



**LASER Díodo e LASER de Dióxido de Carbono (CO₂) no
Tratamento de Lesões Orais Potencialmente Malignas (LOPMs) -
Revisão de Literatura**

*Diode LASER and Carbon Dioxide (CO₂) LASER in the Treatment of
Oral Potentially Malignant Lesions (OPMLs) - Literature Review*

Mariana Marques Tomé

Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Porto, 2025

Dissertação submetida à **Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto** para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

LASER Díodo e LASER de Dióxido de Carbono (CO₂) no Tratamento de Lesões Oraís Potencialmente Malignas (LOPMs) - Revisão de Literatura

Diode LASER and Carbon Dioxide (CO₂) LASER in the Treatment of Oral Potentially Malignant Lesions (OPMLs) - Literature Review

Área Científica

Cirurgia Oral e Medicina Oral

Ano letivo

2024/2025

Autora

Mariana Marques Tomé

Orientador

Prof. Doutor João Manuel Lopes Alves Braga

Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador,

Prof. Doutor João Manuel Lopes Alves Braga,
por toda a disponibilidade, ajuda e apoio,
fundamentais para a concretização deste trabalho.

À minha família,

por ser o alicerce e o motor da minha vida,
o verdadeiro suporte em todos os momentos.

Aos meus amigos,

por serem Casa mesmo longe de casa.

Às Levadas da Broca,

Tuna Feminina da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto,
à qual tive o privilégio e a honra de pertencer.
Serão sempre um Porto seguro.

Ao Erasmus em Madrid,

pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Introdução: As lesões orais potencialmente malignas representam alterações morfológicas da mucosa oral com risco acrescido de progressão para carcinoma oral de células escamosas. Entre as abordagens terapêuticas disponíveis, a utilização do LASER Díodo e do LASER de Dióxido de Carbono tem ganho destaque pela sua precisão cirúrgica, capacidade de remoção seletiva de tecido e benefícios clínicos associados, como menor dor pós-operatória e cicatrização mais rápida.

Objetivos: Avaliar a utilização do LASER Díodo e de Dióxido de Carbono no tratamento de diferentes tipos de lesões orais potencialmente malignas, abordando as suas propriedades físico-terapêuticas, vantagens e limitações inerentes a cada modalidade, bem como a sua eficácia relativa no contexto da evolução clínica destas lesões.

Materiais e Métodos: A pesquisa de literatura foi realizada com recurso às bases de dados *PubMed*[®], *Web of Science*[™] e *Scopus*, recorrendo a descritores MeSH e palavras-chave. Foram incluídos estudos clínicos com aplicação de LASER Díodo ou de Dióxido de Carbono em doentes com diagnóstico de lesões orais potencialmente malignas. Excluíram-se estudos publicados antes do ano 2000, sem acesso ao texto completo ou que não reportassem dados relevantes sobre resultados clínicos. Em suma, a presente revisão de literatura foi elaborada com base em 32 publicações, incluindo artigos científicos e livros.

Resultados: O LASER emite radiação eletromagnética coerente e monocromática, cuja interação com os tecidos biológicos permite efeitos terapêuticos como ablação, coagulação e bioestimulação, dependendo do comprimento de onda e das características do tecido. A intervenção com o LASER Díodo e de Dióxido de Carbono revelou elevada eficácia no tratamento de diversas lesões orais potencialmente malignas, especialmente da leucoplasia oral, evidenciando resultados clínicos semelhantes embora com diferenças no perfil de dor pós-operatória. O Díodo apresentou igualmente bons resultados no tratamento do líquen plano oral e da fibrose submucosa oral, enquanto o de Dióxido de Carbono se destacou na abordagem da eritroplasia e da queilite actínica. No entanto, os estudos analisados apresentam limitações significativas, como ausência de randomização, seguimento

reduzido, heterogeneidade de amostras e falta de padronização nos parâmetros técnicos. A realização de estudos randomizados, com metodologia padronizada e seguimento prolongado, é essencial para validar os dados disponíveis e orientar decisões clínicas baseadas em evidência.

Conclusões: A evidência analisada confirma que o LASER Díodo e o LASER de Dióxido de Carbono apresentam vantagens clínicas relevantes, afirmando-se como abordagens terapêuticas eficazes, minimamente invasivas e bem toleradas no tratamento de lesões orais potencialmente malignas, sobretudo na leucoplasia oral. Ambos os dispositivos demonstraram baixa incidência de efeitos adversos, benefícios funcionais e transformação maligna reduzida ou ausente, especialmente com o Díodo. Assim, a detecção precoce aliada a uma intervenção adequada poderá contribuir significativamente para a redução do risco de carcinoma oral de células escamosas.

Palavras-chave: LASER Díodo; LASER Dióxido de Carbono; Lesões Orais Potencialmente Malignas; Excisão com LASER; Cancro Oral; Transformação Maligna.

ABSTRACT

Introduction: Oral potentially malignant lesions represent morphological alterations of the oral mucosa associated with an increased risk of progression to oral squamous cell carcinoma. Among the available therapeutic approaches, the use of Diode Laser and Carbon Dioxide Laser has gained prominence due to their surgical precision, ability to selectively remove tissue, and associated clinical benefits, such as reduced postoperative pain and faster healing.

Objectives: To evaluate the use of Diode and Carbon Dioxide Lasers in the treatment of different types of oral potentially malignant lesions, addressing their physico-therapeutic properties, advantages and limitations inherent to each modality, as well as their relative efficacy in the clinical evolution of these lesions.

Materials and Methods: A literature review was conducted using the *PubMed®*, *Web of Science™* and *Scopus* databases, based on MeSH descriptors and keywords. Clinical studies involving the application of Diode or Carbon Dioxide Lasers in patients diagnosed with oral potentially malignant lesions were included. Studies published before the year 2000, lacking full-text access, or without relevant clinical outcome data were excluded. In summary, the present literature review was based on 32 publications, including scientific articles and books.

Results: LASER emits coherent and monochromatic electromagnetic radiation, whose interaction with biological tissues enables therapeutic effects such as ablation, coagulation, and biostimulation, depending on the wavelength and the characteristics of the tissue. The use of Diode and Carbon Dioxide Lasers has shown high efficacy in the treatment of various oral potentially malignant lesions, particularly oral leukoplakia, with comparable clinical outcomes despite differences in postoperative pain profiles. The Diode Laser also demonstrated favourable results in the treatment of oral lichen planus and oral submucous fibrosis, while the Carbon Dioxide Laser proved effective in managing erythroplakia and actinic cheilitis. However, the studies analysed present significant limitations, including lack of randomisation, short follow-up periods, heterogeneous samples, and lack of standardisation in technical parameters. The implementation of randomised studies, with standardised methodology and long-term

follow-up, is essential to validate the available data and support evidence-based clinical decision-making.

Conclusions: The analysed evidence confirms that both the Diode and Carbon Dioxide Lasers offer relevant clinical advantages, establishing themselves as effective, minimally invasive, and well-tolerated therapeutic options for the treatment of oral potentially malignant lesions, especially oral leukoplakia. Both devices demonstrated a low incidence of adverse effects, functional benefits, and a reduced or absent rate of malignant transformation, particularly with the Diode Laser. Therefore, early detection combined with appropriate intervention may significantly contribute to reducing the risk of oral squamous cell carcinoma.

Keywords: Diode Laser; Carbon Dioxide Laser; Oral Potentially Malignant Lesions; Laser Excision; Oral Cancer; Malignant Transformation.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIII
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	5
MATERIAIS E MÉTODOS	6
DESENVOLVIMENTO.....	9
1. LASER.....	9
2. LASER EM MEDICINA DENTÁRIA	10
2.1. Vantagens em relação a técnicas convencionais	10
3. LASER DÍODO	11
3.1. LASER DÍODO NO TRATAMENTO DE LOPMs	12
3.1.1. Especificações Técnicas do LASER	12
3.1.2. Metodologia, Resultados Clínicos e Pós-Operatório	14
3.1.3. Margens Cirúrgicas, Recidiva e Transformação Maligna	17
4. LASER DE DIÓXIDO DE CARBONO	18
4.1. LASER DE DIÓXIDO DE CARBONO NO TRATAMENTO DE LOPMs	19
4.1.1. Especificações Técnicas do LASER	19
4.1.2. Metodologia, Resultados Clínicos e Pós-Operatório	20
4.1.3. Margens Cirúrgicas, Recidiva e Transformação Maligna	22
5. COMPARAÇÃO DIRETA ENTRE LASER DÍODO E LASER DE CO₂.....	23
DISCUSSÃO.....	28
1. ANÁLISE DOS RESULTADOS CLÍNICOS OBTIDOS.....	28
2. LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS INCLUÍDOS E DOS RESULTADOS OBTIDOS	30
CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

LISTA DE ABREVIATURAS

ADN – Ácido Desoxirribonucleico

CDKN2A – *Cyclin Dependent Kinase Inhibitor 2A*

CO₂ – Dióxido de Carbono

COCE – Carcinoma Oral de Células Escamosas

EGFR – *Epidermal Growth Factor Receptor*

EVA – Escala Visual Analógica

FSO – Fibrose Submucosa Oral

GaAIAs – Gálio, Alumínio e Arsénio

HILT – *High Intensity Laser Treatment*

HPV – Vírus do Papiloma Humano

HPV-16 – Vírus do Papiloma Humano subtipo 16

HPV-18 – Vírus do Papiloma Humano subtipo 18

LLLT – *Low Level Laser Therapy*

LO – Leucoplasia Oral

LOPMs – Lesões Oraís Potencialmente Malignas

LPO – Líquen Plano Oral

MeSH – *Medical Subject Headings*

NOTCH1 – *Neurogenic Locus Notch Homolog 1*

OLEP – Oral Leukoplakia – Classification and Staging

STAT3 – *Signal Transducer and Activator of Transcription 3*

TP53 – *Tumor Protein p53*

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I. Estratégia de pesquisa nas bases de dados.....	7
Tabela II. Fluxograma da metodologia de pesquisa e seleção de estudos.	8
Tabela III. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos com LASER Díodo.	13
Tabela IV. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos com LASER de CO ₂	20
Tabela V. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos comparativos entre o LASER Díodo e de CO ₂	27

INTRODUÇÃO

As Lesões Orais Potencialmente Malignas (LOPMs) são definidas como alterações morfológicas tecidulares⁽¹⁾ da mucosa oral associadas a um risco estatisticamente aumentado de progressão para cancro oral,⁽²⁾ seja numa lesão precursora clinicamente diferenciada ou numa mucosa clinicamente normal.⁽³⁾

Do ponto de vista epidemiológico, estima-se que cerca de 4-5% da população mundial apresente alguma lesão oral potencialmente maligna, sendo que aproximadamente 80% dos casos de carcinoma oral têm origem em LOPMs pré-existent. Além disso, a taxa global de transformação maligna destas lesões varia entre 7-8%, o que enfatiza a importância do diagnóstico precoce na prevenção da progressão para malignidade.⁽³⁾ Quando ocorre a transformação maligna destas lesões, o diagnóstico mais frequente é de Carcinoma Oral de Células Escamosas (COCE), uma neoplasia invasiva do epitélio escamoso com vários graus de diferenciação e uma elevada tendência para desenvolver metástases linfáticas precoces e extensas.⁽⁴⁾ Embora muitas das LOPMs não evoluam diretamente para carcinoma, estabelecem um campo de alterações celulares e moleculares que predis põem o tecido ao surgimento de neoplasias malignas.⁽⁵⁾

