

Avaliação real da emissão de laser em 532nm nos equipamentos para remoção de pigmentos

Assessment of actual laser emission at 532nm in tattoo removal devices

DOI: <http://www.dx.doi.org/10.5935/scd1984-8773.2024160295>

RESUMO

Introdução: O uso da geração de segunda harmônica da banda em 1064nm pelos cristais de KTP, originando o feixe em 532nm, é apresentado como uma forma mais eficiente para a remoção de pigmentos residuais de tatuagem, sendo essencial mensurarmos a real entrega das tecnologias disponíveis no mercado, algo não disponível até a presente data.

Objetivo: Avaliar os dispositivos disponíveis no mercado brasileiro para mensurar o quanto do comprimento de onda fundamental, em termos de energia, é efetivamente convertido em 532nm.

Métodos: Realizado a mensuração do comprimento de onda de 532nm nos equipamentos Etherea MX, Spectra XT, Inkie, Ladybug e Deltalight através do padrão metrológico do National Institute of Metrology da China, modelo NIM-1000

Resultados: Notam-se resultados insatisfatórios para a maioria dos equipamentos analisados.

Conclusões: Os resultados indicam possível falha de design fotônico dos equipamentos e falha metodológica para avaliação de conformidade pelos organismos certificadores de produtos, comprometendo o resultado clínico almejado.

Palavras-chave: Lasers de Estado Sólido; Corantes; Remoção de Tatuagem; Lasers de Corante.

ABSTRACT

Introduction: The use of potassium titanyl phosphate (KTP) crystals for second-harmonic generation of 532nm waves from a 1064nm source is presented as a more efficient method for removing residual tattoo pigments with lasers. It is crucial to measure the actual performance of the available technologies on the market, which has not been done to date.

Objective: To assess the performance of laser systems available on the Brazilian market by measuring the amount of energy from the fundamental wavelength (1064nm) that is effectively converted to 532nm.

Methods: The 532nm wavelength was measured on Etherea MX, Spectra XT, Inkie, Ladybug and Deltalight equipment using the metrological standard of the National Institute of Metrology of China, model NIM-1000 Results: The results were unsatisfactory for most of the analyzed systems.

Conclusions: The findings suggest potential photonic design flaws in the equipment and methodological deficiencies in the conformity assessment by product certification bodies, compromising the desired clinical outcomes.

Keywords: Lasers; Solid-State; Coloring Agents; Tattoo Removal; Lasers, Dye.

Artigo Original

Autores:

Rubens Pontello Junior¹

Jerry Cristian Gandin²

Kamelyn Caroline Casagrande³

¹ Instituto Pontello de Dermatologia, Londrina (PR), Brasil.

² Private Office Scintilum, Curitiba (PR), Brasil.

³ Capacitare, Estética Facial, Curitiba (PR), Brasil.

Correspondência:

Rubens Pontello Junior

E-mail: rubensjr@institutopontello.com.br

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesses: Nenhum.

Data de Submissão: 25/08/2023

Decisão final: 13/03/2024

Como citar este artigo:

Avaliação real da emissão de laser em 532nm nos equipamentos para remoção de pigmentos. Surg Cosmet Dermatol. 2024;16:e20240295.



INTRODUÇÃO

A prática de tatuagem está na cultura do homem desde o começo da civilização. As primeiras descrições de tatuagens foram datadas de 2000 a.C. em múmias egípcias.¹ O que se modificou nesse período foi a forma de introdução e o uso de pigmentos de várias cores, que possibilitou tatuagens mais complexas.² As tentativas de remoção também são antigas, sendo que as primeiras técnicas datam de 543 a.C., desenvolvidas pelos gregos, que praticavam abrasão seguida da aplicação de sais inorgânicos.¹ Atualmente, lasers com a tecnologia *Q-switched* são os mais utilizados para remoção de micropigmentações e tatuagens.³ O termo *Q-switched* está relacionado ao mecanismo utilizado para controlar o perfil temporal da saída de luz, ou seja, permite que pulsos da ordem de nanossegundos e com elevada energia sejam gerados. Esses lasers receberam destaque na década de 1990, período em que diferentes estudos evidenciaram sua eficácia em alcançar pigmentos localizados na derme, tais como tintas de tatuagens.⁴

