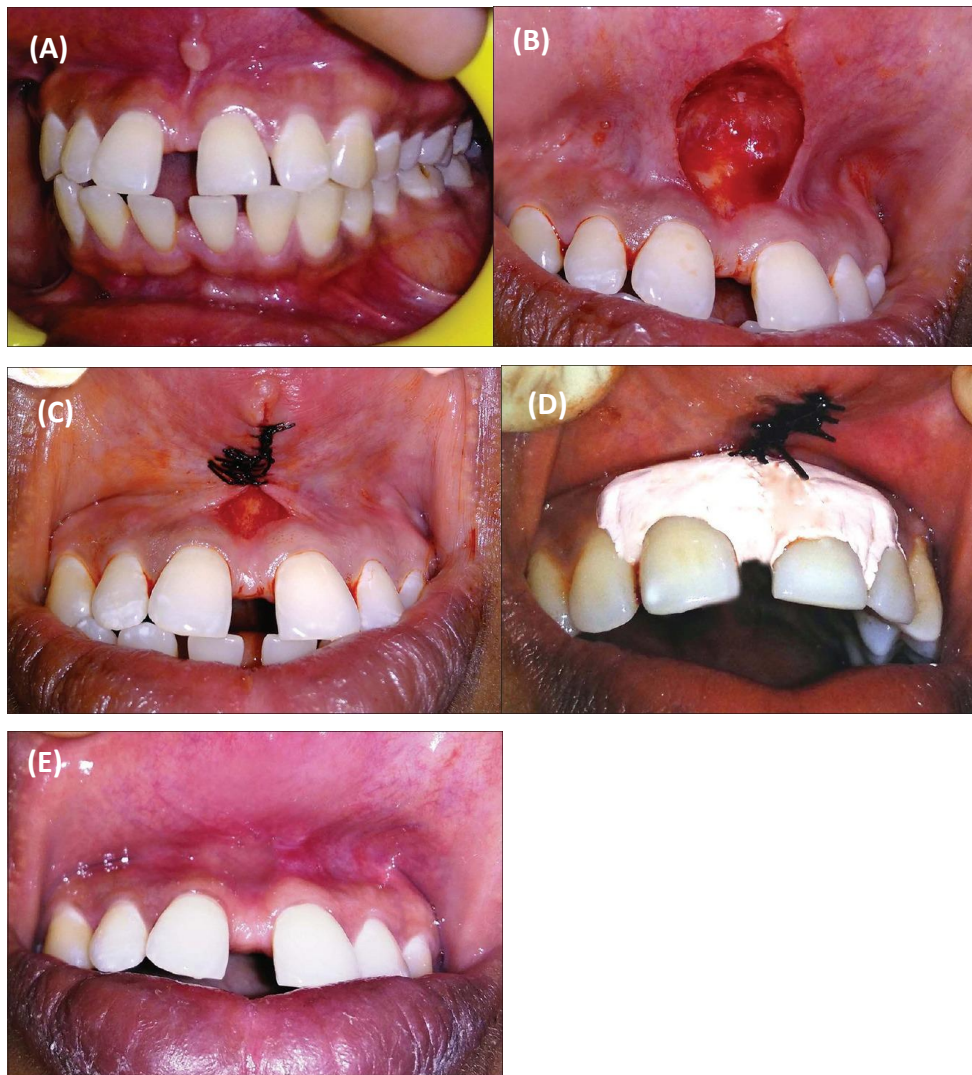


Figura 14: Frenectomia convencional realizada com lâmina de bisturi e sutura (Yadav et al., 2019)



Figura 15: Frenectomia realizada com Laser sem sutura (Sobouti et al., 2021)

2.3. Em Implantologia

2.3.1. Tratamento da peri-implantite

A mucosite peri-implantar é uma doença reversível, induzida por placa, dos tecidos moles peri-implantares que circundam um implante dentário osteointegrado funcional.

O seu diagnóstico é baseado em sinais clínicos de inflamação sem qualquer perda óssea marginal radiográfica. A peri-implantite, por outro lado, é uma doença inflamatória, induzida por placa, de ambos os tecidos moles e duros à volta de um implante dentário osteointegrado em funcionamento. Além dos sinais clínicos de inflamação, está presente a perda óssea marginal radiográfica além da remodelação óssea inicial (Atieh et al., 2022).

O uso de diferentes configurações de Laser de diodo pode influenciar a eficácia do Laser de diodo como ferramenta de descontaminação de implantes. A frequência e o tempo de aplicação do Laser variaram entre 1 e 3 aplicações e 30 a 60 segundos, respetivamente. Supõe-se que uma única aplicação de Laser pode não manter o efeito anti-inflamatório. A aplicação repetida de Laser de diodo nos implantes de titânio pode erradicar os microrganismos sem alterar a qualidade da superfície do implante, resultando numa melhoria significativa nos parâmetros periodontais. Além disso, o aumento da temperatura acima do limite crítico de 10°C após 18 segundos de aplicação é um problema. Portanto, considerações especiais de danos térmicos devem ser levadas em conta para minimizar o efeito de irradiação imprópria. O Laser de diodo tem sido usado com segurança para modificação de tecidos moles peri-implantares e descoberta de implantes dentários submersos sem alteração desagradável nas superfícies de implantes de titânio em comparação com outros tipos de Lasers ou configurações. Além disso, nenhum efeito adverso como inchaço, dor ou desconforto foi detetado após o uso adjuvante do Laser de diodo com desbridamento mecânico no tratamento de doenças peri-implantares (Atieh et al., 2022).

