

Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”

UNIGRANRIO

Gabriella Torres

Julia Bittencourt de Medeiros

Rafaella Cosenza da Costa

**LASERS ND:YAG, ALEXANDRITE E FONTE DE LUZ NO TRATAMENTO DA
HIPERPIGMENTAÇÃO: ABORDAGENS E EFICÁCIA**

RIO DE JANEIRO

2025

Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza Herdy”
UNIGRANRIO

Gabriella Torres

Julia Bittencourt de Medeiros

Rafaella Cosenza da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza
Herdy”, como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Biomedicina.

Orientador: Suelen Pereira

RIO DE JANEIRO

2025

Gabriella Torres

Julia Bittencourt de Medeiros

Rafaella Cosenza da Costa

LASERS ND:YAG, ALEXANDRITE E FONTE DE LUZ NO TRATAMENTO DA HIPERPIGMENTAÇÃO: ABORDAGENS E EFICÁCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade do Grande Rio “Prof. José de Souza
Herdy”, como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel em Biomedicina.

Orientador: Suelen Pereira

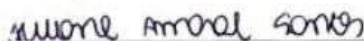
Aprovada em:

Rio de Janeiro, 17 de setembro de 2025.

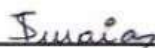
BANCA EXAMINADORA



Prof. Suelen Pereira (orientador)



Prof. Juliana Amaral Santos



Prof. Sofia Tavares Maia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Camadas da pele.....	3
Figura 2- Camadas da epiderme.....	3
Figura 3- Classificação dos fototipos da pele segundo Fitzpatrick.....	5
Figura 4- Cascata de eventos da melanogênese.....	7
Figura 5- Padrões clínicos do melasma.....	9
Figura 6- Representação da melanogênese.....	11
Figura 7- Lentigos solares.....	12
Figura 8- Comparativo entre tecnologias a laser e luz no tratamento das hiperpigmentações cutâneas.....	19
Figura 9- Efeito clínico do laser QS Nd: YAG em melasma (antes e depois).....	20
Figura 10- Percentual de melhora clínica no tratamento do melasma com Luz Intensa Pulsada (IPL).....	21
Figura 11- Efeito clínico do laser picossegundo 755nm em hiperpigmentações faciais	22
Figura 12- Redução do mMASI em pacientes com melasma tratados com Luz Intensa Pulsada.....	24
Figura 13- Comparação entre as tecnologias e a redução do escore médio mMASI e sua eficácia.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 A PELE E SUAS CAMADAS.....	2
1.2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA PIGMENTAÇÃO DA PELE.....	4
1.3 FISIOPATOLOGIA DAS HIPERPIGMENTAÇÕES.....	5
1.3.1 Hiperpigmentação pós-inflamatória.....	6
1.3.2 Melasma.....	8
1.3.3 Lentigos Solares.....	11
1.4 OS TIPOS DE LASERS.....	12
1.4.2 Modos de emissão e interação tecidual.....	13
1.4.3 Laser QS ND:YAG (1064 nm).....	14
1.4.4 Laser Alexandrite De Pulso Longo (755 nm).....	15
1.4.5 Luz Intensa Pulsada (IPL).....	17
2 METODOLOGIA.....	18
3 RESULTADOS.....	18
3.1 QS Nd:YAG (1064 nm).....	19
3.2 Laser Alexandrite de pulso longo (755 nm).....	21
3.3 Luz Intensa Pulsada (IPL).....	22
3.4 Estudo comparativo entre Nd:YAG e IPL.....	24
4 DISCUSSÃO.....	25
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS.....	29

LASERS ND:YAG, ALEXANDRITE E FONTE DE LUZ NO TRATAMENTO DA HIPERPIGMENTAÇÃO: ABORDAGENS E EFICÁCIA

Gabriella Torres
Julia Bittencourt de Medeiros
Rafaella Cozensa da Costa

RESUMO

A hiperpigmentação cutânea é um desafio recorrente na estética e na dermatologia, sobretudo pela dificuldade de alcançar resultados consistentes diante de fatores hormonais, inflamatórios e da exposição solar. Este TCC analisa qual tecnologia baseada em luz apresenta maior eficácia e segurança no tratamento das principais formas de hiperpigmentação, como melasma, hiperpigmentação pós-inflamatória e lentigos solares, condições que afetam diretamente a autoestima e o bem-estar dos indivíduos. Por meio de revisão bibliográfica, foram comparados o laser Nd:YAG, o laser Alexandrite e a luz intensa pulsada (IPL), avaliando seus mecanismos de ação, indicações clínicas e limitações terapêuticas. Os resultados mostram que o laser Nd:YAG se destaca em fototipos elevados e pigmentações profundas; o Alexandrite apresenta maior efetividade em manchas epidérmicas superficiais; enquanto a IPL se demonstra mais versátil para tratar hiperpigmentações leves, difusas ou de origem mista. Conclui-se que a escolha da tecnologia deve ser individualizada, considerando tipo de pele, profundidade da lesão e risco de recidiva. Além disso, o acompanhamento profissional adequado e a fotoproteção contínua são essenciais para potencializar os resultados e prevenir novas manchas.

Palavras-chave: Alexandrite. Hiperpigmentação. Laser Nd:YAG. Luz Intensa Pulsada. Melasma.

ABSTRACT

Cutaneous hyperpigmentation is a recurrent challenge in aesthetics and dermatology, particularly due to the difficulty of achieving consistent and long-lasting results in the presence of hormonal factors, inflammation, and sun exposure. This thesis analyzes which light-based technology offers greater efficacy and safety in treating the main types of hyperpigmentation, such as melasma, post-inflammatory hyperpigmentation, and solar lentigines—conditions that directly affect individuals' self-esteem and well-being. Through a literature review, the study compares three widely used technologies: the Nd:YAG laser, the Alexandrite laser, and intense pulsed light (IPL), assessing their mechanisms of action, clinical applications, and therapeutic limitations. The findings indicate that the Nd:YAG laser is most effective for higher phototypes and deeper pigmentations; the Alexandrite laser shows better results in superficial epidermal lesions; and IPL demonstrates versatility in treating mild, diffuse, or mixed hyperpigmentation. The study concludes that the selection of technology should be individualized, considering skin type, lesion depth, and risk of recurrence. Professional monitoring and continuous photoprotection are essential to optimize results and prevent new pigmentation.

Keywords: Alexandrite. Hyperpigmentation. Intense Pulsed Light. Laser Nd:YAG. Melasma.

1 INTRODUÇÃO

A busca por uma pele uniforme e livre de manchas tornou-se uma preocupação crescente entre pessoas de diferentes idades, incentivando o avanço de novas soluções na área estética. A hiperpigmentação, que consiste no acúmulo excessivo de melanina em determinadas regiões da pele, pode ser desencadeada por múltiplos fatores, como a exposição solar intensa, processos inflamatórios, alterações hormonais e o próprio envelhecimento cutâneo (Callender et al., 2011). Além do impacto visual, essa condição pode comprometer a autoestima e o bem-estar emocional dos indivíduos (CALLENDER et al., 2011).

No campo da dermatologia estética, o tratamento da hiperpigmentação ainda representa um desafio, pois requer técnicas que consigam uniformizar a tonalidade da pele sem causar efeitos indesejados. Nas últimas décadas, as tecnologias baseadas em luz, como os lasers, emergiram como alternativas eficazes para esse manejo (PASSERON, 2019).

Esses métodos atuam de forma seletiva nos pigmentos da pele, fragmentando a melanina acumulada e promovendo a regeneração celular, com mínimo dano aos tecidos vizinhos (Anderson & Parrish, 1983). A escolha do tratamento mais adequado, contudo, depende de diversos fatores, incluindo a profundidade da pigmentação, o fototipo cutâneo e o histórico do paciente (PASSERON, 2019).

Entre as opções mais utilizadas, destacam-se os lasers de picossegundos e nanossegundos, como o Nd:YAG Q-switched e o Alexandrite, que têm apresentado bons resultados na redução tanto de manchas superficiais quanto de pigmentações mais profundas, como o melasma e a hiperpigmentação pós-inflamatória (Passeron, 2019). Outro recurso amplamente utilizado é a luz intensa pulsada (LIP), que, além de atuar sobre as manchas, promove benefícios adicionais como a estimulação do colágeno e a melhora da textura cutânea (Lui et al., 2017).

Apesar da eficácia comprovada dessas tecnologias, é importante ressaltar que seu uso exige cautela, principalmente em pacientes com fototipos mais altos, que apresentam maior risco de efeitos adversos como hipopigmentação ou repigmentação paradoxal (Trivedi, Yang & Cho, 2017). Por isso, a personalização dos protocolos terapêuticos e o acompanhamento contínuo são fundamentais para garantir resultados seguros e satisfatórios (TRIVEDI; YANG; CHO, 2017).

A hiperpigmentação cutânea pode se manifestar em diferentes formas clínicas. Entre elas, o melasma é reconhecido como a mais prevalente, especialmente em mulheres, sendo frequentemente associado a fatores hormonais e à exposição solar (Miot et al., 2009). Outra condição de destaque é a hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH), que surge como resposta da pele a lesões, acne, processos inflamatórios ou intercorrências decorrentes de procedimentos estéticos (Markiewicz et al., 2022). Também são comuns as manchas senis, ou lentigos solares, relacionadas ao envelhecimento intrínseco associado ao dano cumulativo causado pela radiação ultravioleta, o que explica sua maior incidência em peles maduras (WANG et al., 2023).

Compreender a fisiopatologia de cada tipo de hiperpigmentação, assim como as particularidades individuais de cada paciente, é fundamental para a escolha do tratamento mais adequado, considerando que cada forma apresenta respostas distintas às tecnologias disponíveis (PASSERON, 2019).

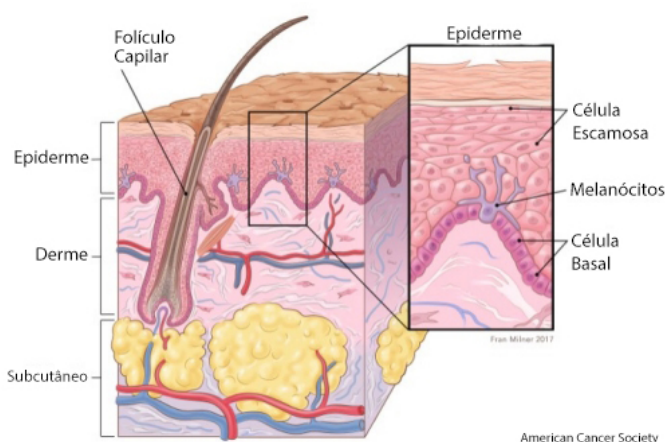
O presente estudo tem como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica, a eficácia dos lasers e outras fontes de luz no tratamento da hiperpigmentação cutânea, incluindo melasma, hiperpigmentação pós-inflamatória e manchas decorrentes do fotoenvelhecimento. Além de analisar a fisiopatologia das afecções cutâneas que envolvem a hiperpigmentação, investigar como diferentes fontes de luz atuam na hiperpigmentação e comparar resultados de diferentes Terapias à base de luz (PASSERON, 2019; MIOT et al., 2009; TRIVEDI; YANG; CHO, 2017).