Existem três tipos de *laser Q-switched* com largura de pulso da ordem de micro e nanossegundos, utilizados em remoção de pigmentos, mas que variam em comprimentos de onda. São eles o *laser* de rubi (694nm), alexandrita (755nm) e Nd:YAG (532nm em segunda harmônica, 1064nm na frequência fundamental mais intensa).³ Os lasers de rubi e alexandrita são utilizados na remoção de pigmentos pretos, azuis e verdes. O Nd:YAG em 532nm, na remoção dos pigmentos vermelhos; e o Nd:YAG em 1064nm para as cores preto e azul.⁵ A variação na composição química e na absorção do espectro tem tornado muitas vezes um desafio prever a reação do pigmento a um comprimento de onda do *laser* escolhido.⁶ Cores como o alaranjado e o amarelo são reconhecidamente muito resistentes (recalcitrantes), e cores como o vermelho e verde possuem resposta variável.¹ Pigmentos avermelhados usualmente apresentam resistência à remoção com o *laser* em 532nm, pois o operador é ludibriado por uma variação do efeito Purkinje, em que excluímos as condições mesópicas e nos concentramos apenas nos efeitos fotópicos. Nessas condições, observamos que os cones, células responsáveis pela visão em cores dos nossos olhos, são muito mais sensíveis à luz em comprimentos de onda próximos dos picos de absorção da rodopsina e demais opsinas presentes nessas células, fazendo com que a sensibilidade máxima do olho humano para a luz esteja em 555nm, ou seja, na faixa da luz verde.⁷ Dessa forma, mesmo que uma pequena quantidade (em termos percentuais) de luz verde esteja presente em um feixe de laser, como aquele gerado a partir do comprimento de onda de 1064nm empregando uma técnica de geração de segunda harmônica, a intensidade de luz dissipada ao atingir um alvo reflexivo, por exemplo, já será ofuscante para uma visão desarmada, criando a falsa sensação de que aquele feixe de *laser* é composto por um percentual muito elevado de luz verde (de 532nm, para o nosso exemplo). O método conhecido como *Q-switched*, empregado em lasers de remoção de pigmentos, permite a obtenção de pulsos extremamente curtos (da ordem de nanossegundos) e com elevada energia (da ordem de Joules). A elevada energia dis-

sipada sobre o cromóforo-alvo promove sua fragmentação bem como a de estruturas que o armazenavam, em um tipo especial de efeito fototermolítico seletivo, denominado fotodisrupção.⁸ A fotodisrupção é, muitas vezes, acompanhada por um efeito fotoacústico devido à cavitação da bolha de plasma em alta temperatura gerada pela absorção da energia óptica pelo cromóforo-alvo em um intervalo de tempo extremamente curto, sendo, portanto, desejável nos processos de remoção de tatuagens.⁹ Ou seja, a interação entre o *laser* e o cromóforo-alvo ocorre em um intervalo de tempo curto demais para que o calor gerado possa se dissipar eficientemente nos tecidos adjacentes reduzindo significativamente o dano tecidual adjacente à área tatuada.⁹ Dessa forma, podemos agir de forma específica sobre o cromóforo-alvo (pigmento) e as células que o armazenavam, preservando as demais estruturas do tegumento. Quantitativamente, podemos definir a região sujeita a dano térmico por ação do *laser* em função da duração de seu pulso pela fórmula abaixo, em que D é a profundidade de atuação do calor (cm), k é uma constante conhecida como difusividade térmica e t é o tempo (s):

$$D = (4kt)^{1/2} \quad (I)$$

Experimentalmente, a difusividade térmica de tecidos biológicos como a pele foi calculada como sendo aproximadamente $2,9 (\pm 0,5) \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.¹⁰