O efeito antimicrobiano também foi avaliado em diferentes superfícies e materiais de implantes. Pode descontaminar vários tipos de superfícies de implantes, como as superfícies de titânio revestidas com hidroxiapatita, pulverizadas com plasma, gravadas com ácido e jateadas com areia. A densidade de potência necessária para gerar um efeito bactericida suficiente é determinada pelas características da superfície. Ao avaliar o efeito dos Lasers de diodo em diferentes materiais utilizados para o fabrico de implantes dentários, como zircónia e porcelana, a operação do Laser eliminou efetivamente as bactérias das superfícies, independentemente do período de exposição. Além disso, a irradiação do Laser de diodo nos pilares de cicatrização eliminou acentuadamente os patógenos predominantes e acelerou a cicatrização de feridas sem quaisquer efeitos nocivos sobre o material de implante avaliado (Atieh et al., 2022).

2.3.2. Texturização dos implantes em zircônia

Os Lasers mais comumente usados para tratamento de superfície de cerâmica de zircônia para melhorar a força de união incluem Lasers de CO₂, Er:YAG, Er,Cr:YSGG e Nd:YAG.

A texturização de superfície com Laser pode ser benéfica para implantes de zircônia dentária em vários aspectos, incluindo uma melhor osteointegração, redução da adesão bacteriana em pilares e um aumento da retenção de restaurações de zircônia (Figura 16 b). Como a essência da texturização a Laser é aprimorar as funções da superfície pela introdução de recursos de superfície com dimensões definidas, a forma e a escala dos recursos são, portanto, de vital importância para o desempenho das superfícies texturizadas. Para os implantes, a forma e a escala ideais das características devem ter alguma relação com o tamanho das células humanas que têm contato direto com a superfície do implante, em relação às restaurações, supõe-se que sejam influenciadas pela resistência de união dos cimentos resinosos (Han et al., 2021).

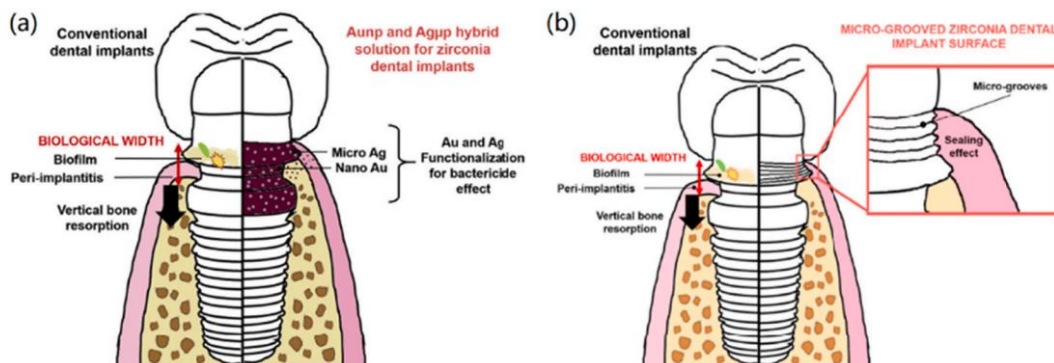


Figura 16: Esquema para uma: (a) solução de design antibacteriano. (b) solução de design de aprimoramento de fixação de tecido mole (Han et al., 2021).

2.4. Em Medicina Dentária Conservadora

2.4.1. Detecção das lesões de cárie

Recentemente, vários sistemas de detecção de lesões de cárie, como DIAGNOdent pen e DIAGNOcam foram introduzidos para melhorar a precisão da detecção de lesões de cárie oclusais não cavitadas e para superfícies proximais. A caneta DIAGNOdent usa tecnologia de fluorescência a Laser (LF) e fornece valores numéricos de 0 a 99. Os valores

mais altos indicam lesões de cárie mais profundas. O aumento do volume de poros no esmalte desmineralizado leva a alterações em suas características óticas. O LF detecta mais fluoróforos dentro desses poros em comparação com o esmalte inalterado saudável. Por outras palavras, LF mede a fluorescência da lesão, as porfirinas que são produzidas por produtos metabólicos microbianos. A caneta DIAGNOdent emite um feixe de Laser de diodo vermelho e o procedimento requer que o dispositivo esteja em contato com a lesão. O dispositivo baseado em LF é mais amplamente utilizado para detectar lesões de cárie e é recomendado em alguns estudos como um sistema de diagnóstico complementar às radiografias dentárias. O DIAGNOcam usa luz quase infravermelha (IV) (780 nm) para detectar lesões de cárie. Este sistema é baseado em transiluminação de fibra óptica digital (FOD). A principal diferença entre os dois é que o FOD usa luz visível, enquanto a transiluminação de luz IV usa luz invisível de ondas longas (Taşsöker et al., 2020).



Figura 17: DIAGNOdent Pen-Kavo (*DIAGNOdent™ pen*, 2020)

2.4.2. Ação no esmalte

Quando o Laser é usado no esmalte, a camada mais externa do dente, pode ter efeitos diferentes, dependendo do comprimento de onda específico e da intensidade do feixe de Laser. Em geral, a ação do Laser sobre o esmalte pode ser descrita como ablativa, ou seja, remove uma fina camada de esmalte por vaporização ou fusão. Isso pode ser útil na remoção de manchas superficiais, alisamento de superfícies ásperas e preparação da superfície do dente para restaurações dentárias, como restaurações ou facetas (Moura et al., 2021).