1.1 A PELE E SUAS CAMADAS

A pele é considerada o maior órgão do corpo humano, sendo responsável por diversas funções dentre as quais se destacam a proteção contra atritos e entrada de microrganismos, além do seu papel na termorregulação e percepção sensorial (BOHJANEN, 2017).

Sua estrutura é dividida em três camadas principais: epiderme, derme e por fim hipoderme, também conhecida como tecido subcutâneo (figura 1).

Figura 1 - Camadas da pele

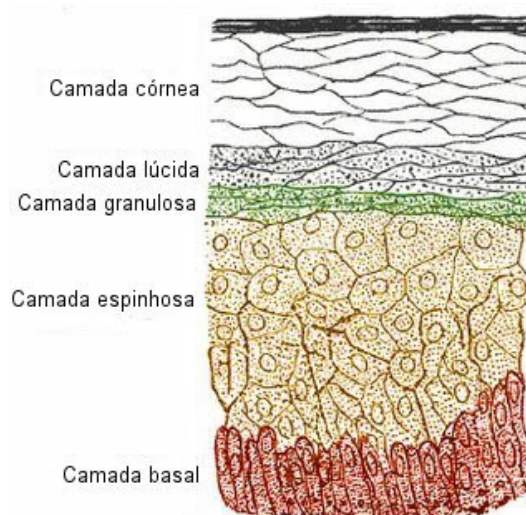


A imagem mostra a estrutura da pele humana, evidenciando as camadas epiderme, derme e tecido subcutâneo, bem como suas principais células e estruturas. INSTITUTO ONCOGUIA. A pele. São Paulo: Instituto Oncoguia, [s.d.].

A epiderme, camada mais superficial da pele, é constituída por um epitélio pavimentoso estratificado que abriga diferentes tipos celulares, como os queratinócitos, que são responsáveis pela produção de queratina, uma proteína essencial para a resistência e impermeabilidade da pele, os melanócitos, as células de Merkel e as células de Langerhans (Harris, 2018).

Estruturalmente, essa camada é organizada em cinco estratos epiteliais sobrepostos: córnea, lúcido, granulosa, espinhosa e basal (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014), (figura 2).

Figura 2 - Camadas da epiderme



A imagem mostra a estrutura da epiderme, mostrando suas camadas: córnea, lúcida, granulosa, espinhosa e basal.

A camada basal é a mais interna onde se encontram os queratinócitos e as células de Merkel, que atuam como receptores sensoriais. Os melanócitos também são encontrados nessa parte, sendo responsáveis pela síntese de melanina (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014). Em seguida encontra-se a camada espinhosa, formada por células pré-queratina e a Langerhans, que fazem a proteção do corpo (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014).

Já o estrato granuloso, é formado pelas camadas de queratinócitos mais desenvolvidos e filamentos de pré-queratina, enquanto o estrato lúcido, vindo logo abaixo, é exclusivo das regiões de pele grossa, como a planta dos pés, e formado por queratinócitos mortos. Por fim, o último extrato, conhecido como córneo, é composto por queratinócitos mortos que formam uma barreira protegendo a pele (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014).

A derme é a camada subjacente à epiderme e sua estrutura é dividida em derme papilar que é formada por tecido conjuntivo denso e tem as células chamadas de papilas dérmicas que ajudam na nutrição dos tecidos (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014). Ainda, há a derme reticular formada por fibras de colágeno tipo I e III e elastina que juntos compõem a matriz extracelular (MEC) responsável por manter a elasticidade e firmeza da pele (GONÇALVES, F. G. et al, 2022). Por último temos a hipoderme camada mais profunda da pele que atua como isolante térmico, reserva energética devido a gordura presente nele, além de servir também como proteção contra traumatismos (MARIEB; WILHELM; MALLAT, 2014).

1.2 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA PIGMENTAÇÃO DA PELE

A melanina é um pigmento produzido naturalmente pelos melanócitos, células localizadas na camada basal da epiderme responsável pela cor da pele, cabelos e olhos. Esse pigmento desempenha um papel importante na proteção contra danos cutâneos induzidos pela radiação solar, uma vez que atua como um filtro biológico capaz de absorver e dispersar a radiação ultravioleta (UV) (Brito A. N.; Araújo N. C.; Maciel E. P., 2022).

Assim, diante de maior exposição solar, ocorre o aumento da síntese de melanina, cujo principal objetivo é proteger o material genético presente no núcleo das células contra os efeitos nocivos da radiação UV. No entanto, exposições prolongadas ou intensas podem desencadear uma produção excessiva e disfuncional de melanina, contribuindo para o surgimento de afecções cutâneas, como as hiperpigmentações (Brito A. N.; Araújo N. C.; Maciel E. P., 2022).

No processo de melanogênese, são produzidos dois tipos principais de melanina: a eumelanina, que varia do marrom ao preto, e a feomelanina, com tonalidades entre vermelho e amarelo. A eumelanina predomina em indivíduos de pele e cabelos escuros, conferindo maior resistência à radiação solar e, portanto, maior fotoproteção. Já a feomelanina é característica de indivíduos de pele clara e cabelos ruivos, apresentando capacidade fotoprotetora. (VIDEIRA; MOURA; MAGINA, 2013).

A literatura descreve diferentes classificações de fototipos cutâneos (figura 3), baseadas na tabela de Fitzpatrick. Desenvolvida por um dermatologista chamado Thomas B. Fitzpatrick, essa classificação clínica se fundamenta na resposta clínica da pele à radiação UV. Os fototipos são classificados em seis categorias de (I a VI) e indicam tanto a tonalidade da pele quanto o grau de sensibilidade à radiação ultravioleta (MARESCA; FLORI; PICARDO, 2015).

Figura 3 - Classificação dos fototipos da pele segundo Fitzpatrick

Tipo de pele (fototipo)	Probabilidade de queimar	Capacidade de bronzeamento	Sensibilidade ao sol
Pele branca (I)	Sempre queima	Nunca bronzeia	Muito sensível ao sol
Pele branca (II)	Sempre queima	Bronzeia muito pouco	Sensível ao sol
Pele morena clara (III)	Queima moderadamente	Bronzeia moderadamente	Sensibilidade normal ao sol
Pele morena moderada (IV)	Queima pouco	Sempre bronzeia	Sensibilidade normal ao sol
Pele morena escura (V)	Queima raramente	Sempre bronzeia	Pouco sensível ao sol
Pele negra (VI)	Queima raramente	Totalmente pigmentada	Minimamente sensível ao sol

A imagem mostra a tabela de Fitzpatrick de acordo com os fototipos de pele do I até o VI. Adaptado e Disponível em: SOCIEDADE BRASILEIRA DE DERMATOLOGIA (2024).

1.3 FISIOPATOLOGIA DAS HIPERPIGMENTAÇÕES

A fisiopatologia das hiperpigmentações cutâneas envolve alterações nos mecanismos de produção, distribuição e degradação da melanina, pigmento responsável pela coloração da pele. Essas alterações podem decorrer de fatores genéticos, hormonais, inflamatórios ou da exposição crônica à radiação ultravioleta, que estimulam de forma anormal os melanócitos, resultando em aumento localizado ou difuso da pigmentação. (VIDEIRA; MOURA; MAGINA, 2013).

Entre as principais manifestações clínicas de hiperpigmentação destacam-se a hiperpigmentação pós-inflamatória, o melasma e os lentigos solares, cada uma com etiologia, características histológicas e respostas terapêuticas específicas. A compreensão dos processos fisiopatológicos subjacentes a essas condições é fundamental para a correta avaliação clínica e para o desenvolvimento de abordagens terapêuticas seguras e eficazes no âmbito da Biomedicina estética (VIDEIRA; MOURA; MAGINA, 2013).

1.3.1 Hiperpigmentação pós-inflamatória

A hiperpigmentação pós-inflamatória (HPI) é frequentemente observada em indivíduos com fototipos elevados, sendo desencadeada por processos inflamatórios ou danos cutâneos. Nessa condição, surgem áreas escurecidas nas regiões afetadas, cuja intensidade e duração estão diretamente associadas à quantidade de melanina produzida na pele. (BERKE; MAIBACH, 2023).

A inflamação é o primeiro passo no processo fisiopatológico. Quando a pele está inflamada, queratinócitos danificados, mastócitos e células inflamatórias liberam mediadores bioativos, como prostaglandinas, leucotrienos, óxido nítrico, histamina e citocinas (IL-1, IL-6, IL-18, IL-33) e fatores de necrose tumoral (TNF- α) (ALALUF et al., 2020).