Para exemplificarmos o impacto da duração do pulso sobre a penetrabilidade do calor no tecido, um pulso de *laser* típico de um equipamento de fotodepilação, com 30ms, ao atingir um cromóforo na superfície da pele, em condições ideais e sem absorção do *laser* pelas demais estruturas do órgão, promoverá a ação do calor até a isoterminia em uma profundidade de aproximadamente 0,06mm (60µm, tamanho de cerca de três a sete células epiteliais). Já se empregarmos um *laser* típico de remoção de pigmentos do tipo *Q-switched*, cuja duração do pulso é da ordem de apenas 10ns, a penetrabilidade do calor será de apenas 0,034µm, ou seja, menor do que a dimensão de uma única célula. Entretanto, como temos um processo cavitativo em decorrência da fotodisrupção, as células que armazenavam os pigmentos e aquelas mais próximas podem ser rompidas mecanicamente.⁹ Embora a energia e a duração dos pulsos do *laser* sejam determinantes para o sucesso do processo de remoção de pigmentos em tatuagens, outro parâmetro determinará quais cromóforos serão preferencialmente atingidos: o comprimento de onda. O *laser* de escolha para remoção de pigmentos é o Nd:YAG *Q-switched*, cuja emissão mais intensa em seu sistema de ganho de quase-três níveis corresponde à banda de 1064nm, ou seja, no infravermelho próximo. Tal comprimento de onda pode ser absorvido por diversos pigmentos de diferentes colorações e composições; entretanto, alguns pigmentos residuais (recalcitrantes), de coloração avermelhada e/ou alaranjada, são resistentes à ação do Nd:YAG *Q-switched* em 1064nm. Por esse motivo, costuma-se utilizar um componente fotônico de óptica não linear no caminho do feixe de *laser* para a geração de segunda harmônica, ou seja, para duplicar a frequência fundamental do *laser* incidente. Em geral,

empregam-se cristais de titanilfosfato de potássio recobertos por películas antirreflexivas (que, além de fornecer um tênue reflexo azulado, gera interferências destrutivas nos feixes refletidos, preservando as estruturas ópticas próximas), conhecidos pela sua sigla derivada do inglês KTP. Esse componente permite a geração de um feixe de mesmo perfil temporal e no mesmo modo eletromagnético transversal do feixe incidente, entretanto com o comprimento de onda em 532nm, correspondente à cor verde na faixa da luz visível.¹¹ Estruturalmente, a maioria dos lasers comerciais para remoção de pigmentos emprega conjuntos de lentes contendo o KTP removíveis ou escamoteáveis, alocados extrinsecamente em relação à cavidade óptica ressonante. Dessa forma, o mesmo feixe de 1064nm que incidiria sobre o campo operatório passa a atingir diretamente uma das faces do KTP, em que haverá a geração de segunda harmônica. Embora algumas especificações técnicas de cristais de KTP indiquem uma taxa de conversão máxima superior a 80%¹², na prática, observamos uma baixa eficiência de geração de segunda harmônica através do cristal por diversos fatores que serão discutidos por esse trabalho e que pode dificultar ou até impossibilitar a remoção de alguns pigmentos residuais (recalcitrantes).

MÉTODO

Foram analisados para esse estudo os seguintes equipamentos de *laser* (Tabela 1): Etherea MX (Vydenze), Spectra XT

(Lutronic) e Inkie (Countourline), todos com registros ativos na Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e alguns equipamentos sem registro no órgão retromencionado e/ou fabricados em data anterior à concessão no momento em que os ensaios foram realizados (Ladybug, Deltalight e um modelo sem marca aparente). A finalidade dos ensaios consistiu em verificar a eficiência do processo de geração de segunda harmônica nesses equipamentos bem como se as unidades avaliadas cumprem requisitos metrológicos específicos para *laser* em relação ao paralelismo entre o valor alegado na interface homem-máquina (IHM) do equipamento e a energia de fato dispensada na janela de saída do feixe (de acordo com a norma NBR/IEC 60.601-2.22), exigidos pelo INMETRO para registro destes eletromédicos junto à ANVISA, e se a baixa eficiência é um comportamento isolado de alguns modelos ou um fenômeno universal.