O Laser também pode ser usado para tratar a lesão de cárie dentária, removendo seletivamente as porções infetadas ou cariadas do esmalte e da dentina. Essa abordagem,

chamada de detecção e tratamento lesão de cárie assistida por Laser, é menos invasiva do que o método convencional com a turbina e pode preservar uma estrutura dentária mais saudável (Moura et al., 2021). Além disso, o Laser pode estimular a produção de novo esmalte, um processo chamado de remineralização do esmalte. Isso pode ser útil para reverter os estágios iniciais da cárie dentária e prevenir mais danos ao dente (Jiang et al., 2022).

2.4.3. Ação na dentina

Quando o Laser é usado na dentina, pode ter efeitos benéficos e prejudiciais, dependendo do tipo de Laser e dos parâmetros usados. Um dos principais benefícios na dentina é a capacidade de remover a lesão de cárie sem causar calor ou trauma mecânico ao dente. Os Lasers também podem ser usados para desinfecção da superfície da dentina antes da colocação da restauração. Além disso, foi demonstrado que os Lasers aumentam a resistência de união dos adesivos à dentina, alterando a superfície do dente, o que pode melhorar a longevidade das restaurações.

No entanto, também podem ter alguns efeitos negativos na dentina. Os Lasers de alta potência podem causar danos térmicos ao dente, levando à inflamação pulpar e necrose. Além disso, os Lasers podem alterar a composição química da dentina, o que pode enfraquecer a estrutura do dente e aumentar o risco de fratura. No geral, o uso de Lasers na dentina deve ser cuidadosamente considerado pelo dentista e parâmetros apropriados e tipos de Laser devem ser escolhidos com base no procedimento específico que está sendo realizado (Kasakawa et al., 2022).

2.4.4. Ação na polpa

A terapia a Laser pode ter efeitos diferentes na polpa dentária, dependendo do tipo de Laser utilizado e dos parâmetros do tratamento a Laser. No geral, a LLLT é usada para estimular a cicatrização e reduzir a inflamação, enquanto os Lasers de alta potência podem ser usados para procedimentos odontológicos, como preparo de cavidades, desinfecção do canal radicular e terapia periodontal (Kulkarni et al., 2020).

Quando a terapia com Laser de baixa potência é aplicada na polpa dentária, pode aumentar a produção de trifosfato de adenosina (ATP), essencial para o metabolismo celular e a cicatrização. A LLLT também pode aumentar o fluxo sanguíneo e a oxigenação

da polpa, o que pode promover a cicatrização e reduzir a dor e a inflamação. Além disso, o LLLT pode ter um efeito bioestimulador nas células da polpa, levando ao aumento da proliferação e produção de fatores de crescimento (Kulkarni et al., 2020).

Por outro lado, Lasers de alta potência podem causar danos térmicos à polpa dentária se a energia não for controlada adequadamente. Danos térmicos podem levar a pulpite irreversível, necrose ou mesmo obliteração pulpar. Portanto, Lasers de alta potência devem ser usados com cautela e protocolos de segurança adequados para evitar danos à polpa dentária (Qingzhe et al., 2021).

2.4.5. Hipersensibilidade dentinária

A hipersensibilidade dentinária, também conhecida como dentes sensíveis, é uma condição comum que causa desconforto ou dor quando os dentes são expostos a alimentos ou bebidas quentes, frias, doces ou ácidas. O tratamento a Laser pode ser uma maneira eficaz de tratar a hipersensibilidade dentária (Mahdian et al., 2011).

A terapia a Laser para hipersensibilidade dentinária é realizada no consultório, e o procedimento geralmente é rápido e indolor. O dentista primeiro limpará os dentes e gengivas afetados e, em seguida, usará um dispositivo a Laser portátil para fornecer energia à área-alvo. Durante o tratamento a Laser, um dentista usará um feixe de luz focalizado para atingir as áreas afetadas dos dentes. A energia do Laser ajuda a selar os túbulos dentinários expostos, que são pequenas aberturas na dentina do dente que permitem que as sensações cheguem à polpa dentro do dente. Ao selar esses túbulos, o tratamento a Laser pode ajudar a reduzir a sensibilidade dos dentes (Moein Taghavi et al., 2021).

O tratamento a Laser para hipersensibilidade dentinária geralmente é rápido e indolor, e muitas vezes pode ser concluído em apenas uma visita ao dentista. Os resultados do tratamento podem durar de vários meses a alguns anos, dependendo da gravidade da condição. Alguns tipos comuns de Lasers usados para essa finalidade incluem o Laser CO₂, Lasers de granada de alumínio e ítrio dopados com neodímio (Nd:YAG) e Lasers de érbio (Alhabdan & AlAhmari, 2022).

Vale a pena notar que, embora o tratamento a Laser possa ser eficaz para a hipersensibilidade dentária, pode não ser adequado para todos.

2.4.5. Laser e branqueamento

O branqueamento dentário é o tratamento de escolha para a descoloração dos dentes; melhora a cor, bem como aumenta a estética e a auto-estima do paciente. É solicitado pelos pacientes, pois é considerado um tratamento altamente eficaz, minimamente invasivo e biologicamente seguro (Bersezio et al., 2021).

As técnicas de branqueamento dentário evoluíram para realizar o procedimento com a fonte de luz mais adequada, evitando efeitos nocivos como alterações morfológicas e químicas no esmalte, na polpa e na estrutura dentária. Vários tipos de fontes de luz para ativar géis de peróxido de hidrogénio, como lâmpadas incandescentes, Lasers e LED de alta e baixa intensidade, são descritos na literatura. No branqueamento dentário, essas luzes promovem a interação com o agente fotossensível do gel de duas formas: por ação prototérmica por aquecimento ou por ação fotoquímica, sem calor.