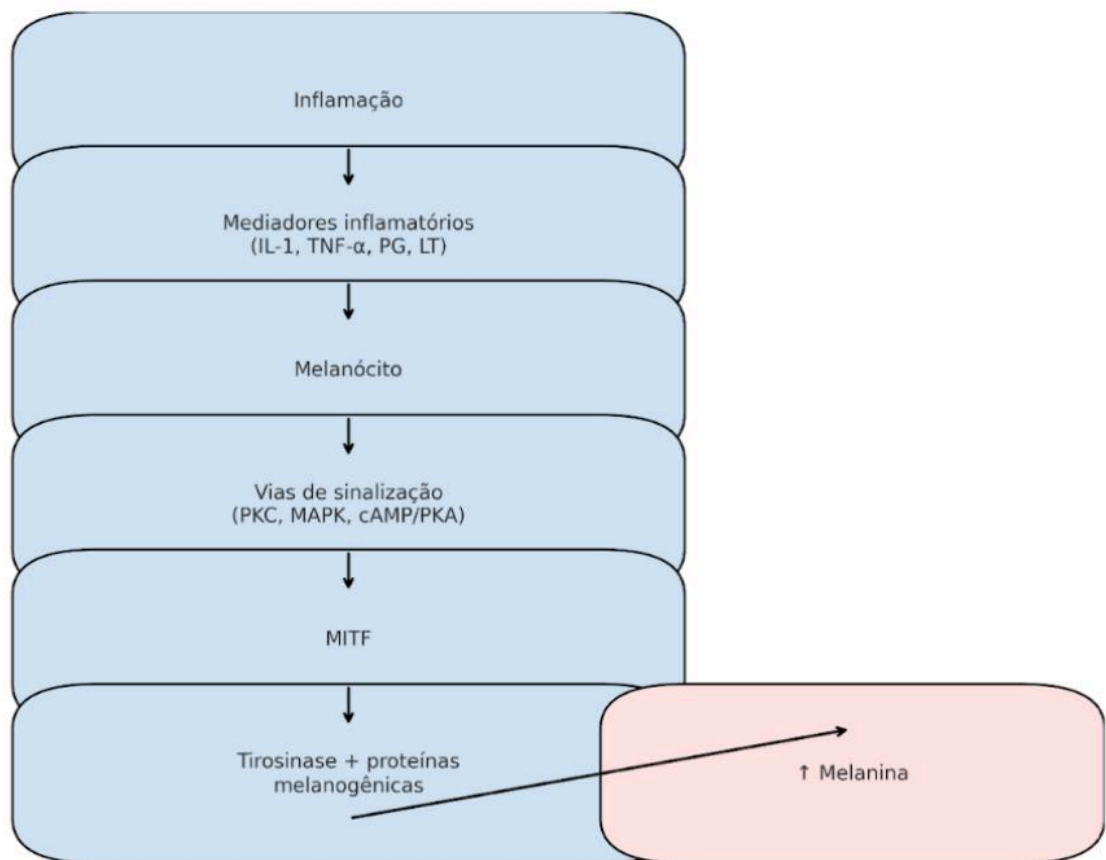
Tais mediadores interagem com os melanócitos por meio de receptores específicos, ativando diferentes cascatas de sinalização intracelular, como PKC, MAPK e CAMP/PKA. Esses mecanismos culminam na ativação do fator de transcrição MITF (Microphthalmia-associated Transcription Factor), responsável pela regulação da expressão da tirosinase e de outras proteínas essenciais à melanogênese. (PARK et al., 2024; BERKE; MAIBACH, 2023).

Além de estimular diretamente a atividade dos melanócitos, a inflamação também aumenta o estresse oxidativo que leva à produção de espécies reativas de oxigênio (ROS).

Essas moléculas não apenas causam danos celulares, mas também funcionam como sinalizadores que estimulam ainda mais a produção de melanina.

A radiação ultravioleta, comumente associada ao processo inflamatório, intensifica esse mecanismo ao induzir os queratinócitos a liberar maiores quantidades de α -MSH e endotelina-1, perpetuando a pigmentação (ZHANG et al., 2021).

Figura 4 - Cascata de eventos da melanogênese



A imagem mostra a cascata de sinalização na hiperpigmentação pós-inflamatória, ilustrando as etapas desde o processo inflamatório até o aumento da síntese de melanina pelos melanócitos. Figura adaptada de Gao & Xiang (2025) e Imokawa (2013)

É de suma importância ressaltar que a quantidade de melanina presente nos tecidos cutâneos influencia diretamente a manifestação clínica da hiperpigmentação pós-inflamatória (HPI). Quando o pigmento se concentra apenas na epiderme, principalmente nas células basais e suprabasais dos queratinócitos, pode-se observar uma coloração marrom-avermelhada que tende a desaparecer rapidamente. Contudo, nos casos de inflamação severa, a membrana basal epidérmica pode acabar se rompendo, fazendo

com que os pigmentos atinjam a derme e sejam fagocitados por melanófagos. Isso ocasiona em uma pigmentação cinza ou azulada, mais persistente e difícil de tratar (BERKE; MAIBACH, 2023).

Neste contexto, estudos recentes mostram a importância do microambiente dérmico na hiperpigmentação. Sendo assim, os fibroblastos, quando ativados, liberam mediadores capazes de estimular de forma direta os melanócitos, promovendo o aumento na síntese de melanina. Além disso, pesquisas também indicam que alterações genéticas e epigenéticas podem contribuir para uma maior suscetibilidade à hiperpigmentação em indivíduos com fototipos mais altos. (GAO; XIANG, 2025; LEE et al., 2018).

A hiperpigmentação pós-inflamatória (HPI) é um resultado da resposta integrada do corpo à inflamação, estresse oxidativo, interação entre a epiderme e derme e predisposição genética. Para desenvolver tratamentos mais efetivos que atuem na redução da atividade, é necessário conhecer em detalhes esses mecanismos fisiológicos. Isso é fundamental para o combate da hiperpigmentação pós-inflamatória. (BERKE; MAIBACH, 2023; GAO; XIANG, 2025).

Essa afecção cutânea é uma resposta comum da pele quando se tem alguma inflamação ou lesões cutâneas. Pode se manifestar em vários tipos de pele e em qualquer faixa etária, porém tendem a aparecer em pessoas com o tom de pele mais escuro, fototipos III e VI na escala de Fitzpatrick (figura 3) devido ao aumento de melanina na região afetada. Pode ser desencadeada devido a uma acne, agressões cutâneas e eczema (LAWRENCE, Elizabeth; SYED, Hasnain A.; AL ABOUD, Khalid M).

1.3.2 Melasma

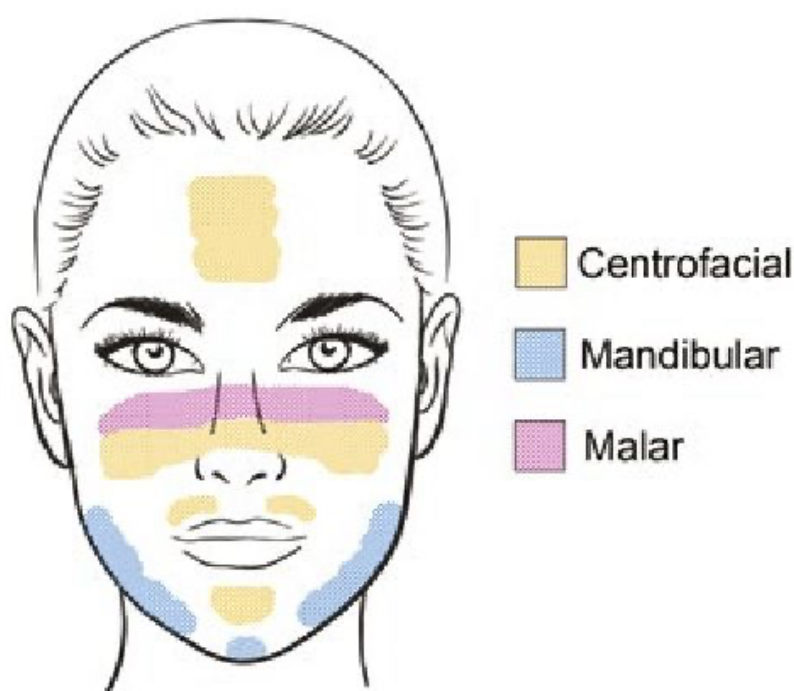
O melasma é uma afecção cutânea caracterizada pela alteração da melanogênese de modo que haja acúmulo de melanina, que por sua vez, favorece o aparecimento de manchas castanhas na face, onde se tem uma maior exposição solar, sendo assim, o melasma pode aparecer em algumas regiões do corpo, como na face, no colo e no antebraço (LEMOS, 2020). Essa hiperpigmentação é mais comum em mulheres entre 25-35 anos e de fototipos entre 3-5 (LEMOS, 2020).

Os principais fatores que podem provocar essa resposta são fatores genéticos, hormonais, idade fértil e exposição solar (ABDALLA, 2021). Ainda vale destacar que o melasma pode ser caracterizado de três formas distintas: I epidérmico, caracterizado por manchas castanhas, com pigmento regular e as manchas ficam uniformes na camada

superficial da pele; II dérmico, apresentando cor acinzentada/azulada, com o pigmento irregular próximo aos vasos superficiais e profundos ou III misto, que reúne as características das formas epidérmicas e dérmicas (BORGES, 2021).

O melasma também pode ser classificado com base na localização das manchas na face. Quando afeta a parte central do rosto como, testas, bochechas, nariz e lábio superior é chamado de centrofacial, já a parte do malar afeta principalmente as bochechas e o dorso nasal, e por fim, temos o melasma mandibular que acomete a região da mandíbula e queixo (DOOLAN; GUPTA, 2021).

Figura 5 - Padrões clínicos do melasma



A imagem mostra onde estão localizados os melasmas centrofacial, malar e mandibular no rosto de uma mulher. DOOLAN; GUPTA, 2021.

Essa afecção cutânea pode afetar tanto a camada mais superficial epiderme quanto a derme, camada mais profunda. Nas áreas mais afetadas pode-se observar sinais de envelhecimento da pele, causados pela radiação ultravioleta (RUV). Com isso, há o aumento dos mastócitos, glândulas sebáceas, mudanças na membrana basal, elastose solar e o aumento do fluxo sanguíneo na região (BRITO et al., 2023).

Segundo Brito et al. (2023), os fibroblastos liberam fatores que estão ligados ao desenvolvimento do melasma. Quando a pele é exposta ao sol, os fibroblastos entram em

um processo de senescência liberando proteínas que estão associadas à melanogênese, como mostram os estudos de Lemos (2020). Sendo assim, os fibroblastos perdem sua capacidade de divisão, o que intensifica o envelhecimento da pele (LEMOS, 2020). Portanto, células endoteliais vão produzir um pigmento que pode influenciar na coloração da pele, chamado de endotelina-1 (BRITO et al., 2023).

A exposição solar é um dos principais fatores que contribui para a piora do melasma, como destaca Handel (2013). O aumento das enzimas chamadas metaloproteinase, da microvasculatura e presença de células como mastócitos que liberam histamina, linfócitos CD4+ e macrófagos, causam uma inflamação na derme contribuindo para o excesso de pigmentação (BRIANEZI, 2016).