As medições foram realizadas empregando-se um padrão metrológico do *National Institute of Metrology* da China, modelo NIM-1000, com capacidade de medição de energia de pulsos de *laser* curtos, na faixa de 400 a 2000nm, de 20 até 2700mJ, empregando um sensor fotovoltaico com atenuador incorporado e responsividade de $1,34 \times 10^{-1} \text{J/V}$ para 1064nm e $2,02 \times 10^{-1} \text{J/V}$ para 532nm, fabricado em 2018. Os valores foram comparados com as medições realizadas em “energy meter” de origem estadunidense, marca Molectron, modelo EM400, com sensores de fabricação brasileira, marca Scintilum, fotovoltaicos

TABELA 1: Identificação dos equipamentos analisados no âmbito deste trabalho

Máquina testada	Marca	Modelo	Nº de registro na ANVISA	Nº de série
1	Vydenze	Etherea MX	80058580021	008642-16
2	Countourline	Inkie	80832470003	895236
3	Countourline	Inkie	80832470003	569823
4	Lutronic	Spectra XT	10343650037	VX121A005
5	Lutronic	Spectra XT	10343650037	VX115C032
6	WB	Ladybug	Sem registro	201900306
7	Delta	Delta Light	Sem registro	X9B300021011 24
8	Não aparente	J-200	Sem registro	AS102820J- 2005962

Fonte: Dados próprios não publicados.

TABELA 2: Resultados do certificado de calibração do medidor de energia de laser VLE-1000

λ (nm)	Faixa de medição	Largura de pulso (ns)	Valor de referência	Valor medido	Fator de correção	Incerteza (k=2)
1064	3,482J	10	1,140J	1,135J	1,00	Urel = 3%
1064	348,2mJ	10	197,6mJ	198,4mJ	1,00	Urel = 3%
532	351,8mJ	10	237,5mJ	235,3mJ	1,01	Urel = 3%
532	105,5mJ	10	50,19mJ	50,25mJ	1,00	Urel = 3%

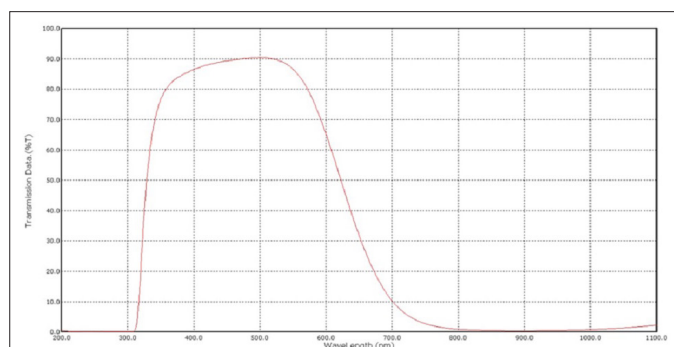
Fonte: Dados não publicados extraídos do certificado de calibração GXjg2022-00399 expedido pelo NIM em 07/03/2022.

com difusores e atenuadores específicos para 532nm/1064nm, apresentando responsividade de $2,35 \times 10^{-1} \text{J/V}$ para 1064nm e $3,15 \times 10^{-1} \text{J/V}$ para 532nm. Também foi empregado como referência para as medições e verificação de performance dos demais instrumentos um medidor de energia de *laser* de fabricação da Ranbond, origem chinesa, modelo VLE-1000, número de série 20220305E1, devidamente calibrado em 07/03/2022 pelo *National Institute of Metrology* (NIM) da China, sendo emitido o certificado de calibração GXjg2022-00399 com os resultados representados pela tabela 2.