O grande desafio é controlar o calor no processo, pois o aumento da temperatura acima de 5,5°C pode estimular uma reação inflamatória, causando dor e degeneração pulpar. A vantagem do branqueamento dentário em consultório é que ele permite ao profissional manter sob controle todos os ciclos do procedimento, customizando a sua aplicação às necessidades do paciente (Zanin, 2016).

O agente branqueador utilizado em todas as técnicas é um gel de peróxido de hidrogénio (H₂O₂) em diferentes concentrações, que ao longo do processo irá atravessar o esmalte dentário em espaços intercristalinos e atuar sobre a porção orgânica da dentina escurecida (Figura 18 d). Através de um mecanismo fotoquímico, a energia eletromagnética da luz interage com as moléculas de corante presentes no gel, excitando eletronicamente o peróxido, que libera radicais que induzam a quebra das moléculas do pigmento dentário, reduzindo-as a outras menores e incolores (Zanin, 2016).

O procedimento normalmente envolve a aplicação de um gel protetor nas gengivas e tecidos moles ao redor dos dentes para evitar irritação. Um gel branqueador é então aplicado nos dentes e a luz do LED é direcionada para os dentes por um período de tempo específico, geralmente em torno de 15 a 30 minutos. Este processo pode ser repetido várias vezes para atingir o nível de branqueamento desejado.

Embora o branqueamento dentário com Laser LED possa ser um método eficaz para melhorar a aparência do seu sorriso, é importante observar que pode não ser adequado para todos. Indivíduos com certas condições dentárias ou problemas de sensibilidade podem precisar explorar opções alternativas de branqueamento. Além disso, é importante

escolher um dentista qualificado para realizar o procedimento para minimizar o risco de complicações ou efeitos colaterais (Kikly et al., 2019).



Figura 18: Passos do branqueamento em consultório. Retirado de Perdigão (2016)

2.5. Em Ortodontia

O processo de tratamento ortodôntico é um processo longo e desafiador tanto para o paciente quanto para o médico. Muitas complicações podem ocorrer no complexo dento alveolar proporcionalmente com a duração prolongada do tratamento. Os sistemas de Laser são usados em muitos campos da prática ortodôntica para prevenir ou reduzir estes tipos de complicações (Demirsoy & Kurt, 2020).

2.5.1. Efeito do Laser nos movimentos dentários

Um dos principais efeitos dos sistemas de Laser na movimentação dentária ortodôntica é a aceleração da movimentação dentária. A terapia a Laser de baixa intensidade (LLLT) demonstrou aumentar a taxa de movimento dentário ortodôntico, possivelmente devido aos seus efeitos anti-inflamatórios e bioestimuladores, regular positivamente as expressões genéticas teciduais, e melhorar a remodelação óssea. A

LLLT também pode reduzir a dor e o desconforto associados ao tratamento ortodôntico (Murakami-Malaquias-Silva et al., 2020).

A aplicação do Laser acelera o movimento dentário e a génese dos osteoclastos no lado da pressão do osso, estimulando o fator estimulante de RANK/RANKL e o fator da colônia de macrófagos. A estimulação aqui mencionada é a bioestimulação causada pela aplicação do Laser de baixa intensidade (Murakami-Malaquias-Silva et al., 2020).

2.5.2. Efeito na regeneração óssea

Os efeitos positivos das aplicações de Laser na formação óssea podem ser explicados pela rápida regeneração dos vasos sanguíneos. O uso do Laser estimula o processo de cicatrização durante e após a expansão e contribui para a reorganização da sutura e osteogénese do osso palatino. Afirma-se que com os cortes histológicos de áreas suturais, os vasos sanguíneos são distribuídos de maneira mais uniforme e têm tamanhos regulares semelhantes a sutura nunca aberta, e isso afeta a microcirculação e a neoangiogénese de maneira positiva. A LLLT também pode ser usada para acelerar o processo de cicatrização após fraturas ósseas, durante distração osteogénica e osteorradionecrose da mandíbula e para estimular o crescimento condilar.

A LLLT tem igualmente uma ação na articulação temporomandibular aumentando o crescimento condilar durante o avanço mandibular sem alterar a cartilagem articular e a espessura do tecido fibroso. De facto, o tempo de tratamento funcional pode ser reduzido pela LLLT (Bai et al., 2021).

2.5.3. Descolagem dos braquetes

As operações de descolagem com aplicação de Laser são especialmente usadas de forma eficaz em braquetes cerâmicos que possuem alta adesão com o esmalte e, em particular, durante a remoção de braquetes cerâmicos com o uso de Laser Er:YAG sendo um método de varredura, exigindo menor resistência à força de cisalhamento do que os métodos convencionais. A energia do Laser pode remover a resina adesiva da superfície do dente por meio de amolecimento térmico, ablação térmica e efeitos da fotoablação. A remoção dos braquetes cerâmicos através do Laser Er:YAG é realizada com efeito de amolecimento térmico. Existe a possibilidade de difusão do calor gerado durante a descolagem assistida por Laser para a estrutura dentária, levando até mesmo a danos

pulpaes. Embora se saiba que um aumento de temperatura de 5,5 °C na cavidade pulpar leva à necrose pulpar, estudos mostraram que o Laser de diodo com potência de 1 W ou 3 W é eficaz na descolagem dos braquetes cerâmicos sem nenhum efeito prejudicial na polpa ou propriedades mecânicas do esmalte, enquanto as aplicações de Laser que reduzem a resistência de união dos braquetes não causam um aumento significativo na temperatura da cavidade pulpar. A aplicação do Laser Er:YAG com refrigeração com água parece ser uma opção mais segura, reduzindo a resistência ao cisalhamento da resina e reduzindo a probabilidade de aumento da temperatura intra-pulpar durante a descolagem de braquetes cerâmicos (Mocuta, Daliana-Emanuela et al., 2022).