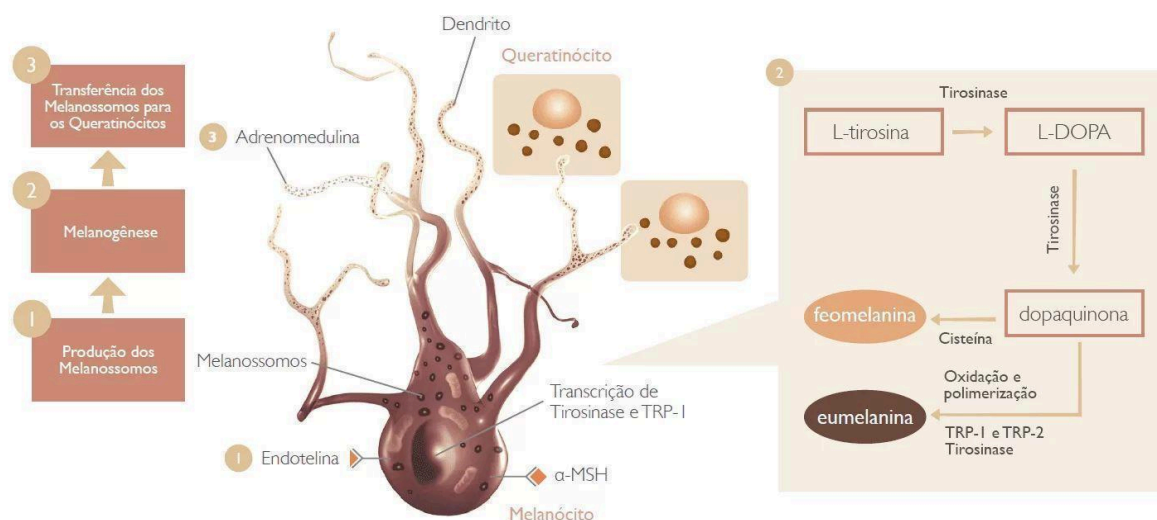
As áreas do rosto mais afetadas pelo melasma são as partes acima dos lábios, bochechas e testa, por serem locais com grande quantidade de glândulas sebáceas. As glândulas sebáceas vão sintetizar vitamina D e liberar substâncias inflamatórias e fatores de crescimento que estimulam os melanócitos (BRITO et al., 2023).

A membrana basal apresenta danos e interrupções, pois observa-se uma projeção dos melanócitos em direção à derme chamada de melanócitos em pêndulo. Isso ajuda o contato com substâncias liberadas pelos fibroblastos e pelas células inflamatórias (BRITO et al., 2023). Com a diminuição do colágeno IV há um aumento de enzimas que vão degradar proteínas favorecendo um ambiente inflamatório e oxidativo. Isso leva a formação de novos vasos sanguíneos e a liberação de citocinas inflamatórias, sendo que foi notado o um aumento de proteínas como c-kit e stem cell factor, que vão estimular a produção da melanina mesmo sem a presença do hormônio alfa-MSH (BRITO et al., 2023).

Diversos estudos demonstram que a pele afetada pelo melasma apresenta um aumento na concentração de melanina, sem que ocorra elevação no número de melanócitos. No entanto, essas células apresentam tamanho ampliado e contêm maior quantidade de melanossomas, conforme descrito por Grimes (2005 apud IKINO, 2013).

Além disso, observa-se que os melanócitos mostram um desenvolvimento anormal, com dendritos mais evidentes e elevada atividade funcional. Em relação aos melanossomas, verifica-se que são transferidos com maior frequência para os queratinócitos e sofrem menor degradação (BRIANEZI, 2016).

Figura 6 - Representação da melanogênese



A imagem mostra um esquema representativo do processo de melanogênese, mostrando as etapas de produção dos melanossomos, síntese de melanina e transferência para os queratinócitos. (SOUZA et al, 2018).

1.3.3 Lentigos Solares

Segundo (HAKIM, Benazir *et al.*, 2023) existem muitas hipóteses sobre os mecanismos fisiopatológicos dos lentigos solares. Uma dessas hipóteses está relacionada com a exposição à radiação UVB, que provoca danos nos queratinócitos desencadeando o aumento da expressão de receptores e fatores, como receptores endoteliais (EDN-1 e EDNBRs), o fator de células-tronco (SCF) e seu receptor c-KIT, além do fator de necrose tumoral alfa (TNF- α). A estimulação repetida desses elementos leva à ativação exacerbada dos melanócitos, contribuindo para o aumento das manchas (HAKIM, Benazir *et al.*, 2023).

Por fim, alguns estudos recentes sugerem que queratinócitos alterados podem liberar citocinas, devido a perda de sulfato de heparana na junção dermoepidérmica, causada pela ativação da enzima heparanase, resultando em uma hiperplasia melanocítica. O acúmulo anormal de melanócitos está relacionado ao aparecimento dos lentigos solares, causando o aumento da síntese de melanina (HAKIM, Benazir *et al.*, 2023).

Os lentigos solares (figura 7) são hiperpigmentações cutâneas que afetam pessoas com o tom de pele mais claro e costumam surgir após os 50 anos de idade. Possui uma coloração castanho-claro e tem predominância no dorso das mãos, antebraço, face e canelas expostos ao sol. Essas lesões têm diâmetro de 1-2 milímetros e estão ligadas à

exposição solar ao longo dos anos, pois a radiação ultravioleta acaba estimulando a multiplicação dos melanócitos, o que faz com que essas manchas apareçam e aumentem ao longo dos anos (PRAETORIUS et al., 2014).

Figura 7 - Lentigo Solar



A imagem mostra o lentigo solar em região facial, caracterizado por manchas de hiperpigmentação decorrentes da exposição crônica à radiação ultravioleta. CIDP Brasil. Sardas, Lentigo, melanose solar... desvendando esses termos. Pesquisa Clínica, 21 abr. 2025.

1.4 OS TIPOS DE LASERS

O desenvolvimento dos lasers e de outras fontes de luz revolucionou a dermatologia estética, tornando possível o tratamento cada vez mais específico de diferentes alterações pigmentares e vasculares. O termo laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) refere-se a um feixe de radiação luminosa com propriedades singulares: monocromaticidade, coerência espacial e temporal, colimação e alta intensidade. Essas características permitem que a energia seja direcionada de forma seletiva a estruturas-alvo na pele, como melanina, oxi-hemoglobina ou água, promovendo efeitos terapêuticos controlados sem destruição indiscriminada do tecido adjacente (ANDERSON; PARRISH, 1983).

Nesse contexto, o princípio físico fundamental que explica a atuação dessas tecnologias é a fototermólise seletiva. Nesse processo, a energia luminosa é absorvida preferencialmente por cromóforos específicos, transformando-se em calor ou energia mecânica controlada, o que causa a destruição seletiva do alvo sem comprometer os tecidos vizinhos. A eficácia e a segurança do procedimento dependem da correta

combinação entre comprimento de onda, fluência, tempo de pulso e intervalo entre disparos, pois esses parâmetros determinam a profundidade de penetração e a seletividade da luz (TRIVEDI; YANG; CHO, 2017).

1.4.1 Lasers ablativos e não ablativos

Os dispositivos utilizados na prática dermatológica podem ser classificados da seguinte maneira, Ablativo: Atuam removendo parcial ou totalmente a epiderme e parte da derme superficial, promovendo vaporização tecidual e estimulando neocolagênese por meio da cicatrização. Apesar de proporcionarem resultados rápidos em rejuvenescimento e cicatrizes, apresentam maior risco de complicações, como eritema persistente, infecção secundária e hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH), além de exigir tempo de recuperação prolongado (GRIMES; CALLENDER, 2023).

Os lasers não ablativos atuam sem danificar a epiderme, concentrando sua energia nas camadas dérmicas, onde agem de forma seletiva sobre pigmentos ou estruturas vasculares. Entre esses dispositivos, destaca-se o Nd:YAG 1064 nm em modo Q-switched, amplamente empregado no tratamento do melasma por promover menor inflamação e oferecer maior segurança em pacientes com fototipos elevados (PASSERON, 2019; KROON et al., 2020).

Vale ressaltar que essa classificação não é absoluta. Dispositivos fracionados podem combinar características de lasers ablativos e não ablativos, gerando microzonas de coagulação térmica intercaladas por tecido íntegro, o que aumenta a eficácia do tratamento ao mesmo tempo em que reduz o tempo de recuperação (ZALESKI-LARSEN; FABI, 2016).

1.4.2 Modos de emissão e interação tecidual

Outro ponto importante na comparação dos dispositivos é o modo de emissão da energia: Lasers de pulso longo concentram sua ação em efeitos térmicos, sendo indicados para alvos como vasos sanguíneos ou pigmentos mais profundos (ANDERSON; PARRISH, 1983).

Lasers Q-switched (QS) emitem pulsos ultracurtos e de alta potência, promovendo efeito fotoacústico que fragmenta melanossomos em partículas menores, posteriormente eliminadas por macrófagos, preservando estruturas adjacentes. Essa característica explica

sua ampla utilização no tratamento de melasma e de tatuagens (ZHU; ZHAO; DONG, 2022).

Dispositivos fracionados emitem energia em microcolunas, criando áreas de coagulação e preservando tecido saudável entre elas, acelerando o processo de reparo tecidual. A Luz Intensa Pulsada (IPL), por sua vez, emite uma radiação policromática, não coerente e não colimada em faixa espectral ampla (500–1200 nm). Por meio de filtros de corte, é possível selecionar comprimentos de onda específicos, permitindo tratar diferentes alvos. Além disso, o uso de sub-pulsos sucessivos possibilita maior controle térmico, aumentando a margem de segurança (LUI et al., 2017).

1.4.3 Laser QS ND:YAG (1064 nm)

O laser QS-Nd:YAG, com comprimento de onda de 1064 nm, é amplamente descrito como uma tecnologia eficaz no tratamento do melasma, devido à sua alta afinidade pela melanina. Esse comprimento de onda possibilita maior penetração na pele, alcançando camadas dérmicas onde o pigmento pode estar acumulado, sem causar danos significativos à epiderme ou absorção relevante pela hemoglobina (ARORA; SAXENA; JAIN, 2012).

Sua ação ocorre por meio da fototermólise seletiva subcelular, fragmentando melanossomos de forma controlada, sem comprometer de maneira significativa a estrutura celular (ANDERSON; PARRISH, 1983).. Além do efeito direto sobre a pigmentação, o QS-Nd:YAG também pode estimular a síntese de colágeno na derme, o que contribui para a melhora da textura cutânea e da uniformidade da pele (PASSERON, 2019).

A soma dos efeitos promovidos pelo QS-Nd:YAG fragmentação seletiva dos melanossomos, possível impacto sobre estruturas vasculares superficiais e estímulo dérmico favorece tanto a atenuação da hiperpigmentação quanto a qualidade global da pele. Nesse contexto, esse laser passou a ser considerado uma das principais tecnologias para o tratamento do melasma, frequentemente citado em revisões e adotado na prática clínica atual (PASSERON et al., 2019; GOKALP et al., 2022).

Além desses aspectos, o Nd:YAG 1064 nm se destaca por três características principais: profundidade de penetração, seletividade pelo pigmento e segurança em diferentes fototipos. O comprimento de onda mais longo atravessa a epiderme com menor absorção superficial, atingindo regiões dérmicas onde a melanina pode estar depositada, o

que explica sua indicação em melasma dérmico e misto, sobretudo em pacientes de pele mais escura (PASSERON et al., 2019; GOKALP et al., 2022).