A metodologia de teste consistiu em ensaios controlados em ambiente laboratorial, com monitoramento de temperatura e umidade, registrando a média e o desvio-padrão de 10 disparos consecutivos, em cadência de 2Hz para medição de energia média em 1064nm. Posteriormente, outros 10 disparos consecutivos em mesma cadência foram efetuados empregando-se a geração de segunda harmônica oferecida pelos respectivos equipamentos e os valores de média aritmética e desvio-padrão foram registrados.

Os dados referentes à emissão em 532nm foram coletados diretamente pelos sensores e medidores de energia e também empregando-se filtros especiais com o intuito de avaliar a composição espectral quantitativa dos feixes de *laser* emergentes através das frações de 532nm puro, 1064nm puro e da resultante 1064nm + 532nm. Os filtros utilizados foram:

- Filtro de alta transmitância na faixa do visível e alta absorbância na faixa do infravermelho próximo, marca Tangsinuo, modelo BG38, com 50mm de diâmetro e 2mm de espessura;
- Filtro de perfil espectrofotométrico inverso, marca Tangsinuo, modelo HB720 de 50mm de diâmetro e 2mm de espessura.



Fonte: Especificações técnicas do filtro QB21 $\phi 50 \times 1,0$ mm comercializado pela Tangsinuo Store, disponível em <https://pt.aliexpress.com/item/4000065793459.html> e acessado em abril / 2022.

FIGURE 1: T% spectrum of the Visible Bandpass Filter used in the tests

O espectro de transmissão dos filtros encontram-se reproduzidos nas figuras a seguir e foram confirmados por meio de medição de T% por espectrofotômetro da marca Thermo Scientific, modelo Genesys 10S UV-Vis, em mode scan de 400 a 1100nm com passos de 1nm (Figuras 1 e 2).

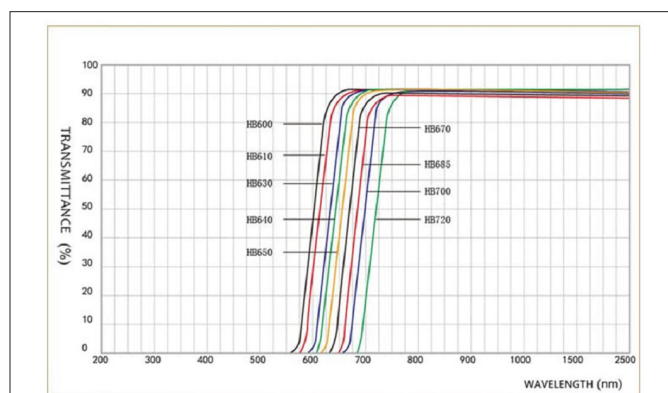
RESULTADO

As medições realizadas entre os dias 3 e 4 de outubro de 2022, em temperatura ambiente média de $22,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $63,1 \pm 3\%$, forneceram os valores para cada equipamento contidos na tabela 3, reproduzida a seguir. Os valores foram levantados de acordo com metodologia explicitada em tópico próprio e com desvio-padrão (σ) inferior a 0,037.

Foi constatado que a maioria dos equipamentos, mesmo com registro sanitário ativo, não possui eficiência superior a 30% nas emissões em 532nm, o que, aparentemente, não é avaliado pelos Órgãos Certificadores de Produtos para o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

DISCUSSÃO

A maior parte das pessoas acredita que a emissão de 532nm na geração de segunda harmônica é alta por causa do efeito fotoacústico em material pigmentado. O problema decorre do fato de que a maior parte do *laser* emitido ainda está no comprimento de onda fundamental em 1064nm, pois o titanil-fosfato de potássio possui eficiência de conversão muito inferior aos 50% ou 80% divulgados nas fichas técnicas, seja por qualidade do cristal ou por problemas de correspondência de fase (do inglês, phase matching). Isso também está associado à própria fotônica aplicada à engenharia dos equipamentos disponíveis no mercado que, com exceção do Spectra da Lutronic, empregam cristais de KTP acoplados junto à janela de saída do feixe laser, próximos da pele do paciente. Esses componentes, vulgarmente