Diversos fatores de risco têm sido amplamente associados ao desenvolvimento de LOPMs, com a maioria também envolvida na carcinogénese do COCE.⁽⁶⁾ Entre os principais, destacam-se a exposição crónica à radiação ultravioleta, o alcoolismo, o tabagismo, deficiências nutricionais, fatores genéticos e a infeção por Vírus do Papiloma Humano (HPV).⁽⁴⁾

A exposição prolongada ao álcool e ao tabaco compromete a estabilidade genética da mucosa oral, promovendo alterações em genes fundamentais para o controlo do ciclo celular e da resposta imunitária, como NOTCH1, TP53, EGFR, CDKN2A e STAT3. Estas mutações favorecem o aumento da permeabilidade tecidular, modificam o microambiente tumoral e promovem a perda de adesão celular, facilitando a progressão e invasão neoplásica.^(6,7) A infeção pelo HPV, particularmente pelos subtipos HPV-16 e HPV-18, representa um forte fator de risco para o desenvolvimento do COCE, sendo mais frequentemente detetada na porção posterior da língua, nas amígdalas e na faringe superior.^(6,8)

Por outro lado, algumas doenças autoimunes crônicas, como a esclerodermia, e síndromes genéticas associadas à disfunção do metabolismo do ADN, como disqueratose congênita (síndrome de Zinsser-Engman-Cole), síndrome de Bloom, xeroderma pigmentoso e anemia de Fanconi, também aumentam significativamente o risco de desenvolvimento de LOPMs e a sua posterior progressão para COCE. Este risco parece estar associado à inflamação crônica persistente e à imunossupressão induzida pelas doenças ou pelos respectivos tratamentos.⁽⁶⁾ Além disso, a inflamação crônica e o trauma na mucosa oral causado pelos dentes e dispositivos protéticos tem recebido uma atenção crescente em vários estudos clínicos e científicos.^(6,9)

As características preditivas da progressão maligna das LOPMs englobam parâmetros clínicos e histopatológicos, sendo fundamentais para a estratificação do risco e definição da conduta terapêutica.⁽¹⁰⁾ Do ponto de vista clínico, destacam-se o tamanho da lesão superior a 200 mm², a textura não homogênea, a coloração eritroplásica ou eritroleucoplásica, e a localização em áreas de alto risco, como a língua e o pavimento da boca. Adicionalmente, fatores como o sexo masculino e idade superior a 50 anos apresentam uma associação moderada com a progressão maligna. No entanto, entre os parâmetros clínicos, a presença de displasia epitelial grave constitui um dos preditores mais relevantes para a transformação neoplásica, sendo um critério determinante na avaliação do prognóstico destas lesões.^(10,11) A nível histopatológico, alterações genéticas como aneuploidia e perda de heterozigosidade, representam biomarcadores moleculares relevantes na avaliação do potencial de malignização.⁽¹⁰⁾

As LOPMs englobam diversas entidades clínicas, incluindo leucoplasia, eritroplasia, eritroleucoplasia, queilite actínica, fibrose submucosa oral, lesões palatinas associadas ao uso de tabaco invertido, líquen plano oral, reações liquenoides, doença do enxerto contra o hospedeiro, lúpus eritematoso discóide, além de condições genéticas como a disqueratose congênita e a epidermólise bolhosa.⁽⁵⁾ Entre essas condições, destacam-se as principais formas patológicas classificadas como LOPMs, sendo a leucoplasia oral, o líquen plano oral, a fibrose submucosa oral, a eritroplasia oral e a queilite actínica as mais prevalentes.⁽¹²⁾

1. Leucoplasia

A leucoplasia, a lesão oral potencialmente maligna mais comum,⁽¹³⁾ é definida como uma placa predominantemente branca de risco questionável, diagnosticada após a exclusão de outras doenças ou distúrbios conhecidos que não apresentam aumento do risco de cancro.⁽¹¹⁾ Clinicamente, classifica-se em homogénea e não homogénea, distinguindo-se pelo seu padrão morfológico e potencial de transformação maligna. A leucoplasia homogénea caracteriza-se por uma superfície lisa, fina ou ligeiramente enrugada de coloração branca uniforme.⁽¹⁾ Em contraste, a leucoplasia não homogénea, apresenta-se como branca ou branco-avermelhada e está associada a um risco mais elevado de malignização.^(1,11)

2. Líquen Plano Oral

O líquen plano oral (LPO) é uma doença inflamatória crónica de etiologia desconhecida caracterizada por recidivas e remissões, e pode manifestar-se clinicamente sob diferentes formas: reticular, atrófica, em placa, papular, erosiva/ulcerativa e bolhosa.⁽³⁾ As lesões são frequentemente bilaterais e simétricas, podendo afetar diversas localizações da cavidade oral, nomeadamente a mucosa jugal, a língua, os lábios e a gengiva.^(8,11)

3. Fibrose Submucosa Oral

A fibrose submucosa oral (FSO), uma condição crónica de natureza progressiva e insidiosa,⁽¹¹⁾ afeta a mucosa de revestimento do trato digestivo superior, envolvendo a cavidade oral, a orofaringe e, com frequência, o terço superior do esófago.⁽¹⁴⁾ Inicialmente, caracteriza-se pela perda da fibroelasticidade da lâmina própria, evoluindo gradualmente para um processo de fibrose extensa que envolve tanto a lâmina própria como a submucosa. Esta alteração tecidular é frequentemente acompanhada por atrofia epitelial, comprometendo significativamente a funcionalidade e a elasticidade dos tecidos orais.⁽¹¹⁾

4. Eritroplasia

A eritroplasia é uma lesão predominantemente eritematosa, bem delimitada, de aspeto avermelhado e textura aveludada,⁽⁸⁾ que não pode ser clinicamente ou

histopatologicamente caracterizada como qualquer outra patologia identificável.⁽¹¹⁾ Trata-se de uma condição menos prevalente do que a leucoplasia, sendo, na maioria dos casos, assintomática. No entanto, alguns doentes, particularmente aqueles com eritroleucoplasia, podem referir queixas como ardor ou desconforto.

As localizações mais comuns para estas lesões incluem o palato mole, seguidas da face ventral da língua, o assoalho da boca e os pilares amigdalianos. A eritroplasia apresenta um risco de transformação maligna significativamente superior ao da leucoplasia, com estudos a indicar que até 85% dos casos evidenciam malignidade histológica no momento da biópsia. Por este motivo, alguns autores defendem que lesões orais avermelhadas e aveludadas devem ser consideradas carcinoma *in situ* até confirmação diagnóstica.⁽⁸⁾

5. Queilite Actínica

A queilite actínica é uma lesão oral potencialmente maligna decorrente da exposição crónica à radiação ultravioleta, afetando predominantemente as áreas expostas dos lábios.⁽¹¹⁾ Clinicamente, caracteriza-se pela presença de erosões escamosas secas, de coloração branco-acinzentada, associadas a graus variáveis de displasia epitelial.⁽²⁾

O tratamento destas LOPMs envolve a remoção da lesão através da aplicação de diferentes abordagens terapêuticas. Nos últimos anos, o uso do LASER, nomeadamente o LASER Díodo e o LASER de CO₂, tem-se afirmado como uma opção promissora. Ambos os tipos de LASER têm sido amplamente estudados pela sua capacidade de remoção precisa de tecido, oferecendo vantagens como menor dor, cicatrização mais rápida e redução do risco de complicações. A sua utilização em procedimentos como biópsias e vaporização de lesões extensas e difusas da mucosa destaca-se pela velocidade, eficácia e elevada tolerabilidade, superando, em muitos casos, outras modalidades cirúrgicas.^(3,5,15) Estas características tornam os procedimentos a LASER uma abordagem de medicina dentária de alta qualidade e tecnologicamente avançada, ao permitirem a melhoria dos tratamentos convencionais, com menor necessidade de anestesia e significativa redução ou mesmo ausência de dor no pós-operatório, contribuindo assim para uma experiência clínica mais confortável para o paciente.⁽¹⁵⁾

OBJETIVOS

No âmbito da realização desta revisão de literatura, pretende-se avaliar a utilização do LASER Díodo e de CO₂ no tratamento das LOPMs, abordando as suas propriedades físico-terapêuticas, vantagens e limitações inerentes a cada modalidade, bem como a sua eficácia relativa no contexto da evolução clínica destas lesões. Esta análise incidirá sobre a evidência científica atualmente disponível quanto aos efeitos terapêuticos de ambos os tipos de LASER, com vista à construção de uma perspectiva fundamentada e abrangente sobre a sua aplicabilidade clínica no tratamento das LOPMs e no potencial contributo para a prevenção da sua transformação maligna em carcinoma oral.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, foi feita uma revisão de literatura com base em artigos científicos indexados nas bases de dados *PubMed*[®], *Web of Science*[™] e *Scopus*.

Os critérios de inclusão definidos para esta revisão foram os seguintes:

- Estudos clínicos realizados em seres humanos com diagnóstico clínico e/ou histopatológico de LOPMs;
- Estudos de natureza empírica, incluindo ensaios clínicos, estudos de coorte e séries de casos;
- Estudos que abordem especificamente o uso do LASER Díodo e/ou LASER de Dióxido de Carbono como modalidade terapêutica;
- Artigos publicados em português, português do Brasil, inglês ou espanhol;
- Publicações com acesso ao texto completo e sujeitos a revisão por pares (*peer-reviewed*);
- Artigos publicados entre o ano de 2000 e 2025, com o objetivo de assegurar a atualidade e relevância dos dados incluídos.

Foram estabelecidos os seguintes critérios de exclusão para esta revisão:

- Artigos publicados antes do ano 2000;
- Artigos baseados na opinião pessoal;
- Casos clínicos com pouco rigor científicos ou isolados;
- Artigos não baseados em evidência científica;
- Artigos que não sejam relacionados com os objetivos da revisão;
- Estudos que não apresentem dados específicos sobre LOPMs;
- Publicações não acessíveis em texto completo.