No modo Q-switched, os pulsos ultracurtos atuam por efeito fotoacústico, fragmentando melanossomos em partículas menores, posteriormente eliminadas por macrófagos, preservando a integridade celular. Esse mecanismo diferencia o Nd:YAG de lasers de pulso longo, cuja ação é predominantemente térmica (ZALESKI-LARSEN; FABI, 2016).

Apesar dessas vantagens, o Nd:YAG não é isento de limitações. A necessidade de múltiplas sessões, a possibilidade de recorrência do melasma após a suspensão do tratamento e o risco de hipopigmentação em confete (confetti hypopigmentation) quando parâmetros não são ajustados corretamente, são fatores descritos em diversas revisões (POLNIKORN, 2014; GOKALP et al., 2022). Esses aspectos ressaltam a importância de protocolos individualizados, ajustes cautelosos de fluência e intervalos adequados entre sessões, além da adoção rigorosa da fotoproteção (TRIVEDI; YANG; CHO, 2017).

Portanto, o QS-Nd:YAG consolidou-se como um dos recursos mais importantes no manejo do melasma, unindo eficácia na redução da pigmentação com um perfil de segurança favorável em fototipos altos, embora ainda apresente desafios quanto à durabilidade dos resultados (PASSERON et al., 2019; GOKALP et al., 2022).

1.4.4 Laser Alexandrite De Pulso Longo (755 nm)

O laser Alexandrite de pulso longo, com comprimento de onda de 755 nm e pulsos na escala de milissegundos, atua a partir do princípio da fototermólise seletiva, sendo a melanina o seu principal cromóforo. Essa característica permite que seja amplamente utilizado no manejo de alterações pigmentares cutâneas, uma vez que promove a destruição seletiva de pigmentos sem comprometer significativamente os tecidos adjacentes (CHEN; KE, 2023). Entre suas principais indicações estão os lentigos solares e as efélides, nos quais se observa melhora estética consistente após o tratamento, com elevado grau de satisfação dos pacientes e baixa taxa de recorrência imediata (LEE et al., 2016).

No contexto do melasma, o laser Alexandrite de pulso longo tem sido descrito como uma alternativa terapêutica promissora, sobretudo em padrões epidérmicos e mistos, em que se observa clareamento da pele e redução dos índices de gravidade da doença. Embora os resultados sejam animadores, sua utilização requer cautela, já que a

eficácia tende a ser menor em casos de melasma dérmico, onde o acúmulo de melanina em profundidade reduz a absorção efetiva da energia luminosa (GÜDÜK et al., 2023). Além disso, a literatura sugere que a associação do laser a terapias tópicas despigmentastes, como hidroquinona ou ácido tranexâmico, pode potencializar os efeitos obtidos e contribuir para a manutenção dos resultados a longo prazo (SARKAR et al., 2017).

Apesar de sua eficácia, o risco de hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH) permanece como uma das limitações mais relevantes, sobretudo em pacientes com fototipos mais elevados, nos quais a maior concentração de melanina aumenta a susceptibilidade a respostas inflamatórias exacerbadas (HO et al., 2011). Esse efeito adverso exige ajustes criteriosos dos parâmetros utilizados, como o tempo de pulso e a fluência, além do uso de sistemas de resfriamento cutâneo para proteção da epiderme. Estudos indicam que durações de pulso mais longas permitem reduzir o pico térmico e, conseqüentemente, minimizar o risco de PIH, sem comprometer a eficácia terapêutica (CHEN; KE, 2023).

Outro ponto importante é a necessidade de fotoproteção rigorosa antes e após o tratamento, uma vez que a exposição solar pode agravar a pigmentação e comprometer os resultados obtidos. A realização de testes prévios em áreas discretas também tem sido recomendada, principalmente em pacientes de fototipos IV a VI, para avaliar a tolerância individual e reduzir o risco de complicações (GÜDÜK et al., 2023). Ainda, deve-se destacar que a resposta clínica tende a ser mais previsível em pigmentações epidérmicas superficiais, enquanto lesões dérmicas apresentam maior resistência, reforçando a importância da avaliação individualizada de cada caso (LEE et al., 2016).

Assim, o laser Alexandrite de pulso longo configura-se como uma ferramenta terapêutica eficaz e segura no tratamento das hiperpigmentações, desde que utilizado de forma criteriosa e associado a medidas adjuvantes de prevenção de recidiva e complicações. A literatura recente reforça sua utilidade em pigmentações epidérmicas, sobretudo em lentigos solares e melasma, embora ressalte a necessidade de cautela em pacientes com fototipos elevados devido ao risco de hiperpigmentação pós-inflamatória (CHEN; KE, 2023; GÜDÜK et al., 2023).

Além disso, evidências apontam que protocolos combinados, como a associação com agentes tópicos despigmentastes, podem potencializar os resultados e reduzir a taxa de recorrência, representando uma estratégia promissora (SARKAR et al., 2017). Ainda que os resultados clínicos sejam consistentes, há demanda por mais ensaios clínicos

randomizados e de longo prazo para padronizar parâmetros de uso e consolidar o papel do Alexandrite de pulso longo no manejo das hiperpigmentações (CHEN; KE, 2023; LEE et al., 2016; GÜDÜK et al., 2023; SARKAR et al., 2017).

1.4.5 Luz Intensa Pulsada (IPL)

A luz intensa pulsada (IPL) é uma tecnologia baseada em lâmpada de xenônio que emite radiação policromática, não coerente e não colimada, abrangendo um espectro de 500 a 1200 nm. Diferente dos lasers, que operam em um único comprimento de onda, a IPL permite a utilização de filtros de corte, que selecionam faixas específicas do espectro para direcionar a energia conforme o alvo desejado e o fototipo do paciente. Além disso, parâmetros como fluência, duração do pulso e número de sub-pulsos podem ser ajustados, oferecendo grande versatilidade terapêutica (ARORA; SAXENA; JAIN, 2012; LUI et al., 2017).

O princípio de funcionamento da IPL é a fototermólise seletiva, em que a energia luminosa é absorvida preferencialmente por cromóforos-alvo, como a melanina e a oxi-hemoglobina, sendo convertida em calor. Essa absorção seletiva permite fragmentar melanossomos, reduzir pigmentações superficiais e atuar sobre componentes vasculares associados, o que pode ser relevante no melasma. Ao mesmo tempo, há estímulo indireto à remodelação dérmica, com relatos de melhora da textura cutânea e uniformidade do tom da pele (TRIVEDI; YANG; CHO, 2017; LIU; ZHOU; CAI, 2015).

No manejo das alterações pigmentares, a IPL tem mostrado maior eficácia em casos de melasma epidérmico e discromias superficiais, além de desempenhar papel importante no tratamento de lesões pigmentadas benignas, como os lentigos solares. Revisões recentes destacam que, nessas condições, a tecnologia apresenta um perfil de segurança favorável e eventos adversos geralmente leves e transitórios, como eritema e edema discretos (WINSTANLEY et al., 2012; MARDANI et al., 2025).

Entretanto, algumas limitações são descritas. Em pacientes de fototipos médios e altos, a melanina epidérmica atua como cromóforo competitivo, aumentando o risco de hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH). Para reduzir este risco, recomenda-se o uso de filtros de corte mais altos, protocolos de sub-pulsos fracionados, intervalos adequados entre as sessões e o emprego de sistemas eficazes de resfriamento epidérmico. Além disso, a fotoproteção rigorosa antes e após o tratamento é indispensável (MAHÉ et al., 2022).

A literatura descreve a IPL como menos precisa do que os lasers convencionais pelo caráter policromático e maior dispersão, mas ao mesmo tempo mais flexível para endereçar múltiplos componentes clínicos em uma mesma sessão, incluindo pigmento, vasos superficiais e sinais de fotoenvelhecimento. Essa versatilidade faz com que a IPL seja indicada quando se busca uma abordagem mais global da pele, ainda que com eficácia mais limitada em pigmentações profundas ou em melasma refratário (LUI et al., 2017; LIU; ZHOU; CAI, 2015).

Portanto, a IPL ocupa posição relevante no manejo das discromias cutâneas, especialmente quando o pigmento é superficial e há participação vascular associada. Sua indicação deve considerar o fototipo, a profundidade da pigmentação e a propensão à recidiva, fatores determinantes para a escolha de parâmetros seguros e protocolos individualizados (LUI et al., 2017).

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa exploratória, de abordagem qualitativa, realizou uma revisão bibliográfica sobre o uso de lasers e luz pulsada no tratamento das hiperpigmentações cutâneas. A busca foi conduzida nas bases PubMed, SciELO e Google Acadêmico, incluindo artigos em português e inglês. Selecionaram-se estudos que abordavam melasma, hiperpigmentação pós-inflamatória e manchas por fotoenvelhecimento, além do uso de diferentes tecnologias a laser. A análise permitiu comparar os dispositivos e identificar os lasers mais eficazes para cada tipo de hiperpigmentação.

3 RESULTADOS

O presente capítulo reúne e analisa os resultados encontrados nos estudos selecionados, apresentando de forma comparativa o desempenho das principais tecnologias a laser e de luz utilizadas no tratamento das hiperpigmentações cutâneas. São descritos os efeitos clínicos observados nos protocolos com laser QS Nd:YAG, laser Alexandrite de pulso longo e Luz Intensa Pulsada (IPL), destacando a redução de índices como o mMASI, a melhoria do padrão pigmentário e a segurança dos procedimentos.

Os achados também permitem compreender como cada tecnologia se comporta frente a diferentes tipos de pigmentação, superficial, dérmica ou mista, além de evidenciar vantagens e limitações específicas, como profundidade de ação, seletividade pela melanina e risco de hiperpigmentação pós-inflamatória. Dessa forma, este capítulo

apresenta uma síntese clara e fundamentada dos resultados clínicos discutidos na literatura recente, servindo de base para as reflexões posteriores (ARORA; SAXENA; JAIN, 2012).