III. Conclusão

Como conclusão deste trabalho podemos dizer que a eficácia do Laser está comprovada, é uma tecnologia de precisão, que traz para nossa prática diária resultados espetaculares, confiáveis ao longo do tempo e conforto para o Médico Dentista e para os pacientes. As vantagens dos Lasers na prática diária são o poder bactericida, o controle da hemostase, da dor, ausência de anestesia em muitos casos, ablação seletiva (princípio da conservação dos tecidos). Os desafios para os futuros científicos clínicos são o estabelecimento de um consenso internacional sobre protocolos para otimizar os tempos de operação, as taxas de sucesso e minimizar os danos iatrogênicos. Por fim, os desafios para engenheiros e fabricantes são conseguir unir forças para desenvolver uma máquina integrando as qualidades de vários comprimentos de onda complementares para cobrir o máximo número de indicações enquanto reduz os custos de produção para finalmente tornar acessível a um máximo de Médicos Dentistas, esta ferramenta é essencial para a prática da nossa arte e para o tratamento dos nossos pacientes.

IV. Bibliografia

Abu-Ta'a, M., & Karamah, R. (2022). Laser and Its Application in Periodontology : A Review of Literature. *Open Journal of Stomatology*, 12(10), 305-320. <https://doi.org/10.4236/ojst.2022.1210027>

Akerzoul, Narjiss, and Saliha Chbicheb. "Low laser therapy as an effective treatment of recurrent aphtous ulcers: a clinical case reporting two locations." *The Pan African medical journal* vol. 30 205. 10 Jul. 2018, doi:10.11604/pamj.2018.30.205.15779

Alamoudi, N., Nadhreen, A., & Elkhodary, H. (2019c). Low-level laser therapy in dentistry : Extra-oral applications. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 22(10), 1313. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_53_19

Alhabdan, A., & AlAhmari, F. (2022). Phototherapy Using Er,Cr : YSGG Laser as a Definitive Treatment for Dentin Hypersensitivity : A Systematic Review. *International Journal of General Medicine*, Volume 15, 4871-4880. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s355890>

Al-Amri, M. D., El-Gomati, M. & Zubairy, M. S. (2016). *Optics in Our Time*. Springer Publishing.

Araghi, F. (2022, 12 septembre). *Laser treatment of benign melanocytic lesion : a review*. SpringerLink. https://link.springer.com/article/10.1007/s10103-022-03642-9?error=cookies_not_supported&code=82a82321-6384-4963-ab5d-0828c1c17282

Atieh, M. A., Fadhul, I., Shah, M., Hannawi, H., & Alsabeeha, N. H. (2022). Diode Laser as an Adjunctive Treatment for Peri-implant Mucositis : A Systematic Review and Meta-analysis. *International Dental Journal*, 72(6), 735-745. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.06.026>

Bawazir, R., Alhaidary, D., & Gutknecht, N. (2020). The current state of the art in bond strength of laser-irradiated enamel and dentin (Nd : YAG, CO2 lasers) part 1 : a literature review. *Lasers in Dental Science*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.1007/s41547-020-00084-w>

Baek, K., Dard, M., Zeilhofer, H., Cattin, P. C., & Juergens, P. (2020). Comparing the Bone Healing After Cold Ablation Robot-Guided Er : YAG Laser Osteotomy and Piezoelectric Osteotomy—A Pilot Study in a Minipig Mandible. *Lasers in Surgery and Medicine*, 53(3), 291-299. <https://doi.org/10.1002/lsm.23281>

Bai, J., Li, L., Kou, N., Bai, Y., Zhang, Y., Lu, Y., Gao, L., & Wang, F. L. (2021). Low level laser therapy promotes bone regeneration by coupling angiogenesis and osteogenesis. *Stem Cell Research & Therapy*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13287-021-02493-5>

Bersezio, Cristian et al. “Evaluation of the effectiveness in teeth whitening of a single session with 6% hydrogen peroxide Laser/LED system.” *Photodiagnosis and photodynamic therapy* vol. 36 (2021): 102532. doi:10.1016/j.pdpdt.2021.102532

Betz, S. J. (2019). HPV-Related Papillary Lesions of the Oral Mucosa : A Review. *Head and Neck Pathology*, 13(1), 80-90. <https://doi.org/10.1007/s12105-019-01003-7>

BEUTTER, B. (2018, 26 septembre). Tumeurs cervico-faciales. *Oncocentre.Org*. Consulté le 26 septembre 2018, à l'adresse https://oncocentre.org/wp-content/uploads/ref_tcf_2018.pdf

Cheng, F., & Zhu, Y. (2021b). The efficacy of different instruments combined with Nd : YAP in endodontic retreatment. *Annals of Translational Medicine*, 9(14), 1141-1141. <https://doi.org/10.21037/atm-21-2373>

Coluzzi, D. J. & Parker, S. P. A. (2018). *Lasers in Dentistry—Current Concepts (Textbooks in Contemporary Dentistry)* (Softcover reprint of the original 1st ed. 2017). Springer.

Maiman, T. H. (2018). The Laser Inventor. *Springer Biographies*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-61940-8>

Convissar, R. A. (2015). *Principles and Practice of Laser Dentistry - Elsevier eBook on VitalSource (Retail Access Card)*. Mosby.