Como estratégia de pesquisa na base de dados *PubMed*[®], foram utilizados descritores MeSH (*Medical Subject Headings*), nomeadamente "*Mouth Mucosa/surgery*", "*Lasers, Surgical*" e "*Precancerous Conditions/therapy*". Paralelamente, aplicaram-se as palavras-chave que não constavam nos termos MeSH, como "*diode laser*", "*CO₂ laser*", "*oral potentially malignant lesions*", "*laser excision*", "*oral cancer*" e "*malignant transformation*". Estas foram combinadas através

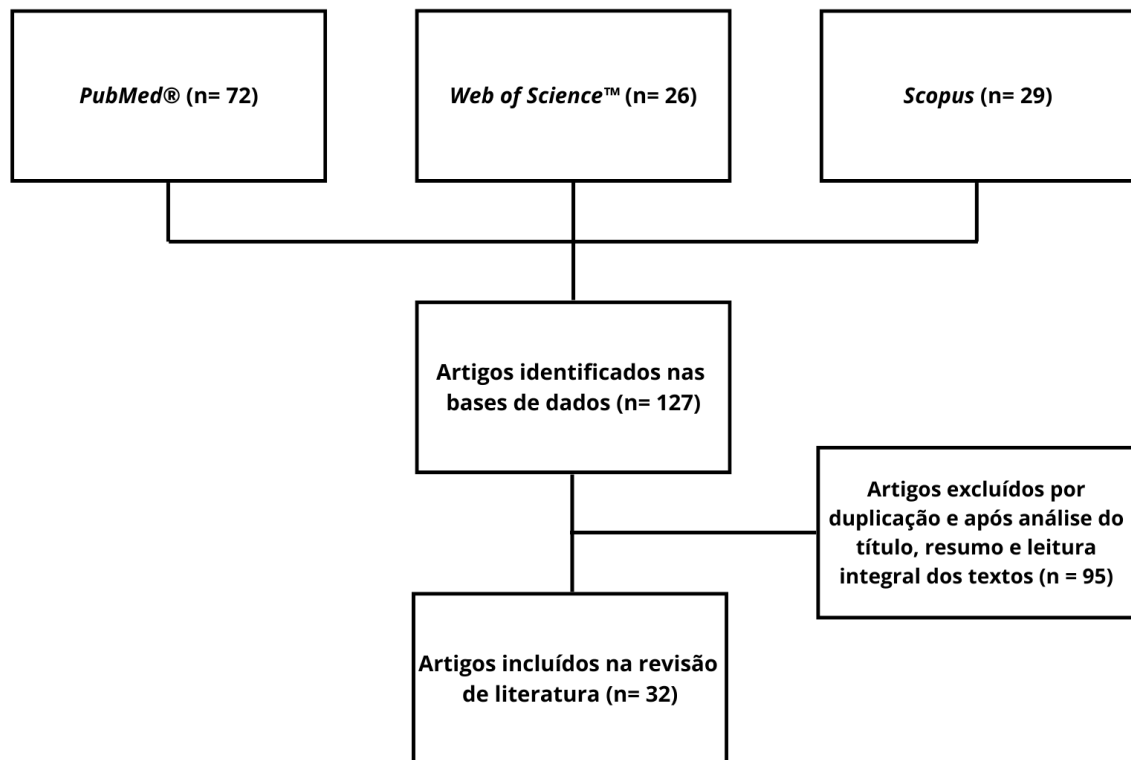
dos operadores booleanos *AND* e *OR*, com o objetivo de ampliar os resultados e incluir estudos não indexados com os descritores. Nas bases de dados *Web of Science*TM e *Scopus*, recorreu-se igualmente à utilização de palavras-chave, seguindo os mesmos princípios de combinação da estratégia aplicada na *PubMed*[®]. (**Tabela I**).

Foram excluídos os artigos duplicados, assim como aqueles que, após leitura do título, do resumo e, posteriormente, do texto integral, não cumpriam os critérios de inclusão previamente definidos. Na seleção final, privilegiou-se os estudos de investigação com aplicabilidade clínica direta. A gestão das referências bibliográficas foi efetuada com recurso ao software *Mendeley* e incluiu um total de 32 publicações, entre artigos científicos e livros. (**Tabela II**).

Tabela I. Estratégia de pesquisa nas bases de dados.

Base de Dados	Estratégia de Pesquisa	Resultados
<i>PubMed</i> [®]	("Mouth Mucosa/surgery"[Mesh]) AND ("Lasers, Surgical"[Mesh]) AND ("Precancerous Conditions/therapy"[Mesh]) OR ("diode laser" OR "CO ₂ laser") AND ("oral potentially malignant lesions" OR "oral cancer") AND ("laser excision" OR "malignant transformation")	72
<i>Web of Science</i> TM	ALL= ("diode laser" OR "CO ₂ laser") AND ("oral potentially malignant lesions" OR "oral cancer") AND ("laser excision" OR "malignant transformation")	26
<i>Scopus</i>	TITLE-ABS-KEY ("diode laser" OR "CO ₂ laser") AND ("oral potentially malignant lesions" OR "oral cancer") AND ("laser excision" OR "malignant transformation")	29
Total		127

Tabela II. Fluxograma da metodologia de pesquisa e seleção de estudos.



DESENVOLVIMENTO

1. LASER

O LASER, acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, é um dispositivo que gera radiação eletromagnética através do mecanismo de emissão estimulada, produzindo um feixe de luz colimado, monocromático e coerente.⁽¹⁶⁾

A interação do feixe LASER com os tecidos biológicos pode originar diferentes fenómenos físicos, nomeadamente reflexão, absorção, transmissão e dispersão. A reflexão consiste na deflexão do feixe LASER ao atingir a superfície do tecido, sem provocar efeitos biológicos relevantes. A absorção corresponde à captação da energia LASER pelo tecido-alvo, sendo este o fenómeno mais desejável para efeitos terapêuticos. A quantidade de energia absorvida depende das características do tecido, como o conteúdo em água e cromóforos, e do comprimento de onda utilizado. A absorção adequada é responsável pela geração de efeitos fotoacústicos, fotoquímicos, fotoablativos e, principalmente, fototérmicos, conduzindo à vaporização da água intracelular, destruição celular controlada e remoção tecidular. A transmissão ocorre quando o feixe atravessa o tecido sem ser significativamente absorvido, um fenómeno que depende do comprimento de onda e da composição ótica do tecido, podendo, em alguns casos, permitir a passagem da radiação para estruturas adjacentes. Por fim, a dispersão refere-se à difusão do feixe em múltiplas direções no interior do tecido, resultando na diminuição da intensidade energética e podendo causar aquecimento inadvertido de áreas vizinhas.⁽¹⁷⁾

A interação do feixe LASER com os tecidos biológicos depende, fundamentalmente, da absorção da energia pelos cromóforos específicos presentes no meio, como a hemoglobina, a melanina, a água e a hidroxiapatite. A efetividade desta interação é condicionada por diversos parâmetros técnicos do dispositivo, nomeadamente o comprimento de onda, o modo de operação, a energia e a potência emitidas, o método de aplicação (em contacto ou sem contacto) e pelas características intrínsecas do tecido-alvo, como o coeficiente de absorção e as propriedades térmicas locais. O desempenho clínico do LASER é ainda influenciado por vários fatores, entre os quais se destacam a fluência (energia por unidade de

área), o tempo de relaxamento térmico (tempo necessário para que o tecido irradiado reduza em 50% a sua temperatura) e as propriedades específicas do tecido-alvo.⁽¹⁶⁾

Durante a aplicação do LASER, a energia dos fótons é convertida em calor nos tecidos orais que absorvem essa radiação, originando alterações térmicas que podem variar desde um aquecimento transitório e reversível (entre 42° e 50°), à desnaturação e coagulação de proteínas (por volta dos 60°), seguindo-se a vaporização e ablação (a partir dos 100°), até alcançar níveis de carbonização dos tecidos (em temperaturas superiores a 200°).⁽¹⁸⁾

2. LASER em Medicina Dentária

Os LASER aplicados em Medicina Dentária podem ser categorizados em dois grupos principais: LASER de alta intensidade e LASER de baixa intensidade. Os LASER de alta intensidade, também designados por LASER cirúrgicos ou *High Intensity Laser Treatment* (HILT), são indicados para procedimentos de natureza cirúrgica e ablativa, incluindo corte, coagulação, cauterização, preparação cavitária e osteotomia, devido à sua capacidade de interação fototérmica profunda com os tecidos.⁽¹⁹⁾

Por outro lado, os LASER de baixa intensidade, conhecidos como LASER terapêuticos ou *Low Level Laser Therapy* (LLLTT), são utilizados com propósitos terapêuticos, nomeadamente na bioestimulação celular. A utilização deste tipo de dispositivos é indicada em situações clínicas como parestesias, algias e comprometimento da regeneração tecidual, exercendo a sua ação predominantemente através de mecanismos de fotobiomodulação.⁽¹⁹⁾ Este processo terapêutico visa acelerar a cicatrização de feridas, estimular a síntese de colagénio, proporcionar alívio sintomático da dor, promover o relaxamento muscular e induzir efeitos anti-inflamatórios.⁽¹⁷⁾

2.1. Vantagens em relação a técnicas convencionais

Os benefícios decorrentes do funcionamento do LASER são amplamente reconhecidos e consensualmente descritos na literatura científica.⁽¹⁶⁾

A tecnologia LASER constitui uma abordagem terapêutica com vantagens clínicas significativas em relação às técnicas convencionais, uma vez que é considerada minimamente invasiva por possibilitar intervenções seletivas e conservadoras sobre os tecidos biológicos. Simultaneamente, promove a hemostase por indução de coagulação térmica, facilitando a visibilidade do campo operatório durante o ato cirúrgico e contribuindo, de forma decisiva, para a precisão do procedimento. Para além destas propriedades, a irradiação com LASER exerce uma ação antimicrobiana sobre a carga bacteriana local, reduzindo o risco de infeções pós-operatórias e favorecendo o prognóstico clínico. Destaca-se ainda a sua capacidade de promover a regeneração tecidual através de mecanismos de fotobiomodulação, os quais envolvem a modulação da resposta inflamatória, o estímulo da atividade mitocondrial e a aceleração dos processos biológicos associados à cicatrização. A par destes efeitos, assume particular relevância a eficácia do LASER na atenuação da percepção dolorosa quando comparado com os métodos tradicionais, o que se traduz num maior conforto no período pós-operatório e numa experiência terapêutica globalmente mais favorável para o paciente.⁽²⁰⁾

3. LASER Díodo

O LASER Díodo tornou-se bastante popular na Medicina Dentária devido ao seu tamanho reduzido e à facilidade de utilização em pequenas cirurgias de tecidos moles. Com base no seu efeito fototérmico, é utilizado para a remoção de pequenas lesões da mucosa oral, através de procedimentos de excisão ou vaporização.⁽⁹⁾

O LASER Díodo é um semicondutor sólido ativo, que converte energia elétrica em energia luminosa, utilizando elementos como Gálio, Alumínio e Arsénio (GaAlAs). A energia luminosa emitida pelo LASER Díodo apresenta, de forma geral, comprimentos de onda entre 810 e 980 nm, embora possam existir variações consoante o dispositivo e a finalidade terapêutica. Estes comprimentos de onda são melhor absorvidos pelos tecidos moles em comparação com os tecidos duros (dentes e ossos), sendo, por isso, preferido na abordagem de lesões dos tecidos moles orais.^(16,20)

A excisão de lesões com este LASER constitui a abordagem preferencial para o tratamento de lesões benignas sólidas de natureza exofítica devido à superior

visibilidade do campo operatório e ao controlo preciso da remoção tecidular que proporciona. Este procedimento revela-se também eficaz na excisão de lesões com potencial de malignização, uma vez que o calor gerado durante a aplicação do LASER permite a destruição de células displásicas em planos profundos, contribuindo para a redução das taxas de recidiva. Simultaneamente, a laqueação térmica dos vasos sanguíneos e linfáticos induzida pelo LASER reduz o risco de disseminação de células neoplásicas para a circulação sistémica, reforçando a sua utilidade no controlo da progressão tumoral.⁽¹⁶⁾

3.1. Laser Díodo no tratamento de LOPMs

A literatura científica destaca a leucoplasia oral e o líquen plano oral como as LOPMs mais frequentemente excisadas com recurso ao LASER Díodo, sendo a fibrose submucosa oral uma entidade menos comum, mas para a qual esta tecnologia tem sido utilizada com sucesso em contextos clínicos específicos.^(15,21)

3.1.1. Especificações Técnicas do LASER

A aplicação do LASER Díodo no tratamento de LOPMs tem sido descrita com uma grande variedade de configurações técnicas (**Tabela III**), refletindo a diversidade de dispositivos disponíveis e a necessidade de personalização consoante o tipo de lesão e o objetivo terapêutico.