Figura 8 - Comparativo entre tecnologias a laser e luz no tratamento das hiperpigmentações cutâneas

TECNOLOGIA	COMPRIMENTO DE ONDA	MECANISMO DE AÇÃO	INDICAÇÕES PRINCIPAIS	VANTAGENS	LIMITAÇÕES/RISCOS
QS ND:YAG 	1064nm (alta penetração dérmica)	Fototermólise seletiva subcelular; fragmenta melanossomos; efeito vascular e estímulo de colágeno	Melasma dérmico; misto; melhora de textura cutânea	Segurança relativa em fototipos altos; atinge camadas profundas; melhora colágeno	Pode necessitar múltiplas sessões; resultados variam conforme a profundidade do pigmento
LASER ALEXANDRITE DE PULSO LONGO 	755nm (afinidade pela melanina)	Fototermólise seletiva; destruição de pigmentos epidérmicos/ mistos	Lentigos solares; efélides; melasma epidérmico/misto	Resultados consistentes em lesões epidérmicas; melhora estética visível	Risco de hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH), especialmente em fototipos altos
LUZ INTENSA PULSADA (IPL) 	500-1200nm (policromática, ajustável)	Fototermólise seletiva da melanina e hemoglobina; estímulo indireto de remodelação dérmica	Melasma epidérmico; lentigos solares ; lesões pigmentadas benignas	Versátil, parâmetros ajustáveis; boa aceitação clínica; atua em pigmentos + componente vascular	Maior risco de recidiva; PIH em fototipos altos; eficácia menor em pigmento dérmico

A imagem mostra o comparativo dos lasers e fonte de luz. Adaptado de Arora; Saxena; Jain (2012); Chen; Ke (2023); Trivedi; Yang; Cho (2017); Mardani et al. (2025).

3.1 QS Nd:YAG (1064 nm)

Em estudo clínico conduzido por Beyzaee et al. (2021), o laser QS Nd:YAG (1064 nm) apresentou resultados expressivos na melhora do melasma. Neste trabalho foi utilizado o escore mMASI para avaliar a evolução clínica dos pacientes. O mMASI “modified Melasma Area and Severity Index” é uma versão adaptada do índice original MASI (Melasma Area and Severity Index) que exclui o componente “homogeneidade” devido à dificuldade de padronização na avaliação visual (Rodrigues et al., 2016).

O cálculo do mMASI considera basicamente duas variáveis principais: a área acometida (A) e o grau de escurecimento ou pigmentação (D) nas quatro regiões da face (testa, malar direito, malar esquerdo e mento), atribuindo-se ponderações regionais (por exemplo, 0,3 da face para testa e malar, 0,1 para mento) (Rodrigues et al., 2016). Essa simplificação tornou o índice mais prático, confiável e sensível à mudança clínica (Alam et al., 2017). No referido estudo, o mMASI médio caiu de 7,3 para 3,6, o que representa aproximadamente 50% de redução e traduz uma eficácia global estimada em 60%.

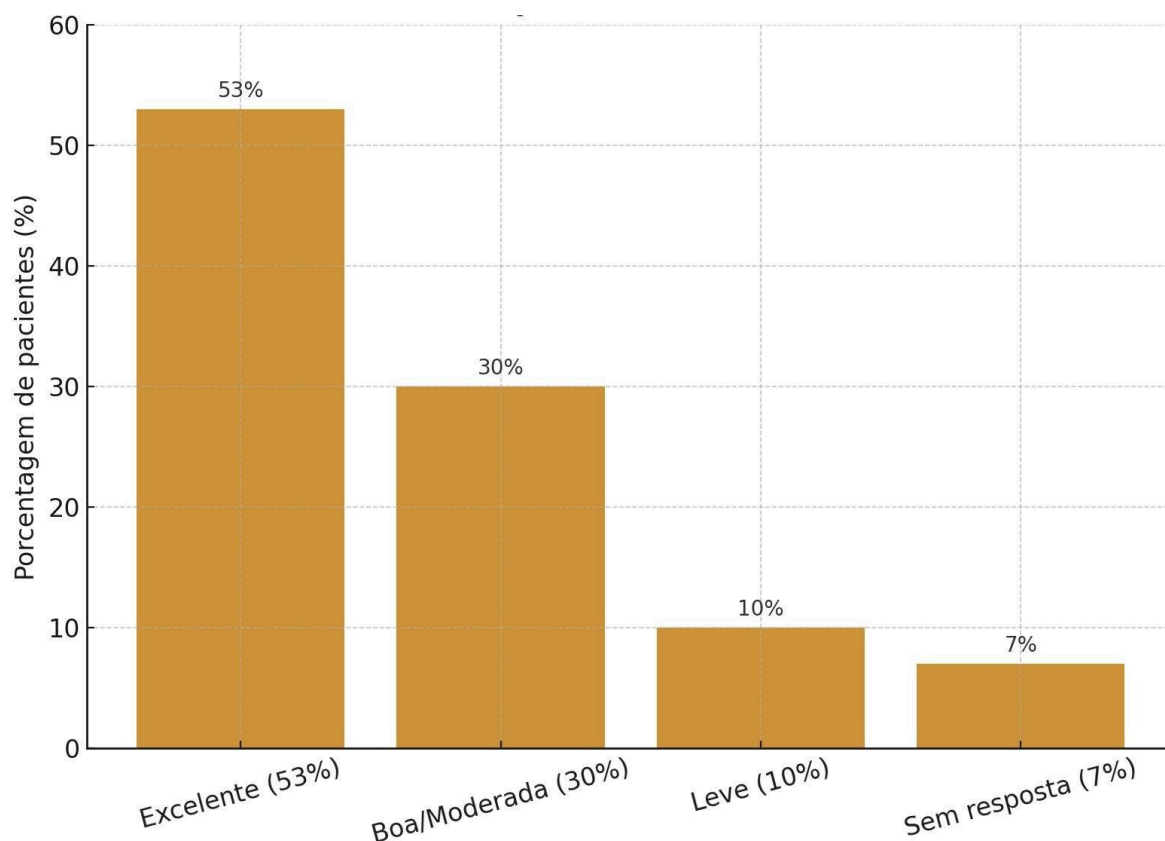
Em relação à resposta clínica, 53% das pacientes apresentaram melhora excelente, 30% melhora moderada, 10% resposta leve e 7% não apresentaram resposta significativa. Além da redução da pigmentação, foram relatadas melhorias na uniformidade da textura cutânea e estímulo ao colágeno dérmico.

Figura 9 - Efeito clínico do QS ND: YAG em melasma (antes e depois)



A imagem mostra o resultado clínico do tratamento de melasma utilizando o laser QS Nd:YAG, evidenciando melhora na uniformidade da pigmentação cutânea. Adaptado de Beyzaee et al. (2021).

Figura 10 - Percentual de melhora clínica no tratamento do melasma com Luz Intensa Pulsada (IPL)



A imagem mostra a distribuição do percentual das respostas clínicas ao tratamento de melasma com laser QS Nd:YAG. Elaborado pelas autoras, com base em Gokalp et al. (2015) e Trivedi et al. (2017).

3.2 Laser Alexandrite de pulso longo (755 nm)

Em estudo clínico publicado por Zawodny et al. (2024), 109 pacientes com hiperpigmentações faciais foram avaliados após uma única sessão de laser 755 nm em modo picossegundo. A amostra era majoritariamente composta por mulheres (94,5%), com idade média de $44,17 \pm 8,2$ anos, e incluía diferentes etiologias de hiperpigmentação, como melasma, manchas decorrentes de exposição solar, hiperpigmentação pós-inflamatória e casos de padrão misto.

Os autores observaram que o tratamento promoveu uma redução estatisticamente significativa nas características analisadas, incluindo diminuição da área e do número de elementos pigmentares identificados nas imagens obtidas com luz polarizada ($p < 0,05$). Essa melhora foi detectada por meio de análise objetiva padronizada, indicando que

mesmo uma única aplicação foi capaz de gerar impacto clínico relevante no padrão de pigmentação facial.

A análise dos subgrupos demonstrou que fatores como idade, fototipo de pele e tipo de hiperpigmentação não apresentaram associação significativa com o grau de melhora observado ($p > 0,05$). Isso sugere que o método mostrou desempenho relativamente uniforme entre os diferentes perfis de pacientes incluídos no estudo. Além disso, os autores relatam que o procedimento apresentou baixo índice de complicações, sem registro de efeitos adversos importantes ao longo do acompanhamento.

De modo geral, os achados indicam que o laser 755 nm em pulso picossegundo pode oferecer melhora expressiva e mensurável das hiperpigmentações faciais após uma única sessão, constituindo uma abordagem eficaz e com perfil de segurança favorável para diferentes padrões pigmentares.

Figura 11 - Efeito clínico do laser picossegundo 755 nm em hiperpigmentações faciais (antes e depois)



A imagem mostra a melhora clínica observada após o uso do laser picossegundo de 755nm em hiperpigmentação cutânea. Zawodny (et al., 2024, J Clin Med).

3.3 Luz Intensa Pulsada (IPL)

O estudo clínico conduzido por Naheed et al. (2023) avaliou a eficácia da Luz Intensa Pulsada no tratamento do melasma em 34 pacientes do sexo feminino submetidas a um protocolo composto por quatro sessões, realizadas em intervalos quinzenais. As autoras utilizaram o escore mMASI como medida objetiva de gravidade da condição e observaram redução significativa após o término do protocolo. O valor médio inicial, de $14,22 \pm 5,32$, diminuiu para $7,41 \pm 3,5$, demonstrando melhora expressiva tanto na extensão quanto na intensidade da pigmentação. Essa mudança numérica reflete não apenas o clareamento das áreas afetadas, mas também a progressiva homogeneização da transição entre pele pigmentada e pele adjacente.

Além dos dados quantitativos, o estudo também registrou percepções subjetivas das participantes, que relataram melhora visível no brilho da pele, maior uniformidade cromática e redução de áreas de sombra facial características do melasma. Esses depoimentos reforçam o impacto clínico da terapia, sugerindo que a IPL pode atuar não apenas na redução direta da melanina, mas também na melhora global do aspecto cutâneo devido à interação da luz com outros componentes da pele, como vasos superficiais e estruturas dérmicas responsáveis pela luminosidade.