Debta, F. M., Mishra, E., & Patyal, N. (2022). *A Compendium of Principles and Practice of Laser Biophotonics in Oral Medicine* (1re éd.). Nova Science Pub Inc.

Del Vecchio, A., Palaia, G., Grassotti, B., Tenore, G., Ciolfi, C., Podda, G., Impellizzeri, A., Mohsen, A., Galluccio, G., & Romeo, U. (2021). Effects of laser photobiomodulation in the management of oral lichen planus: a literature review. *La Clinica terapeutica*, 172(5), 467–483. <https://doi.org/10.7417/CT.2021.2360>

Demirsoy, K. K., & Kurt, G. (2020). Use of Laser Systems in Orthodontics. *Turkish Journal of Orthodontics*, 33(2), 133-140. <https://doi.org/10.5152/turkjorthod.2020.18099>

Verma, S., Chaudhari, P., Maheshwari, S. & Singh, R. (2012). Laser in dentistry : An innovative tool in modern dental practice. *National Journal of Maxillofacial Surgery*, 3(2), 124. <https://doi.org/10.4103/0975-5950.111342>

DIAGNODENT - Dental Express. (s. d.). <https://dentalexpress.pt/diagnodent>

Dilouya, D. V. (2015, 1 septembre). Intérêt et indications différentielles du laser CO2 en odontostomatologie | Actualités Odonto-Stomatologiques (AOS). <http://aos.edp-dentaire.fr/.http://aos.edp-dentaire.fr/articles/aos/abs/2015/02/aos2015272p23/aos2015272p23.html>

Dostalova, T., Jelinkova, H., Němec, M., Šulc, J., Fibrich, M., Čech, M., Hlinakova, P., Bejdova, M., Nováková-Kodetová, D., Bradna, P., Nejezchleb, K., Kapitch, N., & Škoda, V. (2019b). Difference between 1064 nm and 1444 nm Nd : YAG laser effect on the soft and hard dental tissues. *Laser Physics*, 29(9), 095601. <https://doi.org/10.1088/1555-6611/ab2f35>

Dua, D., Dua, A., Anagnostaki, E., Poli, R., & Parker, S. (2021). Effect of different types of adhesive systems on the bond strength and marginal integrity of composite restorations in cavities prepared with the erbium laser—a systematic review. *Lasers in Medical Science*, 37(1), 19-45. <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03294-1>

Fagd, D. R. C. A. (2023). *Principles and Practice of Laser Dentistry* (3e éd.). Elsevier.

Freitas, P. M., & Simões, A. (2015). *Lasers in Dentistry : Guide for Clinical Practice*. Wiley.

Ghidini, G., Meleti, M., Manfredi, M., Greco Lucchina, A., Haddad, C. D., Namour, S., & Vescovi, P. (2021). Human Papillomavirus (HPV) oral lesions surgical management

with Nd:YAG laser versus blade and QMR scalpel: a single center experience in 251 cases. *Journal of biological regulators and homeostatic agents*, 35(2 Suppl. 1), 351–356. <https://doi.org/10.23812/21-2suppl1-35>

Han, J., Wang, S., Van Meerbeek, B., Vleugels, J., Braem, A., & Castagne, S. (2021b). Laser surface texturing of zirconia-based ceramics for dental applications : A review. *Materials Science and Engineering : C*, 123, 112034. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112034>

Jorge, A. C. T. (2011, 17 mars). APLICAÇÕES DOS LASERS DE ALTA POTÊNCIA EM ODONTOLOGIA. *Jorge | Revista Saúde - UNG-Ser*. <http://revistas.ung.br/index.php/saude/article/view/767/828>

Journal LS - Implantologie dentaire Utilisation des lasers diodes dans les actes de biopsie et d'exérèse des tumeurs bénignes | LS - La Lettre de la Stomatologie. (s. d.). <https://journal-stomato-implanto.com/content/magazine-laser-dentaire-jean-luc-girard-elisabeth-hollard>

Jr., K. E. (2023). *Principles of Laser Materials Processing : Developments and Applications* (2e éd.). Wiley.

Kalhor, K. A., Vahdatinia, F., Jamalpour, M. R., Vescovi, P., Fornaini, C., Merigo, E., & Fekrazad, R. (2019). Photobiomodulation in Oral Medicine. *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 37(12), 837-861. <https://doi.org/10.1089/photob.2019.4706>

Kami-Malaquias-Silva, F., Rosa, E. P., Almeida, P. S., Schalch, T. O., Tennis, C. A., Negreiros, R. M., Horliana, R. F., Garcez, A. S., Fernandes, M. L. V., Tortamano, A., Motta, L. J., Bussadori, S. K., & Horliana, A. C. R. T. (2020). Evaluation of the effects of photobiomodulation on orthodontic movement of molar verticalization with mini-implant. *Medicine*. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000019430>

Kanavin, A. P. (s. d.). *What is a photon : structure and wave function*. IOPscience. <https://iopscience.iop.org/article/10.1070/QEL16698>

Kasakawa, A., Sekine, S., Tanaka, K. F., Murakami, J., Kondo, S., Hazama, H., Awazu, K., & Akiyama, S. (2022). Effect of Q-switched Er:YAG laser irradiation on bonding performance to dentin surface. *Dental Materials Journal*, 41(4), 616-623. <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-281>

Kikly, A., Jaâfoura, S., & Sahtout, S. (2019). Vital laser-activated teeth bleaching and postoperative sensitivity : A systematic review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 31(5), 441-450. <https://doi.org/10.1111/jerd.12482>