Para a excisão de leucoplasia oral e líquen plano oral, o estudo de **Reddy Kundoor et al.**⁽²²⁾ utilizou um LASER Díodo (*Sirona*) de 980 nm, potência de 4W em modo contínuo, através de uma fibra ótica de diâmetro 400 µm. A profundidade de penetração situou-se entre 2 e 3 mm, considerada pelos autores como adequada para a remoção seletiva de lesões superficiais da mucosa. Por sua vez, **Akbulut et al.**⁽²³⁾ recorreram ao sistema de LASER Díodo *MedArt 426* (*Asah Medico A/S, Hvidovre, Denmark*) no tratamento do mesmo tipo de LOPMs, utilizando potências de saída entre 10 e 15 W, emissão em onda contínua e um ponto de aplicação de 2 mm de diâmetro, transmitido por fibras óticas ultrafinas entre 400 e 1000 µm. Adicionalmente, ainda no contexto clínico de excisão de LO e LPO, **Arora et al.**⁽²⁴⁾ referem que, após confirmação histopatológica do diagnóstico, os indivíduos foram submetidos a tratamento com LASER Díodo de 810 nm (*Cheese™ Mini Dental Diode Laser*

Systems, Gigaa Laser, China). O procedimento foi realizado com uma fibra ótica de 320 µm, em modo contínuo e sem contacto, com potência ajustada entre 3 e 5 W consoante o tamanho da lesão. O tempo de aplicação variou entre 10 e 12 segundos por segmento, demonstrando eficácia clínica sem necessidade de excisão invasiva.

Em contraste com os estudos anteriores, centrados sobretudo na LO e no LPO, **Gupta et al.**⁽²⁵⁾ efetuaram fibrotomia em casos de FSO, uma LOPM menos comum, com recurso a um LASER Díodo de 980 nm (*Model Photon plus, Zolar Technology & Manufacturing Co. Inc., Mississauga, ON, Canada*). O procedimento foi efetuado sob anestesia local, em modo contínuo e com contacto, com uma potência de 2 W e fibra ótica descartável de 400 µm de diâmetro.

Tabela III. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos com LASER Díodo.

Estudo	Amostra (n)	LOPM	Comprimento de Onda	Potência	Modo de emissão
Reddy Kundoor et al. ⁽²²⁾	10	5 LO e 5 LPO	980 nm	4 W	Contínuo, com contacto
Akbulut et al. ⁽²³⁾	27	2 LO e 2 LPO	810 nm	10-15 W	Contínuo
Arora et al. ⁽²⁴⁾	60	30 LO e 30 LPO	810 nm	3-5 W	Contínuo, sem contacto
Gupta et al. ⁽²⁵⁾	30	30 FSO	980 nm	2 W	Contínuo, com contacto

3.1.2. Metodologia, Resultados Clínicos e Pós-Operatório

A evidência disponível indica que a aplicação do LASER Díodo se associa a uma resposta clínica favorável, com elevada tolerância por parte dos pacientes e uma incidência reduzida de efeitos adversos pós-operatórios.

Reddy Kundoor et al.⁽²²⁾ utilizaram um LASER Díodo de 980 nm em 10 pacientes com idades entre os 35 e os 65 anos, cinco com diagnóstico histopatológico de LO e cinco com LPO. A intervenção, realizada com anestesia local e sem qualquer tratamento prévio da lesão, permitiu a sua remoção completa com controlo visual da profundidade e sem necessidade de suturas, demonstrando-se uma técnica cirúrgica minimamente invasiva, segura e bem tolerada. No período pós-operatório, a dor foi avaliada através da Escala Visual Analógica (EVA), tendo a maioria dos pacientes relatado apenas dor ligeira (70%) ou moderada (30%) nos primeiros três dias, com desaparecimento completo da sintomatologia até ao final da primeira semana. O controlo sintomático foi facilitado por irrigação com solução salina, aplicação tópica de gel anestésico e frio local. Não foram registadas complicações como infeções ou hemorragias.

Os resultados obtidos estão em concordância com os estudos conduzidos por **Raval et al.**, **Mahdavi et al.**, **Soliman et al.** e **Tatu et al.**, conforme citado por **Reddy Kundoor et al.**⁽²²⁾ **Tatu et al.**⁽²²⁾, em particular, descreve a cicatrização sem complicações em doentes com leucoplasia tratados com LASER Díodo, observando-se cura completa ao fim de três semanas e mínimo desconforto para o paciente.

Com base numa amostra mais representativa e um comprimento de onda diferente dos estudos anteriores, **Akbulut et al.**⁽²³⁾ realizaram um estudo observacional clínico com 27 doentes portadores de diferentes lesões benignas dos tecidos moles orais, submetidos a tratamento com LASER Díodo de 810 nm. Entre os casos incluídos, destacam-se dois de leucoplasia oral e dois de líquen plano oral, ambas histologicamente confirmadas. As lesões brancas, nomeadamente o LPO, foram inicialmente tratadas com terapêuticas convencionais, incluindo corticóides tópicos e fotobiomodulação por LASER de baixa intensidade e, perante a ausência de resposta, os autores optaram por uma abordagem cirúrgica com LASER Díodo como alternativa terapêutica.

Neste mesmo estudo, todos os pacientes receberam, como cuidados pós-operatórios, clorhexidina a 0,2% e analgésicos à base de paracetamol. O seguimento clínico foi realizado uma, duas e seis semanas e dois meses após o tratamento. Durante o período pós-operatório, a excisão a LASER demonstrou-se eficaz na resolução das lesões, com bons resultados clínicos e sem necessidade de técnicas invasivas adicionais. Os autores referem que esta abordagem permitiu alcançar resultados aceitáveis, mesmo em doentes previamente não responsivos a outras terapias. Foi ainda observado que o LASER promoveu a cicatrização completa em cerca de seis semanas e sem formação de cicatrizes. Os autores reportaram ainda uma excelente tolerância ao procedimento, com cicatrização rápida e ausência de complicações pós-operatórias nos tecidos moles ou duros circundantes, incluindo hemorragia ou inflamação significativa, mesmo em lesões com maior extensão.

Com recurso ao mesmo comprimento de onda que **Akbulut et al.**⁽²³⁾, **Arora et al.**⁽²⁴⁾ desenvolveram um estudo observacional com o objetivo de avaliar a eficácia do LASER Díodo de 810 nm no tratamento de LOPMs, nomeadamente leucoplasia oral e líquen plano oral. A amostra incluiu 60 indivíduos, com idades entre os 20 e os 60 anos, dos quais 30 apresentavam LO homogénea e 30 LPO reticular, todos com diagnóstico confirmado histopatologicamente com biópsia por *Punch*. Do total de 30 indivíduos com LO, 21 eram homens e 9 eram mulheres. Quanto aos 30 indivíduos com LPO, 12 eram homens e 18 eram mulheres. Durante a observação pré-tratamento, verificou-se que a maioria dos indivíduos não apresentava displasia, sendo que apenas um número muito reduzido apresentava displasia ligeira, e que a mucosa jugal foi o local mais frequentemente afetado, seguida da mucosa labial.

Os resultados clínicos demonstraram uma resposta favorável ao tratamento: até ao final do terceiro dia pós-operatório, a maioria dos indivíduos não referiu dor nem edema, sendo que apenas alguns relataram sintomas ligeiros. Os autores reportaram que uma semana após o tratamento, apenas um indivíduo do sexo masculino tratado para LO referiu dor, classificada como insignificante (pontuação 1 na EVA). Na reavaliação feita quatro semanas após a intervenção, todas as complicações pós-operatórias foram consideradas clinicamente satisfatórias. No que diz respeito à fibrose, foi observada cicatrização com sinais fibróticos em dois indivíduos do sexo masculino tratados para LO e numa doente do sexo feminino

tratada para LPO. Importa destacar que não foi registada qualquer recidiva de LO ou LPO durante o período de seguimento. Na generalidade do seguimento clínico às uma, duas e quatro semanas após a intervenção, nenhum dos pacientes apresentou hemorragia ou edema, tendo-se verificado uma cicatrização completa das áreas tratadas, sem formação de cicatrizes.

Abordando uma lesão de natureza distinta, **Gupta et al.**⁽²⁵⁾ realizaram um estudo clínico com 30 pacientes diagnosticados clínica e histopatologicamente com FSO. A amostra incluiu indivíduos entre os 20 e os 50 anos, sendo que 73,3% eram do sexo masculino e 26,6% do sexo feminino. O historial de hábitos dos pacientes indicou que os 30 apresentavam consumo de produtos sem combustão.

A presença bilateral de bandas fibróticas na mucosa jugal foi observada em 93,3% dos casos. De acordo com a classificação clínica de Khanna e Andrade, 22 casos foram classificados como grupo III e 8 como grupo II, sendo que histologicamente 23,3% foram identificados como FSO inicial, 70% como moderadamente avançada e 6,7% como avançada. A fibrotomia foi realizada com recurso a LASER Díodo de 980 nm como procedimento em consultório, sob anestesia local, com um tempo médio de execução de uma hora. Os pacientes foram instruídos a realizar, de forma rigorosa, exercícios de abertura bucal e receberam corticosteroide tópico (gel de acetato de triamcinolona a 0,1%) aplicado três vezes por dia durante seis meses, para alívio da dor e da sensação de ardor.

A eficácia do tratamento foi avaliada através da comparação dos valores pré e pós-operatórios ao longo de nove meses, tendo-se registado melhorias significativas na abertura bucal (média de 7,7 mm), na escala visual analógica da dor (redução média de 3,3 pontos), na protrusão da língua (1,6 mm) e na flexibilidade da bochecha (0,38 mm). Importa destacar que não foram observadas complicações pós-operatórias relevantes, como hemorragias, infeções, lesões nervosas ou danos em tecidos ou estruturas adjacentes.

3.1.3. Margens Cirúrgicas, Recidiva e Transformação Maligna

A literatura identifica o papel determinante da extensão das margens cirúrgicas na eficácia do tratamento com LASER Díodo, sobretudo na prevenção da recidiva e na redução do risco de transformação maligna.

A ablação por LASER Díodo, segundo **Mendes et al.**⁽¹⁶⁾, pode prejudicar a avaliação das margens cirúrgicas devido a alterações térmicas nos tecidos, principalmente em lesões de pequena dimensão. Assim, embora esta técnica represente uma alternativa eficaz para reduzir a taxa de recidiva de LOPMs, a sua aplicação deve ser precedida por uma biópsia diagnóstica. Os autores recomendam a remoção de uma amostra com pelo menos 5 mm de diâmetro, de forma a assegurar a fiabilidade do diagnóstico histopatológico.

A ausência de recidivas e de formação de cicatrizes durante o seguimento clínico, reforça a eficácia do LASER Díodo enquanto técnica minimamente invasiva para o controlo local de LOPMs, como demonstrado por **Reddy Kundoor et al.**⁽²²⁾ Contrariamente aos resultados obtidos, os autores referem ainda que **Soliman et al.**⁽²²⁾ reportaram apenas três casos de recidiva entre 25 doentes com LPO tratados com LASER Díodo de 980 nm, durante um período igual de seguimento.

Akbulut et al.⁽²³⁾ sublinham que as modalidades tradicionais de tratamento da leucoplasia oral, como a excisão com bisturi, eletrocauterização ou criocirurgia, estão associadas a uma taxa de recidiva de cerca de 33%. Em contraste, a cirurgia a LASER tem vindo a demonstrar benefícios importantes. Os estudos citados por **Akbulut et al.**⁽²³⁾ sugerem que a cirurgia com LASER contribui não apenas para a prevenção da recidiva e da transformação maligna, mas também para a minimização do risco de disfunções funcionais no período pós-operatório.