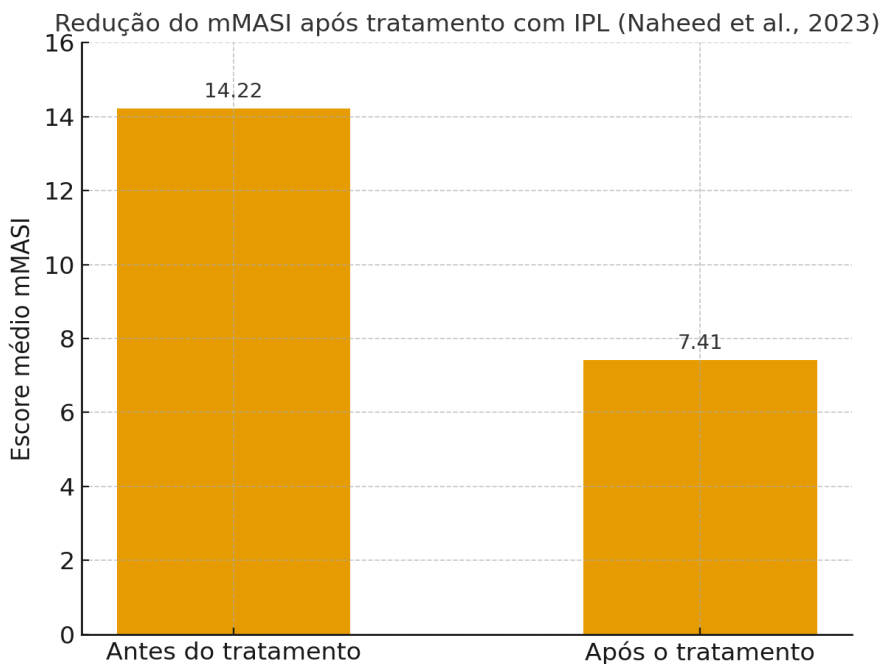
A análise da resposta clínica sugere ainda que a eficácia da IPL pode estar relacionada à combinação de mecanismos, incluindo fototermólise seletiva da melanina, estímulo à renovação celular e reorganização estrutural da epiderme, fatores que contribuem para o aspecto mais uniforme e iluminado observado após o tratamento. A melhora progressiva ao longo das sessões indica que a repetição dos pulsos luminosos pode intensificar o resultado cumulativo, especialmente em pacientes com pigmentação superficial predominante.

No que diz respeito à segurança, o estudo descreveu apenas efeitos adversos leves e autolimitados, como dor transitória durante a aplicação, eritema discreto nas áreas tratadas e edema localizado, todos resolvidos sem necessidade de intervenção específica. Não foram relatadas complicações graves, como hiperpigmentação pós-inflamatória, queimaduras ou agravamento do quadro, reforçando o perfil de segurança favorável da IPL quando utilizada com parâmetros adequados para cada fototipo.

De modo geral, os achados de Naheed et al. (2023) indicam que a Luz Intensa Pulsada representa uma opção terapêutica eficaz e bem tolerada para o tratamento do melasma, especialmente quando há predominância de pigmento epidérmico e quando se

busca não apenas o clareamento da lesão, mas também uma melhora global da qualidade estética da pele.

Figura 12 - Redução do mMASI em pacientes com melasma tratados com Luz Intensa Pulsada (IPL)



A imagem mostra a redução do escore médio mMASI em pacientes com melasma tratados com a luz intensa pulsada. Elaborado pelas autoras, com base em Naheed et al. (2023).

3.4 Estudo comparativo entre Nd:YAG e IPL

Um estudo comparativo envolvendo 60 mulheres asiáticas, com idades entre 18 e 50 anos, avaliou a eficácia e a segurança dos lasers Nd:YAG 1064 nm e da Luz Intensa Pulsada (IPL) no tratamento do melasma. As participantes foram distribuídas em dois grupos de tratamento, recebendo protocolos padronizados conforme a tecnologia utilizada. Ambos os métodos demonstraram boa tolerabilidade, com baixas taxas de desconforto e ausência de complicações graves ao longo do acompanhamento clínico.

Os resultados evidenciaram diferenças importantes entre as tecnologias. O grupo tratado com IPL apresentou redução mais acentuada no mMASI, com queda de 6,4 para 2,7 após o ciclo terapêutico, o que corresponde a uma eficácia aproximada de 80%. Esse desempenho superior sugere que a IPL pode promover um clareamento mais rápido e expressivo em casos de pigmentação predominantemente epidérmica. Por outro lado, o grupo submetido ao Nd:YAG 1064 nm também demonstrou melhora significativa,

reduzindo o mMASI de 7,3 para 3,6 (eficácia em torno de 60%), embora de forma menos intensa quando comparado à IPL.

Em relação à segurança, ambos os tratamentos apresentaram perfil semelhante de eventos adversos, incluindo dor leve durante a aplicação, eritema transitório e edema discreto. Esses efeitos foram autolimitados e não exigiram intervenção adicional, reforçando a segurança das duas modalidades quando aplicadas de forma adequada. Não houve registro de hiperpigmentação pós-inflamatória, queimaduras ou outros efeitos colaterais severos.

De modo geral, os dados indicam que tanto o Nd:YAG quanto a IPL são opções viáveis e seguras para o manejo do melasma, com vantagem relativa para a IPL em termos de intensidade de resposta clínica, especialmente em pigmentações mais superficiais.

Figura 13 - Comparação entre as tecnologias e a redução do escore médio mMASI e sua eficácia

Tratamento	mMASI Antes	mMASI Depois	Redução Média	Eficácia
Nd:YAG 1064 nm	7,3	3,6	50%	60%
IPL	6,4	2,7	~55-60%	80%

A imagem mostra a comparação entre as tecnologias e a redução do escore médio mMASI e sua eficácia. Elaborado pelas autoras, com base em Arora; Saxena; Jain (2012), Chen; Ke (2023), Trivedi; Yang; Cho (2017), Mardani et al. (2025).

4 DISCUSSÃO

Os achados do presente estudo reforçam que as tecnologias baseadas em luz e laser representam ferramentas eficazes no manejo do melasma e de outras hiperpigmentações, porém cada modalidade apresenta particularidades importantes no que se refere ao mecanismo de ação, ao perfil de segurança e ao tipo de pigmentação em que se mostra mais efetiva.

O laser QS-Nd:YAG (1064 nm) demonstrou redução média de 50% no escore mMASI, com eficácia global de 60%. Esse resultado é consistente com o que descrevem Kroon et al. (2020), ao demonstrar que a aplicação em baixas fluências promove melhora

clínica significativa com baixo risco de complicações, sobretudo em pacientes de pele mais escura. De forma semelhante, Zhu, Zhao e Dong (2022) confirmaram, em meta-análise, a eficácia do Nd:YAG no clareamento do melasma, reforçando seu perfil seguro.

No entanto, relatos como os de Polnikorn (2014) e Cho, Lee e Kang (2014) destacam a possibilidade de hipopigmentação em confete (confetti hypopigmentation) quando parâmetros inadequados são utilizados, o que mostra que, apesar da eficácia, o Nd:YAG não está isento de riscos e exige protocolos rigorosos de aplicação. Assim, nossos resultados confirmam sua segurança e efetividade, mas também corroboram a necessidade de individualização, especialmente em tratamentos prolongados.

O laser Alexandrite de pulso longo (755 nm) apresentou desempenho satisfatório principalmente em pigmentações epidérmicas, achado compatível com os relatos de Chen e Ke (2023) e Lee et al. (2016), que demonstram sua eficácia em lentigos solares e melasma superficial. Os resultados obtidos por Zawodny et al. (2024), com redução significativa da hiperpigmentação já após uma sessão, também reforçam sua utilidade clínica.

Contudo, assim como descrito por Ho et al. (2011), o risco elevado de hiperpigmentação pós-inflamatória (PIH) em fototipos altos limita seu uso em populações de pele mais escura. Além disso, Sarkar et al. (2017) sugerem que o Alexandrite apresenta melhores resultados quando associado a terapias tópicas despigmentantes, o que indica que, isoladamente, seus efeitos podem não ser tão duradouros. Dessa forma, os resultados deste estudo confirmam sua eficácia, mas também ressaltam que seu uso deve ser reservado a pigmentações superficiais e a pacientes de fototipos mais baixos.

A Luz Intensa Pulsada (IPL) destacou-se pela versatilidade e pela redução significativa do mMASI (de 14,22 para 7,41), conforme observado no estudo de Naheed et al. (2023). Esses achados estão em linha com Trivedi, Yang e Cho (2017), que apontam a IPL como alternativa eficaz no manejo do melasma epidérmico, e com Winstanley et al. (2012), que ressaltam sua aplicabilidade em lentigos solares.

Entretanto, Mahé et al. (2022) enfatizam que, por se tratar de uma tecnologia policromática e menos seletiva, a IPL apresenta risco maior de PIH em pacientes de fototipos elevados, exigindo cautela e uso de protocolos individualizados. Essa ressalva confirma a divergência encontrada entre os resultados: enquanto alguns estudos (Gokalp et al., 2015) evidenciam eficácia superior da IPL em comparação ao Nd:YAG, outros (Kroon et al., 2020) reforçam a maior segurança do Nd:YAG em peles mais escuras.

Assim, os resultados aqui observados confirmam sua eficácia, mas também sustentam a necessidade de seleção cuidadosa de pacientes.

Quando analisados comparativamente, os dados mostraram que a IPL promoveu maior redução no mMASI em relação ao Nd:YAG (80% vs. 60%). Embora essa diferença tenha sido confirmada em estudos prévios (Gokalp et al., 2015), deve-se interpretar com cautela: a superioridade da IPL tende a se restringir a pigmentações superficiais, enquanto o Nd:YAG se mantém como opção mais estável e segura para fototipos altos e casos de melasma dérmico ou misto. Portanto, embora os dispositivos compartilhem o princípio da fototermólise seletiva, sua aplicação clínica é distinta e fortemente dependente de fatores como profundidade da lesão, fototipo cutâneo e resposta individual.

Outro ponto relevante é que todas as modalidades analisadas demonstraram efeitos adicionais além da redução pigmentária, como melhora da textura cutânea, estímulo à síntese de colágeno e uniformização do tom da pele, achados já descritos em revisões como a de Kroon et al. (2020) e confirmados por Beyzaee et al. (2021). Esses efeitos sugerem que as tecnologias não atuam apenas pela destruição seletiva de melanossomos, mas também por mecanismos indiretos de remodelamento dérmico, o que amplia seu potencial terapêutico.

Portanto, a presente análise confirma que os três métodos avaliados possuem relevância clínica no manejo das hiperpigmentações, mas evidencia que a escolha do tratamento deve ser criteriosa e individualizada. O Nd:YAG se mantém como padrão-ouro em pacientes de fototipos altos e melasma profundo/misto; o Alexandrite mostra-se eficaz em pigmentos epidérmicos, mas limitado por riscos de PIH; e a IPL surge como alternativa versátil, eficaz em lesões superficiais, mas com menor seletividade e maior risco em peles escuras. Assim, os achados corroboram grande parte da literatura, mas também ressaltam divergências importantes, que reforçam a necessidade de estudos comparativos de longo prazo e de protocolos padronizados para consolidar o papel de cada tecnologia.