Kami-Malaquias-Silva, F., Rosa, E. P., Almeida, P. S., Schalch, T. O., Tennis, C. A., Negreiros, R. M., Horliana, R. F., Garcez, A. S., Fernandes, M. L. V., Tortamano, A., Motta, L. J., Bussadori, S. K., & Horliana, A. C. R. T. (2020). Evaluation of the effects of photobiomodulation on orthodontic movement of molar verticalization with mini-implant. *Medicine*. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000019430>

Kim, K. T., Sun, H., & Chung, E. H. (2019). Comparison of complete surgical excision and minimally invasive excision using CO2 laser for removal of epidermal cysts on the face. *Archives of Craniofacial Surgery*, 20(2), 84-88. <https://doi.org/10.7181/acfs.2018.02152>

Kulkarni, S. S., Meer, M., & George, R. (2020). The effect of photobiomodulation on human dental pulp-derived stem cells : systematic review. *Lasers in Medical Science*, 35(9), 1889-1897. <https://doi.org/10.1007/s10103-020-03071-6>

Yamaguchi H et al., Effect of Nd: YAG laser irradiation to the temporomandibular joint on taste threshold, *Journal of Dental Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.05.01>

Liu, C., Li, Q., Yue, L., & Zou, X. (2022b). Evaluation of sonic, ultrasonic, and laser irrigation activation systems to eliminate bacteria from the dentinal tubules of the root canal system. *Journal of Applied Oral Science*, 30. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2022-0199>

Mahdian, M., Behboodi, S., Ogata, Y., & Natto, Z. S. (2011). Laser therapy for dentinal hypersensitivity. *The Cochrane library*, 2021(7). <https://doi.org/10.1002/14651858.cd009434.pub2>

Matéria, T. (2017, 1 février). Espectro Eletromagnético. *Toda Matéria*.
<https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>

Mocuta DE, Miron MI, Lungeanu D, Mateas M, Ogodescu E, Todea CD. Laser Er:YAG-Assisted Debonding May Be a Viable Alternative to the Conventional Method for Monocrystalline Ceramic Brackets. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(21):14564. Published 2022 Nov 6. doi:10.3390/ijerph192114564

Moein Taghavi, A., Ahrari, F., Nasrabadi, N., Fallahrastegar, A., Sarabadani, J., & Rajabian, F. (2021). Low level laser therapy, Er,Cr : YSGG laser and fluoride varnish for treatment of dentin hypersensitivity after periodontal surgery : A randomized clinical trial. *Lasers in Medical Science*. <https://doi.org/10.1007/s10103-021-03310-4>

Monteiro, L. S., Mouzinho, J., Azevedo, A., da Câmara, M. I., André Martins, M., & Fuente-Lanos, J. (2011). Treatment of epulis fissuratum with carbon dioxide laser. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 52(3), 165-169. <https://doi.org/10.1016/j.rpemd.2011.05.001>

Moskvin, S. V. (2021). Low-Level Laser Therapy for Herpesvirus Infections : A Narrative Literature Review. *Journal of Lasers in Medical Sciences*, 12(1), e38-e38. <https://doi.org/10.34172/jlms.2021.38>

Moura, S. K., Arana-Chavez, V. E., Brugnera, A., Zanin, F. A. A., De Moraes, A. A., Kobayashi, F. Y., Sfalcin, R. A., & Bussadori, S. K. (2021b). Effect of Er : YAG Laser and Association of Protocols on the Demineralized Enamel Microhardness. *Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery*, 39(6), 381-385. <https://doi.org/10.1089/photob.2020.4974>

Nammour, S., El Mobadder, M., Namour, M., Brugnera Junior, A., Zanin, F., Brugnera, A. P., Geerts, S., & Namour, A. (2022). Twelve-Month Follow-Up of Different Dentinal Hypersensitivity Treatments by Photobiomodulation Therapy, Nd : YAG and Nd : YAP Lasers. *Life*, 12(12), 1996. <https://doi.org/10.3390/life12121996>

Nammour, S. (2019). Laser-Assisted Tongue-Tie Frenectomy for Orthodontic Purpose : To Suture or Not to Suture ? *Photobiomodulation, Photomedicine, and Laser Surgery*, 37(7), 381-382. <https://doi.org/10.1089/photob.2019.4647>

- Niemz, M. H. (2019). Medical Applications of Lasers. *Laser-Tissue Interactions*, 153-249. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11917-1_4
- Negosanti, F., Silvestri, M., Bennardo, L., Durastante, C., Del Duca, E., Cannarozzo, G., & Nisticò, S. P. (2021). Nd : YAG laser in association with pulsed dye laser for the treatment of PHACES syndrome. *Dermatology Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.4081/dr.2021.8751>
- Olivi G, Caprioglio C, Olivi M, Genovese MD. Paediatric laser dentistry. Part 2: Hard tissue laser applications. *Eur J Paediatr Dent*. 2017 Jun;18(2):163-166. doi: 10.23804/ejpd.2017.18.02.14. PMID: 28598190.
- Oral Health Group. (2020, 20 novembre). *2020 Archives - Oral Health Group*. <https://www.oralhealthgroup.com/oral-hygiene-edition-year/2020/>
- Pawelczyk-Madalińska, M., Benedicenti, S., Sălăgean, T., Bordea, I. R., & Hanna, R. (2021). Impact of Adjunctive Diode Laser Application to Non-Surgical Periodontal Therapy on Clinical, Microbiological and Immunological Outcomes in Management of Chronic Periodontitis : A Systematic Review of Human Randomized Controlled Clinical Trials. *Journal of Inflammation Research*, Volume 14, 2515-2545. <https://doi.org/10.2147/jir.s304946>
- Perdigão, J. (2016). Tooth Whitening. Dans *Springer eBooks*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-38849-6>
- Perveen, A., Molardi, C., & Fornaini, C. (2018). Applications of Laser Welding in Dentistry : A State-of-the-Art Review. *Micromachines*, 9(5), 209. <https://doi.org/10.3390/mi9050209>
- Qingzhe, C., Meng'en, W., Zhengdong, X., Shuwu, H., Jiang, J., Wang, L., Tingqing, C., Wu, X., & Jiang, H. (2021). Effects of Dentin Ablation by a Q-Switching Er : YSGG Laser with a High Pulse Repetition Rate. *Photobiomodulation, photomedicine, and laser surgery*, 39(6), 390-394. <https://doi.org/10.1089/photob.2019.4797>