No estudo de **Arora et al.**⁽²⁴⁾, cada lesão, tanto de LO homogénea como de LPO reticular, foi irradiada até à alteração da coloração para branco, indicativo de fotocoagulação, tendo sido incluídos 2 mm de mucosa clinicamente saudável ao longo das margens das lesões. No presente estudo não foi observada recidiva, em contraste com os resultados obtidos por **Ravan et al.**⁽²⁴⁾, que reportam dois casos de recidiva entre 10 doentes tratados para as mesmas patologias. Os autores acrescentam que,

segundo a literatura, a taxa de recidiva após terapia com LASER pode variar entre 7,7 a 38,1%, enquanto a taxa de transformação maligna está entre 2,6 e 9%.

Entre dezembro de 2015 e janeiro de 2017, os pacientes incluídos no estudo de **Gupta et al.**⁽²⁵⁾ permaneceram em seguimento clínico com consultas trimestrais para monitorizar possíveis sinais de transformação maligna. Os autores relatam ainda, em concordância com a literatura, que a utilização do LASER Díodo favorece a epitelização espontânea da mucosa, permitindo que a área tratada se mantenha visível à inspeção clínica, ao contrário de situações em que retalhos volumosos podem ocultar malignidades em desenvolvimento.

4. LASER de Dióxido de Carbono

Um dos primeiros LASER utilizados em cirurgia de tecidos moles foi o LASER de CO₂. A sua aplicação em cirurgia de tecidos orais começou na década de 1970, tendo sido oficialmente autorizado para esse fim em 1976. Este LASER pode funcionar em modo contínuo ou pulsado e emite luz com comprimentos de onda de 9300 nm e 10 600 nm. Devido à elevada temperatura gerada pelo feixe, permite uma hemostase eficaz de pequenos vasos sanguíneos, remoção rápida e eficiente de tecido, manutenção da esterilidade do campo operatório e redução da resposta inflamatória inicial, bem como do desconforto no pós-operatório, como consequência do selamento das terminações nervosas sensoriais.⁽⁹⁾

Os tecidos orais, com um teor de água que varia entre 70% e 90%, pertencem ao grupo dos tecidos com elevada concentração hídrica que o LASER de CO₂ é capaz de vaporizar de forma altamente eficiente, devido à sua forte afinidade por este componente. Por essa razão, é amplamente indicado para procedimentos clínicos de remoção, vaporização e coagulação tecidular. Quando a energia do LASER de CO₂ é absorvida pela água intracelular, desencadeia-se um processo de rutura celular provocado pelo impacto fototérmico, sendo este mecanismo de vaporização a base da sua ação cirúrgica. Esta elevada afinidade pela água torna o LASER de CO₂ uma ferramenta terapêutica de eleição no tratamento de lesões orais como fibromas, papilomas e lesões potencialmente malignas.^(9,26)

4.1. LASER de Dióxido de Carbono no tratamento de LOPMs

O LASER de CO₂ é frequentemente utilizado na prática cirúrgica na abordagem de lesões orais potencialmente malignas, em particular da leucoplasia oral, da eritroplasia e da queilite actínica.^(15,21)

4.1.1. Especificações Técnicas do LASER

Relativamente às especificações técnicas do LASER de CO₂ no tratamento de LOPMs, a literatura científica descreve diferentes configurações consoante o tipo de abordagem clínica e patologia (**Tabela IV**).

No estudo de **Yang et al.**⁽²⁷⁾, o sistema *UltraPulse® Encore™* (*Lumenis Inc.*, Israel) foi utilizado em modo contínuo, com potência entre 12 e 15 W, para a excisão de eritroplasia oral sob anestesia local.

Recorrendo a potências mais baixas no tratamento da queilite actínica, **Peres et al.**⁽²⁸⁾ aplicaram um protocolo bilateral no lábio inferior com LASER de CO₂ pulsado (modelo 40C com *SurgiTouch; Sharplan*), comparando dois parâmetros de emissão distintos: 250 mJ a 5 W e 350 mJ a 3,5 W, variando também a duração do pulso e frequência (0,05 s/10 Hz e 0,1 s/6,6 Hz, respetivamente). Ambos os lados foram tratados com feixe desfocado de 2 mm de diâmetro, a aproximadamente 6 cm da superfície labial, e uma velocidade de varrimento de cerca de 1 cm/s. Estes dados são consistentes com os da revisão sistemática conduzida por **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾, que identificou o LASER de CO₂ como a tecnologia mais utilizada no tratamento desta LOPM, presente em 15 dos 20 estudos incluídos. De acordo com os autores, os modos de emissão mais frequentes foram o contínuo (13 estudos) e o pulsado (3 estudos), com potências entre 2 e 80 W e irradiâncias de 100 a 300 W/cm². Dos 3 estudos incluídos que utilizaram LASER de CO₂ em modo pulsado, verificou-se que os parâmetros de emissão apresentaram frequências entre 6,6 Hz e 300 Hz, e uma duração de pulso entre 0,2 ms e 100 ms. O único parâmetro comum a todos os dispositivos foi o comprimento de onda de 10.600 nm, específico do LASER de CO₂.

Por sua vez, em casos de leucoplasia oral, **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾ relataram a utilização de um LASER de CO₂ (*Lumenis*) em modo super pulsado com feixe focado, com potência de 15 W, distância entre 15 e 20 mm da mucosa e uma

lente de 125 mm de foco, com o objetivo de realizar a vaporização controlada das lesões. O tempo de exposição foi de 20 segundos, com um ponto de aplicação de 0,3 mm de diâmetro e fluência de 4.244 J/cm², permitindo uma ablação controlada e eficaz do epitélio displásico.

Tabela IV. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos com LASER de CO₂.

Estudo	Amostra (n)	LOPM	Comprimento de Onda	Potência	Modo de emissão
Yang et al. ⁽²⁷⁾	84	Eritroplasia	10 600 nm	12-15 W	Contínuo
Peres et al. ⁽²⁸⁾	40	Queilite Actínica	10 600 nm	3,5-5 W	Pulsado (6,6–10 Hz; 50–100 ms)N
Ayen-Rodríguez et al. ⁽²⁹⁾	348	Queilite Actínica	10 600 nm	2-80 W	Contínuo e Pulsado (6,6–300 Hz; 0,2–100 ms)
Mogedas-Vegara et al. ⁽³⁰⁾	65	Leucoplasia Oral	10 600 nm	15 W	Super Pulsado

4.1.2. Metodologia, Resultados Clínicos e Pós-Operatório

De forma semelhante ao LASER Díodo, os dados disponíveis relativos à utilização do LASER de CO₂ no tratamento de LOPMs, apontam para uma elevada eficácia terapêutica, tempos de cicatrização favoráveis e boa tolerância pós-operatória.

Neste contexto, **Yang et al.**⁽²⁷⁾ analisaram 84 casos de eritroplasia oral tratados entre 2002 e 2013, selecionando apenas lesões homogêneas, bem delimitadas e de coloração vermelha plana, com confirmação histológica por dois patologistas independentes. Dos 84 casos, três apresentavam carcinoma invasivo (submetidos a

resseção radical), 61 displasia epitelial e 20 apenas hiperplasia. No pós-operatório, não se verificaram complicações relevantes, como hemorragia, trismo ou dificuldades funcionais, reforçando o perfil de segurança e a boa tolerância do tratamento com LASER de CO₂ em LOPMs.

Numa abordagem aplicada a uma LOPM diferente, **Peres et al.**⁽²⁸⁾ avaliaram 40 pacientes com queilite actínica crónica multicêntrica, tratados com um modelo comparativo bilateral de protocolos de vaporização a LASER de CO₂. O tempo médio de reepitelização foi de $13,5 \pm 3,34$ dias para o protocolo de 250 mJ e de $17,25 \pm 3,77$ dias para o protocolo de 350 mJ, demonstrando cicatrização eficiente em ambos os casos. A dor pós-operatória foi ligeira a moderada em 30% dos pacientes, limitada ao primeiro dia, e ausente a partir do segundo, refletindo uma resposta inflamatória reduzida, possivelmente associada a níveis baixos de prostanoídes e bradicinina. A maioria dos doentes apresentou cicatrização sem formação de cicatrizes, exceto um caso isolado de infeção herpética resolvida sem sequelas. A taxa de recidiva clínica foi de 12,5% por protocolo, e a análise histológica pós-tratamento confirmou ausência de displasia em 53,8% dos pacientes submetidos ao protocolo de 250 mJ e em 61,5% dos tratados com 350 mJ, sugerindo um impacto positivo do LASER na reversão das alterações epiteliais. Em reforço a estes resultados, **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾, incluíram 348 pacientes tratados com LASER de CO₂ em 15 dos 20 estudos analisados. A taxa de resolução clínica foi elevada, com tempos de cicatrização entre 14 e 49 dias, sendo geralmente mais curtos nos casos tratados em modo contínuo. A maioria dos efeitos adversos foram de intensidade ligeira e de curta duração, incluindo dor transitória, eritema, edema e hemorragia pontual. A satisfação dos pacientes foi amplamente documentada como elevada nos estudos que incluíram esse parâmetro clínico.

De forma igualmente favorável, **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾, num estudo retrospectivo com 65 pacientes diagnosticados com leucoplasia oral, reportaram resultados clínicos positivos com o uso do LASER de CO₂. As lesões localizavam-se maioritariamente na língua (32,3%) e na gengiva (29,2%), e apresentavam displasia ligeira a moderada em 44,6% dos casos e hiperplasia sem displasia em 32,3%. O seguimento clínico estruturado revelou uma taxa global de complicações de 7,7% (n= 5), todas relacionadas com dor pós-operatória de intensidade controlável com anti-

inflamatórios não esteroides, reforçando o bom perfil de segurança e tolerabilidade deste tipo de intervenção.

4.1.3. Margens Cirúrgicas, Recidiva e Transformação Maligna

A influência das margens cirúrgicas, bem como a incidência de recidiva e transformação maligna após o tratamento com LASER de CO₂, tem sido discutida na literatura, apontando para a necessidade de uma abordagem técnica rigorosa e individualizada.

A evidência clínica de **Yang et al.**⁽²⁷⁾ sugere que a adoção de margens cirúrgicas laterais de pelo menos 3 mm, em conjugação com uma profundidade de excisão adaptada à extensão vertical da displasia epitelial, constitui uma abordagem eficaz na remoção completa de lesões orais potencialmente malignas, com impacto mínimo sobre a função e a estética. Os autores demonstraram ainda que, embora a profundidade média inicial da excisão fosse de 5 mm, esta foi posteriormente ajustada para 2 mm, tendo em conta que a maioria das displasias se encontra confinada acima da membrana basal. Esta profundidade foi considerada clinicamente suficiente para alcançar a eliminação do epitélio alterado com impacto mínimo sobre a função e a estética mesmo em excisões mais extensas.

Relativamente à presença de recidiva, durante um seguimento médio de 46 meses, verificou-se uma taxa de recidiva de 16,7%, com intervalo médio de 14 meses, e a área da lesão foi identificada como o único fator preditivo significativo, sendo que lesões com área superior a 80 mm² apresentaram um risco 5,1 vezes maior de recidiva, realçando o papel crítico do tamanho da lesão no prognóstico pós-operatório. Resultados semelhantes foram registados por **Peres et al.**⁽²⁸⁾, que observaram uma taxa de reaparecimento clínico de 12,5% em casos de queilite actínica, sob a forma de lesões brancas, crostas ou descamação focal, até oito meses após o tratamento. Em linha com estas observações, a revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾ indicou taxas de recidiva variáveis entre 5,26% e 21,43%, em 15 dos 20 estudos incluídos que utilizaram predominantemente LASER de CO₂, abrangendo 348 dos 512 pacientes avaliados. Em nítido contraste com as taxas de recidiva observadas nos estudos anteriores, os dados apresentados por **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾ revelaram uma incidência consideravelmente mais elevada, com 33,8% dos pacientes

com leucoplasia oral a apresentarem recidiva clínica. Neste estudo, a localização gengival emergiu como um fator de risco estatisticamente significativo, apresentando uma maior predisposição para recidiva em comparação com a localização lingual.