5 CONCLUSÃO

Os estudos avaliados nesta revisão demonstram que, embora o melasma e outras formas de hiperpigmentação permaneçam condições crônicas e sem cura definitiva, há um conjunto de tecnologias baseadas em luz e laser capazes de promover melhora clínica relevante, desde que corretamente indicadas e aplicadas. A eficácia dos tratamentos varia

de acordo com a profundidade do pigmento, o fototipo cutâneo e o mecanismo de ação de cada dispositivo, evidenciando a necessidade de abordagens individualizadas.

O laser QS Nd:YAG 1064 nm confirmou-se como uma das opções mais seguras e consistentes, especialmente para pacientes com fototipos elevados e para casos de melasma dérmico ou misto. Sua capacidade de penetrar mais profundamente na pele, associada ao baixo risco de intercorrências quando utilizado em baixas fluências, reforça seu papel como tecnologia de escolha em situações de maior sensibilidade pigmentária.

O laser Alexandrite 755 nm demonstrou desempenho expressivo nas hiperpigmentações epidérmicas, como lentigos solares e melasma superficial, com resultados rápidos e clinicamente perceptíveis. No entanto, seu risco aumentado de hiperpigmentação pós-inflamatória em fototipos mais altos limita sua aplicabilidade. A literatura sugere que seu uso isolado pode ter efeitos menos duradouros, o que reforça a importância de combinações terapêuticas quando necessário.

A Luz Intensa Pulsada (IPL) apresentou melhora significativa no mMASI e mostrou-se uma alternativa versátil para pigmentações superficiais. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia menos seletiva e policromática, demanda maior cautela em peles escuras devido ao risco aumentado de PIH. Sua eficácia tende a ser maior em quadros predominantemente epidérmicos e em pacientes com fototipos baixos a intermediários.

Diante desses achados, torna-se evidente que a escolha da tecnologia mais adequada depende de uma avaliação criteriosa, que considere não apenas o tipo e a profundidade da hiperpigmentação, mas também o fototipo, histórico do paciente e possíveis fatores agravantes, como exposição solar e estímulos térmicos. A condução do tratamento deve ser acompanhada de protocolos individualizados, anamnese detalhada e monitoramento contínuo, a fim de otimizar os resultados e minimizar o risco de complicações.

Assim, esta revisão reforça que, embora o manejo do melasma e das hiperpigmentações seja desafiador e multifatorial, as tecnologias avaliadas apresentam relevância clínica comprovada. Quando aplicadas de forma criteriosa, tornam-se ferramentas valiosas para o clareamento das lesões, melhoria global da pele e promoção da qualidade de vida dos pacientes.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA**, Mohammad Ahmad. *Melasma: Clinical Features, Diagnosis, Epidemiology and Etiology: An Update Review*. Siriraj Medical Journal, v. 73, n. 12, p. 841-850, 2021.
- ALALUF, S.** et al. *Roles of inflammation factors in melanogenesis*. Molecular Medicine Reports, v. 21, n. 3, p. 1421-1430, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3892/mmr.2020.10929>.
- ANDERSON, R. R.; PARRISH, J. A.** *Selective photothermolysis: precise microsurgery by selective absorption of pulsed radiation*. Science, v. 220, n. 4596, p. 524–527, 1983.
- ARORA, P.** et al. *Lasers for treatment of melasma and post-inflammatory hyperpigmentation*. Journal of Cutaneous and Aesthetic Surgery, v. 5, n. 2, p. 93-103, abr./jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-2077.99436>.
- BERKE, R.; MAIBACH, H.** *Postinflammatory hyperpigmentation*. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559150/>. Acesso em: 27 ago. 2025.
- BEYZAEE, A. M.** et al. *Comparative efficacy of fractional CO₂ laser and Q-Switched Nd:YAG laser in combination therapy with tranexamic acid in refractory melasma: results of a prospective clinical trial*. Cosmetics, v. 8, 2021.
- BOHJANEN, K.** *Estrutura e funções da pele*. In: *Dermatologia Clínica: bases para diagnóstico e tratamento*. Seção I, 2017. Disponível em: <https://www.booki.pt/userfiles/files/loja/preview/9788580553796.pdf>.
- BORGES**, Maysa Coelho. *Melasma: tratamento e suas implicações estéticas*. Health of Humans, [S. l.], 2021.
- BRIANEZI, G.** *Avaliação da atividade da unidade epidermo-melânica e do dano dérmico no melasma*. 2016. 61 p. Tese (Doutorado em Patologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina, Botucatu, 2016.

Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134352/brianezi_g_dr_bot.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

BRITO, Arlete; **ARAÚJO**, Nathália; **MACIEL**, Elane. *Fisiopatologia do melasma e alguns tratamentos disponíveis (Biomedicina)*. Repositório Institucional, v. 1, n. 1, 2023.

CALLENDER, Valerie D. et al. *Treatment of hyperpigmentation: an update*. Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology, v. 4, n. 8, p. 36–44, 2011.

CHEN, C.; **KE**, Y. *Applications of long-pulse Alexandrite laser in cosmetic dermatology: a review*. Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology, v. 16, p. 3349-3357, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2147/CCID.S441169>.

DOOLAN, B. J.; **GUPTA**, M. Melasma. **Australian Journal of General Practice**, Melbourne, v. 50, n. 12, p. 901–905, dez. 2021. DOI: 10.31128/AJGP-05-21-6002.

Disponível em: <https://www1.racgp.org.au/ajgp/2021/december/melasma>. Acesso em: 14 de maio 2025.

GAO, S. et al. *A focused review on the pathophysiology of post-inflammatory hyperpigmentation*. Experimental Dermatology, v. 31, n. 5, p. 679-686, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/exd.14594>.

GONÇALVES, F. G. et al. *A pele através da microscopia confocal de reflectância: contexto histórico, princípios técnicos e sua correlação com a histopatologia*. Anais Brasileiros de Dermatologia, Rio de Janeiro, v. 97, n. 6, p. 755–762, nov./dez. 2022.

GRIMES, P. E.; **CALLENDER**, V. D. *Melasma: management*. UpToDate, abr. 2023. Disponível em: <https://www.uptodate.com/contents/melasma-management>. Acesso em: 21 maio 2025.

HAKIM, Benazir et al. *Unstable solar lentigo mimicking lentigo maligna melanoma: a case report*. Clinical Case Reports, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e7164, 2023.

IKINO, J. K. *Estudo da influência da inflamação na patogênese do melasma / análise da qualidade de vida*. 2013. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Médicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101064/317535.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LAWRENCE, Elizabeth; **SYED**, Hasnain A.; **AL ABOUD**, Khalid M.

Hiperpigmentação pós-inflamatória. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.

LE MOS, A. C. C. E. *Avaliação da autofagia, senescência celular e expressão de OPN3 na pele com melasma em comparação com a pele sã adjacente*. 2020. 64 p. Tese (Doutorado em Patologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina, Botucatu, 2020. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/194519/lemos_acce_dr_bot_par.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 15 maio 2025.

LI, M. et al. *Efficacy and safety of long-pulsed 755-nm Alexandrite laser for keratosis pilaris: a randomized trial*. *Dermatology and Therapy*, v. 12, p. 1897-1906, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13555-022-00771-0>.

LUI, H. et al. *Intense pulsed light: what works, how, and why?* *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*, v. 29, n. 1, p. 1–10, 2017.

MAHÉ, A. et al. *Post-inflammatory hyperpigmentation in dark skin: molecular mechanism and skincare implications*. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, v. 15, p. 2605-2617, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2147/CCID.S385383>.

MARESCA, V.; **FLORI**, E.; **PICARDO**, M. *Skin phototype: a new perspective*. *Pigment Cell & Melanoma Research*, v. 28, p. 378-389, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/pcmr.12365>.

NAHEED, A. et al. *Evaluation of intense pulse light (IPL) for melasma: efficacy, safety and patient experience*. *The Professional Medical Journal*, v. 30, n. 9, p. 1142-1146, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29309/TPMJ/2023.30.09.7645>.

OLIVEIRA, Tadeu Santos. *Rejuvenescimento da pele por meio da utilização do laser: uma revisão sistemática da literatura*. Trabalho de Conclusão de Curso (Biomedicina) – Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências da Educação e Saúde, Brasília, 2016.

PASSERON, T. *L'hyperpigmentation post-inflammatoire [Hiperpigmentação pós-inflamatória]*. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, v. 143, suppl. 2, p. S15-S19, 2016. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0151-9638\(18\)30079-6](https://doi.org/10.1016/S0151-9638(18)30079-6).

PASSERON, Thierry. *Melasma pathogenesis and influencing factors: an overview of the latest research*. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, v. 33, n. 1, p. 18-19, 2019.

PRAETORIUS, Christian et al. *Sardas induzidas pelo sol: efélides e lentigos solares.*

Pigment Cell & Melanoma Research, v. 27, n. 3, p. 339-350, 2014. DOI:

<https://doi.org/10.1111/pcmr.12232>.

ROSA, Marthina Santos. *Parâmetros e efeitos do laser não ablativo no tratamento de melasma facial: uma revisão sistemática.* Trabalho de Conclusão de Curso (Fisioterapia)

– Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, [S. l.], 2016.

SCHAEFER, L. V. *Estudo proteômico do melasma facial em mulheres.* 2018. 75 p.

Dissertação (Mestrado em Patologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Medicina, Botucatu, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152775>. Acesso em: 15 maio 2025.

TOSHITANI, S. et al. *Mechanisms underlying post-inflammatory hyperpigmentation:*

lessons from solar lentigo. *Journal of Dermatological Science*, v. 68, n. 3, p. 173-179,

2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2012.12.004>.

TRAFELI, J. P. et al. *Long-pulse Alexandrite laser treatment of solar lentigines.*

Dermatologic Surgery, v. 33, n. 4, p. 443-448, 2007. DOI:

<https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.2007.33101.x>.

TRIVEDI, M. K.; YANG, F. C.; CHO, B. K. *A review of laser and light therapy in*

melasma. *International Journal of Women's Dermatology*, v. 3, n. 1, p. 11-20, 2017.

VIDEIRA, Inês Ferreira dos Santos; MOURA, Daniel Filipe Lima; MAGINA, Sofia.

Mechanisms regulating melanogenesis. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, v. 88, n. 1, p.

76-83, jan./fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0365-05962013000100009>.

WINSTANLEY, J. B. et al. *Long-pulsed Alexandrite laser in the treatment of benign*

pigmented lesions. *Lasers in Surgery and Medicine*, v. 44, n. 5, p. 382-386, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.1002/lsm.22034>.

ZHANG, S. et al. *Diversified stimuli-induced inflammatory pathways cause skin*

pigmentation. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 8, p. 4017, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22084017>.