Ramkumar, S., Ramkumar, L., Malathi, N., & Suganya, R. (2016). Excision of Mucocele Using Diode Laser in Lower Lip. *Case Reports in Dentistry*, 2016, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2016/1746316>

Rathod, A., Jaiswal, P., Bajaj, P., Kale, B., & Masurkar, D. (2022b). Implementation of Low-Level Laser Therapy in Dentistry : A Review. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.28799>

Romanos, G. E. (2021). *Advanced Laser Surgery in Dentistry*. Wiley.

Sadiq, M. S. K., Maqsood, A., Akhter, F., Alam, M. K., Abbasi, M. S., Minallah, S., Vohra, F., Alswairki, H. J., Abutayyem, H., Mussallam, S., & Ahmed, N. (2022). The Effectiveness of Lasers in Treatment of Oral Mucocele in Pediatric Patients : A Systematic Review. *Materials*, 15(7), 2452. <https://doi.org/10.3390/ma15072452>

Salvi GE, Stähli A, Schmidt JC, Ramseier CA, Sculean A, Walter C. Adjunctive laser or antimicrobial photodynamic therapy to non-surgical mechanical instrumentation in patients with untreated periodontitis: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2020;47:176–198. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13236>

Sardari F, Ahrari F. The effect of low-level helium-neon laser on oral wound healing. *Dent Res J* 2016;13:24-9

Sarmadi, R., Gabre, P., & Thor, A. (2020). Evaluation of upper labial frenectomy : A randomized, controlled comparative study of conventional scalpel technique and Er : YAG laser technique. *Clinical and Experimental Dental Research*, 7(4), 522-530. <https://doi.org/10.1002/cre2.374>

Sawai MA, Sharma P, Jafri Z, Sultan N. Diode laser in the excision of intraoral fibroma: A safe tool for minimally invasive dentistry. *Indian J Case Reports*. 2021;7(3):75-78

Seyyedi, S., & Dalirsani, Z. (2021). Treatment of plaque-like oral lichen planus with CO2 laser. *Indian Journal of Dermatology*, 66(6), 698. https://doi.org/10.4103/ijd.ijd_1170_20

Silva, D. F. B., de Freitas, G. A., Leite, L. L. C. C., Lucena, K. C. R., & de Castro Gomes, D. Q. (2022). Gingivectomy with high-power laser for correction of the gummy smile

resulting from altered passive eruption—a case series. *Lasers in Medical Science*, 37(7), 2999-3009. <https://doi.org/10.1007/s10103-022-03586-0>

Sobouti, F., Dadgar, S., Salehabadi, N., & Moallem Savasari, A. (2021). Diode laser chairside frenectomy in orthodontics : A case series (DIODE LASER FRENECTOMY : CASE SERIES). *Clinical Case Reports*, 9(8). <https://doi.org/10.1002/ccr3.4632>

Sutter, E., Hiestand, G., & Rücker, M. (2019, mai). Le laser CO2 – Utilisation en stomatologie. *Swissdentaljournal*. Consulté le 6 mai 2019, à l'adresse https://www.swissdentaljournal.org/fileadmin/upload_sso/2_Zahnaerzte/2_SDJ/SDJ_2019/SDJ_3_2019/SDJ_2019-03_materialien_F.pdf

Taşsöker, M., Ozcan, S., & Karabekiroğlu, S. (2020b). Occlusal Caries Detection and Diagnosis Using Visual ICDAS Criteria, Laser Fluorescence Measurements, and Near-Infrared Light Transillumination Images. *Medical Principles and Practice*, 29(1), 25-31. <https://doi.org/10.1159/000501257>

Theodoro, L. H., Marcantonio, R. A. C., Wainwright, M., & Garcia, V. G. (2021). LASER in periodontal treatment : is it an effective treatment or science fiction ? *Brazilian Oral Research*, 35(suppl 2). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0099>

Thomson, P., Goodson, M., Cocks, K., & Turner, J. (2017). Interventional laser surgery for oral potentially malignant disorders : a longitudinal patient cohort study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 46(3), 337-342. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2016.11.001>

Walsh, L. J. (2003). The current status of laser applications in dentistry. Dans *Australian Dental Journal* (Vol. 48, Numéro 3, p. 146-155). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2003.tb00025.x>

Yadav, R., Verma, U., Sajjanhar, I., & Tiwari, R. (2019). Frenectomy with conventional scalpel and Nd : YAG laser technique : A comparative evaluation. *Journal of Indian Society of Periodontology*, 23(1), 48. https://doi.org/10.4103/jisp.jisp_352_18

Zanin, F. A. A. (2016b). Recent Advances in Dental Bleaching with Laser and LEDs. *Photomedicine and Laser Surgery*, 34(4), 135-136.
<https://doi.org/10.1089/pho.2016.4111>