No que diz respeito à transformação maligna, **Yang et al.**⁽²⁷⁾ não registraram qualquer caso entre os pacientes sem carcinoma invasivo à data da excisão inicial, reforçando a eficácia da remoção completa como estratégia de controlo da progressão. De igual modo, **Peres et al.**⁽²⁸⁾ não observaram casos de transformação maligna no seguimento dos seus pacientes. No entanto, apesar de se ter verificado uma redução significativa na intensidade das atipias epiteliais, foram observadas persistências pontuais de alterações displásicas, cuja natureza, residual ou reativa, não pode ser determinada com base em critérios morfológicos convencionais.

Em contraste com estudos anteriormente analisados, a revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾ reportou transformação maligna em apenas três estudos, com percentagens a oscilar entre 2,33% e 7,14%, embora sem especificar a modalidade terapêutica utilizada em cada caso. Adicionalmente, destaca-se o de **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾, que registou uma taxa de transformação maligna significativamente mais elevada, de 15,4%. Os autores sugerem que este fenómeno poderá estar mais relacionado com alterações moleculares subjacentes do que com a técnica de excisão propriamente dita, o que reforça a necessidade de uma vigilância prolongada.

5. Comparação direta entre LASER Díodo e LASER de CO₂

Embora a maioria dos estudos analisados nesta revisão e na literatura utilize apenas uma modalidade de LASER por amostra, foram identificados dois ensaios clínicos que constituem exceções relevantes ao realizarem comparações diretas entre o LASER Díodo e de CO₂ no tratamento da leucoplasia oral (**Tabela V**).

O estudo recente de 2021 de **Gupta et al.**⁽³¹⁾ constitui uma dessas exceções. Trata-se de um estudo piloto prospetivo envolvendo 20 pacientes com LO homogénea, distribuídos equitativamente em dois grupos de tratamento: Grupo A (n=10), submetido a excisão com LASER de CO₂, e Grupo B (n=10), tratado com LASER Díodo. A seleção dos participantes foi criteriosa, incluindo apenas indivíduos

com diagnóstico clínico e histopatológico confirmado de LO homogênea, associada ao consumo de tabaco em qualquer forma, e excluindo lesões displásicas, verrugosas, nodulares, eritroleucoplásicas, líquen plano oral, candidíase, lesões situadas em áreas de risco anatómico (língua, pavimento oral, regiões vasculares) ou em contacto com dentes fraturados.

Antes da intervenção cirúrgica, todos os pacientes foram submetidos a biópsia incisional após coloração vital com azul de toluidina, e classificados de acordo com o sistema OLEP (*Oral Leukoplakia – Classification and Staging*). Foram apenas incluídas lesões sem displasia (P1) e clinicamente homogêneas (C1), cumprindo os critérios de homogeneidade morfológica e ausência de risco aumentado de transformação maligna, de forma a garantir a uniformidade da amostra.

No que diz respeito às especificações técnicas dos dispositivos utilizados, o LASER de CO₂ (modelo *ULTIMA S-DC, Shailtec*) operou a 10.6 µm, com potência média de 2 W, em modo contínuo e sem contacto, com um feixe de 440 µm de diâmetro. A excisão foi realizada através de movimentos de varrimento entre 1 e 2 mm acima da lesão, com auxílio de aspiração de alta potência. Por sua vez, o LASER Díodo (modelo *Wizer – Doctor Smile, LAMBDA SpA*) operou a 980 nm, também com 2 W de potência média, em modo contínuo, mas com aplicação em contacto direto e fibra ótica de 200 µm de diâmetro. Em ambos os grupos, foi respeitada uma margem de segurança de 2 mm de mucosa clinicamente saudável ao redor da lesão.

O protocolo de avaliação pós-operatória incluiu monitorização sistemática dos sinais e sintomas em diferentes momentos (24 h, 72 h, 5 dias, 7 dias, 10 dias, 15 dias, 1 mês, 2 meses e 3 meses), com foco na dor, edema, eritema, sensação de ardor, parestesia e recidiva. Os resultados clínicos indicaram eficácia semelhante na excisão da lesão em ambos os grupos, sem complicações intraoperatórias relevantes, com exceção de episódios isolados de hemorragia ligeira, controlada com eletrocauterização.

Contudo, as diferenças mais marcantes entre as duas modalidades verificaram-se no pós-operatório imediato. A dor foi reportada por 90% dos pacientes de ambos os grupos no segundo dia após a cirurgia, no entanto o grupo CO₂ apresentou resolução mais rápida, com apenas 20% a queixar-se de dor no quarto

dia, em contraste com os 60% do grupo Díodo. Relativamente ao edema, os doentes tratados com LASER de CO₂ exibiram inflamação mínima ou ausente logo ao segundo dia, enquanto os pacientes do grupo Díodo mantiveram queixas de edema durante uma semana. A incidência de eritema foi universal no quinto dia em ambos os grupos; no entanto, no grupo Díodo, 10% dos pacientes ainda apresentavam eritema ao fim de três semanas, ao passo que todos os pacientes do grupo CO₂ já tinham recuperado totalmente nesse parâmetro. A sensação de ardor foi também ligeiramente mais prevalente no grupo Díodo no segundo dia (60% versus 40% no grupo CO₂), mas no quinto dia foi o grupo CO₂ que manteve 20% de queixas, enquanto o grupo Díodo apresentou apenas 10%.

Do ponto de vista histopatológico, foi evidenciada uma zona de dano térmico colateral mais restrita no grupo tratado com LASER de CO₂, o que está em conformidade com outros estudos previamente publicados (**Suter et al., Cercadillo-Ibarguren et al.**⁽³¹⁾), os quais demonstraram que este tipo de LASER promove menor necrose tecidular nas margens da excisão, fator relevante tanto para a preservação da arquitetura histológica da amostra como para a integridade dos tecidos adjacentes.

Quanto à recidiva, observou-se uma taxa de 20% em ambos os grupos (2 pacientes por grupo) após um mês de seguimento. Importa referir que dois dos casos de recidiva no grupo Díodo estavam associados à não cessação do hábito tabágico, enquanto os dois casos do grupo CO₂ se localizaram em zonas anatómicas de difícil acesso cirúrgico (palato duro e rebordo alveolar). Não foi reportada qualquer transformação maligna durante o período de seguimento, embora a curta duração (três meses) e a exclusão de lesões displásicas limitem a capacidade do estudo para avaliar este desfecho a longo prazo.

Um segundo estudo comparativo relevante é o ensaio clínico conduzido por **Natekar et al.**⁽³²⁾, que avaliou três modalidades cirúrgicas no tratamento da leucoplasia oral: criocirurgia, LASER Díodo e LASER de CO₂. Trata-se de um estudo prospetivo, com amostra de 30 pacientes (20 homens e 10 mulheres), randomizados em três grupos de 10 indivíduos, cada um submetido a uma das técnicas cirúrgicas.

A seleção dos participantes exigiu a confirmação histopatológica prévia da lesão como LO, com permanência após seis semanas de cessação de hábitos

(tabaco, *betel quid*, álcool). Foram excluídos casos de lesões regressivas ou com malignidade ativa. Todos os pacientes foram submetidos a avaliação clínica completa, exames laboratoriais e aplicação de anestesia local com lidocaína a 2% e epinefrina 1:80.000 antes do procedimento.

Relativamente às especificações técnicas, o LASER Díodo utilizado operava a 970 nm, com 4 W de potência em modo contínuo, aplicado em modo de contacto até à ablação completa da lesão. O LASER de CO₂ utilizou um feixe com comprimento de onda de 10.6 µm, com potência entre 5 e 15 W em modo contínuo ou pulsado. A aplicação foi feita em modo não contacto, com feixe desfocado de 1 mm de diâmetro, até à completa vaporização do tecido até à submucosa. As margens cirúrgicas foram desenhadas com 3 mm de segurança, tendo sido respeitadas em todos os casos.

A eficácia clínica foi confirmada em todos os grupos, com remoção completa da lesão sem complicações intraoperatórias. A avaliação pós-operatória incluiu parâmetros como dor, edema, infeção, sangramento, formação de cicatriz e recidiva. A dor foi medida com escala EVA (0-10), e os resultados mostraram menor dor no grupo tratado com LASER Díodo, particularmente na segunda semana (média: 0), contrastando com o grupo LASER CO₂ (0,9). O grupo tratado com LASER de CO₂ apresentou dor ligeiramente superior à do grupo Díodo no imediato pós-operatório, mas inferior à criocirurgia. Nenhum dos pacientes tratados com LASER apresentou edema na primeira semana, formação de cicatrizes ou infeções, sendo que as lesões cicatrizaram com boa evolução clínica em todos os casos.

A recidiva não foi observada em nenhum dos grupos aos 3 e 6 meses de seguimento, o que demonstra a eficácia das modalidades na erradicação das lesões tratadas. No entanto, o seguimento foi limitado a 12 meses para o grupo LASER Díodo e 18 meses para o grupo CO₂, não sendo possível avaliar o potencial de transformação maligna ou recidiva tardia. Nenhum caso de transformação maligna foi identificado durante o período de observação.

Tabela V. Síntese da dimensão amostral, LOPM tratada e parâmetros técnicos utilizados nos estudos comparativos entre o LASER Díodo e de CO₂.

Estudo	Amostra (n)	LOPM	Comprimento de Onda	Potência	Modo de emissão
Gupta et al. ⁽³¹⁾	20	LO Homogénea	Díodo: 980 nm CO ₂ : 10 600 nm	2 W (ambos)	Contínuo
Natekar et al. ⁽³²⁾	30	LO	Díodo: 980 nm CO ₂ : 10 600 nm	Díodo: 4 W CO ₂ : 5-15 W	Díodo: Contínuo CO ₂ : Contínuo e Pulsado

DISCUSSÃO

1. Análise dos resultados clínicos obtidos

Os resultados obtidos nesta revisão evidenciam a eficácia da abordagem com LASER Díodo e de CO₂ no tratamento de diferentes tipos de LOPMs, especialmente leucoplasia oral, líquen plano oral, fibrose submucosa oral, eritroplasia e queilite actínica.

Especificamente, a aplicação do LASER Díodo revelou benefícios consistentes no tratamento de leucoplasia oral e líquen plano oral, e, com menor frequência, da fibrose submucosa oral. Nos estudos que aplicaram esta tecnologia no tratamento de LO e LPO, as potências variaram entre 3 W^(23,24) e 15 W⁽²³⁾ em modo contínuo⁽²²⁾, com⁽²⁴⁾ ou sem contacto⁽²⁴⁾, com comprimentos de onda de 810 nm⁽²²⁾ e 980 nm⁽²²⁾. Diversos estudos demonstram resultados favoráveis no controlo local da doença, com taxas de recidiva tendencialmente baixas ou inexistentes^(22,24), embora existam discrepâncias entre os autores. Por exemplo, **Soliman et al.**⁽²²⁾ relataram três casos de recidiva entre 25 doentes com LO tratada com LASER Díodo de 980 nm, enquanto **Ravan et al.**⁽²²⁾ referiram dois casos em 10 doentes, apontando para uma variabilidade reportada na literatura, com taxas de recidiva entre 7,7% e 38,1%, e transformação maligna entre 2,6% e 9%. Adicionalmente, **Akbulut et al.**⁽²³⁾ defendem que a cirurgia a LASER apresenta vantagens claras face às modalidades tradicionais, que registam taxas de recidiva na ordem dos 33%, além de potenciarem maior morbidade funcional. O estudo de **Arora et al.**⁽²⁴⁾, ao irradiar lesões até à fotocoagulação incluindo 2 mm de margem saudável, obteve ausência de recidiva durante o seguimento, tal como **Reddy Kundoor et al.**⁽²²⁾, que também verificaram cicatrização completa ao fim de 1 semana e dor pós-operatória mínima. A cicatrização por segunda intenção foi predominante, com tempos variáveis até 6 semanas⁽²³⁾, mas sem registo de transformação maligna em nenhum dos estudos.

No que diz respeito à FSO, o estudo de **Gupta et al.**⁽²⁵⁾, com 30 pacientes, demonstrou ganhos funcionais significativos, incluindo aumento na abertura bucal (média 7,7 mm), na protrusão da língua (1,6 mm), na flexibilidade da bochecha (0,38 mm) e uma redução média de 3,3 pontos na EVA ao fim de 9 meses de seguimento,

o que reforça o potencial terapêutico do LASER Díodo também em contextos não excisionais.

Do mesmo modo, a aplicação do LASER de CO₂ demonstrou elevada eficácia no tratamento da leucoplasia oral, à semelhança do LASER Díodo, mas evidenciou também resultados promissores na abordagem da eritroplasia e da queilite actínica. Nas publicações selecionadas, os parâmetros técnicos variaram entre potências de 2 W e 80 W, com modos de emissão contínuo^(27,29), pulsado^(28,29) ou super pulsado⁽³⁰⁾ e um comprimento de onda uniforme de 10 600 nm, adaptando-se à natureza e extensão das lesões. A taxa de resolução clínica foi elevada em todos os estudos, com tempos de cicatrização entre 13 e 49 dias e dor pós-operatória geralmente ligeira ou ausente, refletindo o bom perfil de segurança deste tipo de intervenção.

A maioria dos estudos analisados na revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾ reporta taxas de recidiva entre 5,26% e 21,43%, intervalo dentro do qual se enquadra grande parte da evidência disponível. No entanto, **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾ identificaram um valor substancialmente mais elevado, com 33,8% de recidiva clínica em doentes com leucoplasia oral, sobretudo em lesões localizadas na gengiva, o que poderá refletir particularidades anatómicas ou biológicas com impacto prognóstico. Adicionalmente, **Yang et al.**⁽²⁷⁾ demonstraram que a área da lesão constitui um fator preditivo significativo, observando um risco acrescido de recidiva em lesões com área superior a 80 mm².

Relativamente à transformação maligna, a maioria dos estudos não registou casos durante o período de seguimento, embora a revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾ refira valores entre 2,33% e 7,14% nos poucos estudos que reportaram este desfecho. A taxa mais elevada foi observada por **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾, que reportaram transformação maligna em 15,4% dos doentes com LO, valor consideravelmente superior aos restantes estudos. Os autores sugerem que este achado poderá estar mais relacionado com alterações moleculares subjacentes às lesões tratadas do que com a eficácia da excisão a LASER. A adoção de margens cirúrgicas amplas (≥ 3 mm) e profundidades controladas (≈ 2 mm), como preconizado por **Yang et al.**⁽²⁷⁾, mostrou-se eficaz na remoção completa do epitélio displásico com

impacto funcional mínimo, reforçando a importância de uma abordagem técnica precisa na redução dos riscos de recidiva e progressão maligna.

Em conjunto, os dados obtidos a partir dos estudos de **Gupta et al.**⁽³¹⁾ e **Natekar et al.**⁽³²⁾, sugerem que, tanto o LASER Díodo como o de CO₂, apresentam eficácia semelhante na excisão da LO, a LOPM mais frequentemente abordada na literatura, com baixas taxas de recidiva (0% a 20%) e ausência de transformação maligna durante os períodos de seguimento avaliados. No entanto, os resultados pós-operatórios revelam vantagens diferenciadas entre as modalidades. O LASER Díodo demonstrou menor intensidade de dor na segunda semana pós-operatória em ambos os estudos (EVA média: 0 a 1,3), enquanto o LASER de CO₂ evidenciou melhor desempenho na resolução precoce do edema e eritema, bem como uma zona de dano térmico colateral mais restrita. Nenhum dos estudos registou infeções, formação de cicatrizes ou complicações relevantes com estas duas modalidades. Estes dados reforçam o potencial de ambas as tecnologias como opções eficazes e bem toleradas no tratamento da leucoplasia oral, sendo a escolha entre elas passível de ser orientada pelo perfil pós-operatório desejado e pela experiência clínica do operador.

2. Limitações dos estudos incluídos e dos resultados obtidos

Nos estudos incluídos, foram identificadas limitações de natureza metodológica, técnica e clínica, que condicionam a interpretação e a generalização dos resultados obtidos.

No que diz respeito ao LASER Díodo, observa-se uma limitação importante relacionada com a dimensão e heterogeneidade das amostras. No estudo de **Reddy Kundoor et al.**⁽²²⁾, a amostra é composta por apenas dez pacientes, cinco com LO e cinco com LPO. Por sua vez, **Akbulut et al.**⁽²³⁾ relataram resultados baseados numa amostra heterogénea de 27 doentes, incluindo diferentes tipos de lesões orais (benignas e potencialmente malignas). Estas limitações amostrais comprometem a validade científica dos estudos e restringem a possibilidade de generalização dos resultados em cenários clínicos mais amplos. Ainda no mesmo estudo, os autores referem bons resultados com o uso de LASER Díodo após insucesso de terapêuticas convencionais, mas não esclarecem a sequência temporal exata dos tratamentos prévios, crucial para avaliar se os resultados obtidos com este LASER foram

realmente superiores ou se resultam de uma melhoria espontânea ou de um efeito acumulado de abordagens anteriores.

Apesar de apresentar resultados clínicos promissores, o estudo de **Gupta et al.**⁽²⁵⁾ não aborda aspetos relacionados com as margens cirúrgicas obtidas durante a fibrotomia com LASER Díodo de 980 nm, nem fornece critérios específicos sobre a extensão da remoção das bandas fibróticas. Além disso, não são reportadas taxas de recidiva clínica ou funcional ao longo do período de seguimento de nove meses. A ausência de dados sobre recidiva ou reaparecimento dos sintomas limita a avaliação da eficácia a longo prazo da abordagem proposta, não permitindo estabelecer conclusões quanto à durabilidade dos resultados obtidos.

Da mesma forma, os estudos analisados sobre o LASER de CO₂ no tratamento de LOPMs apresentam limitações metodológicas relevantes.

No estudo de **Yang et al.**⁽²⁷⁾, destacam-se dois aspetos principais: a natureza retrospectiva do estudo, que reduz o controlo sobre variáveis e potencia viés de seleção e informação; e o viés de registo associado aos dados autorreportados sobre hábitos de risco (tabaco, álcool e betel *quid*), limitando a possibilidade de transpor os resultados para a população geral. Os autores recomendam a realização de estudos multicêntricos de maior escala para aprofundar o conhecimento sobre o comportamento biológico da eritroplasia oral e a eficácia terapêutica do LASER de CO₂.

Em **Peres et al.**⁽²⁸⁾, uma das principais limitações metodológicas prende-se com a dificuldade em distinguir, com base apenas em critérios histológicos convencionais, entre displasia residual e atipia reativa nas amostras obtidas após o tratamento. Os autores reconhecem que apenas técnicas moleculares seriam capazes de fornecer uma discriminação fiável entre alterações benignas de natureza inflamatória e tecido displásico remanescente. Adicionalmente, nem todos os pacientes aceitaram realizar biópsias pós-operatórias, o que reduziu o número de casos submetidos a avaliação histológica completa e limitou a análise comparativa entre protocolos. Por fim, salienta-se que nenhum dos protocolos demonstrou eliminação absoluta da atipia epitelial, o que sugere que, apesar da eficácia clínica observada, pode persistir algum grau de alteração displásica após a intervenção,

refletindo limitações na remoção completa do epitélio comprometido com as técnicas utilizadas.

Estas limitações individuais são complementadas por fragilidades metodológicas observadas de forma transversal nos estudos incluídos na revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾ A maioria dos trabalhos apresentava risco elevado de viés, motivado sobretudo pela ausência de randomização, pela heterogeneidade dos desenhos de estudo e pela falta de descrição padronizada dos procedimentos clínicos. Esta variabilidade impediu a realização de uma meta-análise quantitativa e dificultou a consolidação de conclusões comparativas entre estudos. Acresce que, embora o LASER de CO₂ tenha sido a tecnologia mais utilizada (em 15 dos 20 estudos), os resultados não foram estratificados por tipo de LASER, o que inviabiliza a atribuição inequívoca dos efeitos terapêuticos exclusivamente a esta modalidade. A ausência de dados uniformes sobre a localização anatómica das lesões, os hábitos de risco dos pacientes ou a percepção subjetiva dos resultados clínicos compromete adicionalmente a aplicabilidade dos dados a contextos clínicos reais.

Tanto no estudo de **Mogedas-Vegara et al.**⁽³⁰⁾, como no de **Natekar et al.**⁽³²⁾ descrevem a utilização do modo super pulsado e pulsado, respetivamente, porém não especificam os valores de frequência e duração do pulso, o que limita a comparação direta com outros protocolos clínicos descritos na literatura.

Na generalidade dos estudos analisados, independentemente do tipo de LASER utilizado, o período de seguimento clínico reportado é insuficiente para avaliar adequadamente a recidiva tardia ou o potencial de transformação maligna, fenómenos que podem manifestar-se em períodos mais prolongados. Adicionalmente, a metodologia adotada, por não ser randomizada, aumenta o risco de viés de seleção. Verifica-se ainda que a análise se baseou predominantemente em parâmetros clínicos e subjetivos, como a avaliação da dor baseada no autorrelato dos pacientes, sem recurso a medidas complementares de avaliação, nomeadamente marcadores moleculares ou avaliação histopatológica pós-tratamento das margens cirúrgicas e da própria lesão. Estas limitações impossibilitam a confirmação objetiva da eliminação completa das alterações displásicas e restringem a avaliação da eficácia terapêutica. No caso do LASER Díodo, é de salientar que os estudos não

especificam se a fibra ótica foi previamente ativada, variável que pode influenciar a profundidade de penetração e o padrão de interação com os tecidos.

Importa ainda referir a ausência de padronização dos parâmetros de aplicação do LASER, o que dificulta não só a comparação entre estudos como também a formulação de recomendações clínicas consistentes. Por fim, a predominância de estudos observacionais, com amostras limitadas e grande heterogeneidade metodológica, sublinha a necessidade urgente de ensaios clínicos controlados e randomizados que permitam validar os resultados obtidos e estabelecer protocolos terapêuticos otimizados para cada subtipo de LOPM.

Apesar da vasta aplicação clínica do LASER Díodo e do LASER de CO₂ no tratamento de LOPMs, a literatura científica permanece limitada no que diz respeito a estudos comparativos diretos entre ambas as tecnologias aplicadas ao mesmo tipo de LOPM. Com exceção da leucoplasia oral, para a qual foram identificados dois estudos clínicos comparativos, não foram encontrados trabalhos que avaliem de forma paralela a eficácia, o impacto pós-operatório, as margens cirúrgicas, a recidiva ou o potencial de malignização destas modalidades LASER em LOPMs como a eritroplasia, o líquen plano oral ou a queilite actínica. A maioria dos estudos analisados aplica apenas uma modalidade de LASER por amostra, inviabilizando a análise comparativa rigorosa entre dispositivos. Mesmo a revisão sistemática de **Ayen-Rodríguez et al.**⁽²⁹⁾, que abrangeu 20 estudos, não estratifica os resultados por tipo de LASER, o que limita substancialmente a sua utilidade para comparação direta entre CO₂ e Díodo.

Esta lacuna representa uma limitação importante para a definição de critérios de escolha baseados em evidência comparativa. A ausência generalizada de ensaios clínicos que comparem diretamente as duas tecnologias pode estar relacionada com múltiplos fatores, nomeadamente a dificuldade metodológica de padronizar variáveis como o tipo e localização anatômica das lesões, o grau de displasia, os parâmetros técnicos do LASER, o tempo de seguimento e a resposta individual dos tecidos irradiados. Acrescem ainda as limitações éticas de aplicar modalidades cirúrgicas distintas a grupos clínicos semelhantes sem justificação científica prévia quanto à sua equivalência. Neste contexto, a realização de estudos multicêntricos, com amostras

representativas, estratificação rigorosa por tipo de lesão e metodologia homogênea, seria essencial para clarificar qual das modalidades LASER oferece melhor desempenho clínico em cada entidade patológica, contribuindo assim para a construção de protocolos terapêuticos baseados em evidência sólida.

CONCLUSÃO

Com base na evidência científica analisada, a presente revisão permitiu concluir que tanto o LASER Díodo como o LASER de CO₂ apresentam vantagens clínicas relevantes, afirmando-se como abordagens terapêuticas eficazes, minimamente invasivas e bem toleradas no tratamento de LOPMs. O LASER de CO₂ associa-se a menor inflamação inicial, enquanto o Díodo proporciona menor dor em fases mais tardias. Contudo, também apresentam limitações: o Díodo pode comprometer a análise histológica das margens, e o CO₂ mostra menor eficácia em lesões extensas pela sua ação mais superficial. Em termos de eficácia clínica, a leucoplasia oral revelou bons resultados com as duas modalidades. O LASER Díodo mostrou ainda benefícios na fibrose submucosa e no líquen plano, enquanto o de Dióxido de Carbono se destacou na eritroplasia e queilite actínica. Ambos os dispositivos demonstraram baixa incidência de efeitos adversos, benefícios funcionais e reduzida ou ausente transformação maligna, especialmente com o Díodo.

Apesar dos resultados promissores, a heterogeneidade metodológica e a escassez de estudos comparativos dificultam a comparação direta e a generalização dos dados. A falta de uniformização nos protocolos e nos critérios de avaliação constituem limitações importantes da evidência atual. Ainda assim, os dados analisados apoiam a utilização do LASER Díodo e de CO₂ como ferramenta eficaz no tratamento das LOPMs, com potencial para melhorar o controlo local da doença e prevenir a transformação maligna. A deteção precoce aliada a uma intervenção adequada poderá contribuir significativamente para a redução do risco de carcinoma oral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brouns E, Baart JA, Karagozoglu KH, Aartman IHA, Bloemena E, Van der Waal I. Malignant transformation of oral leukoplakia in a well-defined cohort of 144 patients. *Oral Dis.* 2014;20(3).
2. Liu D, Zhao X, Zeng X, Dan H, Chen Q. Non-invasive techniques for detection and diagnosis of oral potentially malignant disorders. Vol. 238, *Tohoku Journal of Experimental Medicine*. Tohoku University Medical Press; 2016. p. 165–77.
3. Kumari P, Debta P, Dixit A. Oral Potentially Malignant Disorders: Etiology, Pathogenesis, and Transformation Into Oral Cancer. Vol. 13, *Frontiers in Pharmacology*. Frontiers Media S.A.; 2022.
4. Maia HC de M, Pinto NAS, Pereira JDS, de Medeiros AMC, da Silveira ÉJD, Miguel MC da C. Potentially malignant oral lesions: clinicopathological correlations. *Einstein (Sao Paulo)*. 1 de Janeiro de 2016;14(1):35–40.
5. Pires ALPV, Couto GR, Lins-Kusterer L, Ribeiro PML, Sarmento VA, Gonzalez TFL de O. Desordens orais potencialmente malignas: o que o cirurgião-dentista precisa saber? *Revista de Ciências Médicas e Biológicas*. 22 de Junho de 2023;22(1):137–45.
6. Lorini L, Atín CB, Thavaraj S, Müller-Richter U, Ferranti MA, Romero JP, et al. Overview of oral potentially malignant disorders: From risk factors to specific therapies. Vol. 13, *Cancers*. MDPI AG; 2021.
7. Van der Waal I. Oral potentially malignant disorders: Is malignant transformation predictable and preventable? *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2014;19(4).
8. Abati S, Bramati C, Bondi S, Lissoni A, Trimarchi M. Oral cancer and precancer: A narrative review on the relevance of early diagnosis. Vol. 17, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI AG; 2020. p. 1–14.
9. Ortega-Concepción D, Cano-Durán JA, Peña-Cardelles JF, Paredes-Rodríguez VM, González-Serrano J, López-Quiles J. The application of diode laser in the treatment of oral soft tissues lesions. A literature review. Vol. 9, *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. Medicina Oral S.L.; 2017. p. e925–8.
10. Speight PM, Khurram SA, Kujan O. Oral potentially malignant disorders: risk of progression to malignancy. Vol. 125, *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. Mosby Inc.; 2018. p. 612–27.
11. Warnakulasuriya S, Kujan O, Aguirre-Urizar JM, Bagan J V., González-Moles MÁ, Kerr AR, et al. Oral potentially malignant disorders: A consensus report from an international seminar on nomenclature and classification, convened by the WHO Collaborating Centre for Oral Cancer. Vol. 27, *Oral Diseases*. John Wiley and Sons Inc; 2021. p. 1862–80.

12. Mello FW, Miguel AFP, Dutra KL, Porporatti AL, Warnakulasuriya S, Guerra ENS, et al. Prevalence of oral potentially malignant disorders: A systematic review and meta-analysis. Vol. 47, *Journal of Oral Pathology and Medicine*. Blackwell Publishing Ltd; 2018. p. 633–40.
13. Chaturvedi AK, Udaltsova N, Engels EA, Katzel JA, Yanik EL, Katki HA, et al. Oral leukoplakia and risk of progression to oral cancer: A population-based cohort study. *J Natl Cancer Inst*. 1 de Outubro de 2020;112(10):1047–54.
14. Warnakulasuriya S, Johnson NW, Van Der Waal I. Nomenclature and classification of potentially malignant disorders of the oral mucosa. Vol. 36, *Journal of Oral Pathology and Medicine*. 2007. p. 575–80.
15. Sneha S, Mhapushar A, Jadhav S, Nisa SU, Student PG. *Journal of Oral Medicine, Oral Surgery, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2017;3(2):103.
16. Mendes PA, de Jesus AO, Menezes VCB, Mesquita RA, de Souza LN. Uso do laser de diodo em cirurgia bucal: aplicabilidade clínica. 2018;14(1):1–12.
17. Convissar RA. Principles and practice of laser dentistry. 3rd ed. St. Louis: Elsevier Health Sciences, editor. 2023.
18. Monteiro L, Delgado ML, Garcês F, Machado M, Ferreira F, Martins M, et al. A histological evaluation of the surgical margins from human oral fibrous-epithelial lesions excised with co2 laser, diode laser, er:Yag laser, nd:Yag laser, electrosurgical scalpel and cold scalpel. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 1 de Março de 2019;24(2):e271–80.
19. Beer F, Blum R, Goharkhay K, Pescheck A, Schoop U, Strassi M, et al. *Oral Laser Application*. 1st ed. Moritz A, editor. London: Quintessence Publishing; 2006.
20. Parker S, Rechmann P, Sulewski J, Sweeney C, Swick M, Yung F. Laser Energy in Oral Soft Tissue Applications. Vol. 20, *Journal of Laser Dentistry* |. 2012.
21. Zafar S, Makkar SK. Use of laser in the management of leukoplakia and oral lichen planus - A systematic review. *The Journal of Dental Panacea*. 28 de Julho de 2023;5(2):68–73.
22. Kundoor VKR, Patimeedi A, Roohi S, Maloth KN, Kesidi S, Masabattula GK. Efficacy of diode laser for the management of potentially malignant disorders. *J Lasers Med Sci*. 2015;6(3):120–3.
23. Akbulut N, Kursun ES, Tumer MK, Kamburoglu K, Gulsen U. Is the 810-nm diode laser the best choice in oral soft tissue therapy? *Eur J Dent*. Abril de 2013;7(2):207–11.
24. Arora KS, Bansal R, Mohapatra S, Verma A, Sharma S, Pareek S. Prevention of malignant transformation of oral leukoplakia and oral lichen planus using laser: An observational study. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. 1 de Dezembro de 2018;19(12):3635–41.

25. Gupta S, Piyush P, Mahajan A, Mohanty S, Ghosh S, Singh K. Fibrotomy with diode laser (980 nm) and habit correlation in oral submucous fibrosis: a report of 30 cases. *Lasers Med Sci.* 1 de Novembro de 2018;33(8):1739–45.
26. Asnaashari M, Roudsari MB, Shirmardi MS. Evaluation of the Effectiveness of the Carbon Dioxide (CO₂) Laser in Minor Oral Surgery: A Systematic Review. Vol. 14, *Journal of Lasers in Medical Sciences.* Laser Application in Medical Sciences Research Center; 2023.
27. Yang SW, Lee YS, Chang LC, Hsieh TY, Chen TA. Outcome of excision of oral erythroplakia. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 de Fevereiro de 2015;53(2):142–7.
28. De Godoy Peres FF, Aigotti Haberbeck Brandão A, Rodarte Carvalho Y, Dória Filho U, Plapler H. A study of actinic cheilitis treatment by two low-morbidity CO₂ laser vaporization one-pass protocols. *Lasers Med Sci.* Maio de 2009;24(3):375–85.
29. Ayen-Rodriguez A, Naranjo-Diaz MJ, Ruiz-Villaverde R. Laser Therapy for the Treatment of Actinic Cheilitis: A Systematic Review. Vol. 19, *International Journal of Environmental Research and Public Health.* MDPI; 2022.
30. Mogedas-Vegara A, Hueto-Madrid JA, Chimenos-Küstner E, Bescós-Atín C. The treatment of oral leukoplakia with the CO₂ laser: A retrospective study of 65 patients. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 1 de Junho de 2015;43(5):677–81.
31. Gupta A, Pagare S, Bhatnagar S, Waghmare M, Vahanwala S. Comparative evaluation of the efficacy of co₂ and diode laser in the treatment outcome of oral homogeneous leukoplakia. *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology.* 1 de Outubro de 2021;33(4):447–52.
32. Natekar M, Raghuveer HP, Rayapati DK, Shobha ES, Prashanth NT, Rangan V, et al. A comparative evaluation: Oral leukoplakia surgical management using diode laser, CO₂ laser, and cryosurgery. *J Clin Exp Dent.* 1 de Junho de 2017;9(6):e779–84.