Fonte: Especificações técnicas do filtro HB720 $\phi 50 \times 2,0$ mm comercializado pela Tangsinuo Store, disponível em <https://pt.aliexpress.com/item/4000438441353.html?gatewayAdapt=glo2bra> e acessado em abril / 2022

FIGURE 2: T% spectrum of the IR Pass Filter used in the tests (model HB720, represented by the green curve)

TABELA 3: Resultados obtidos para as medições dos equipamentos de acordo com a metodologia já exposta (valores médios).

Equipamento	Energia ajustada (mJ)	Energia total medida (mJ)	% de erro entre E ajustada e E medida	Energia em 532nm filtrado (mJ)	% de conversão em 532nm
Etherea MX	600	537	10,5	92,4	17,21
	1200	1115	7,08	175,2	15,71
	1500	1410	6	213,4	15,13
Inkie (1)	112	123,3	10,09	20,01	16,23
	503	566,9	12,7	134,7	23,76
	792	813,5	2,65	187,1	23,00
	1200	1118	6,83	293,9	26,29
	112	127,8	14,11	34,58	27,06
Inkie (2)	503	549,4	9,22	118,7	21,61
	792	817,2	3,18	210,9	25,81
	1200	1210	0,83	328,4	27,14
Spectra XT (1)	52	36,84	29,15	36,63	99,43
	103	74,05	28,11	73,57	99,35
	206	148,1	28,11	147,1	99,32
	387	239,3	38,16	238,4	99,62
	52	42,5	18,27	41,1	96,71
Spectra XT (2)	103	94,3	8,45	93,0	98,62
	206	179,7	12,77	178,1	99,11
	387	325,1	15,99	323,9	99,63
	100	238,2	138,20	9,3	3,90
Ladybug	500	549,2	9,84	17,3	3,15
	1000	821,3	17,87	28,9	3,52
	100	459,2	359,20	47,5	10,34
Delta Light	500	620,3	24,06	63,3	10,20
	1500	1178	21,47	112,2	9,52
	100	223,2	123,20	8,895	3,99
J-200	220	221,2	0,55	7,446	3,37
	1000	793,4	20,66	23,57	2,97

Fonte: Dados dos autores não publicados. Medições realizadas nas dependências da Scintilum (www.scintilum.com.br).

denominados de lentes, possuem o KTP sem qualquer elemento adicional de barragem do comprimento fundamental de onda do Nd:YAG Q-switched, seja por reflexão (como os espelhos di-croicos), seja por absorção (como os filtros ópticos tradicionais). Isso faz com que a resultante do feixe seja o somatório dos componentes em 1064nm com os componentes em 532nm e não o 532nm puro. Esse feixe resultante promove o efeito fotoacústico sobre papéis fotográficos utilizados para avaliação do alinhamento da cavidade *laser* e observação do beam profile, bem como são mensurados pelos sensores fotovoltaicos com valores elevados, gerando a falsa impressão de que a geração de segunda harmô-

nica ocorreu com alta eficiência. Essa impressão é corroborada sensorialmente pela variação do efeito Purkinje já citado, uma vez que nossa retina é mais sensível a luzes no centro do espectro, ou seja, justamente na faixa de luz emergente do KTP após ser irradiado pela banda de emissão mais intensa do *laser* do Nd:YAG (1064nm). Dessa forma, mesmo uma pequena fração de luz em 532nm dá a impressão de que é uma luz de altíssima intensidade, principalmente quando comparada ao comprimento de onda fundamental do *laser* que pertence à faixa do infravermelho próximo, ou seja, invisível. Logo, nos testes perpetrados pelos operadores com o laser, seus sentidos são duplamente enganados,

uma vez que se vê a luz intensa emergindo da janela de saída, correspondente a um pequeno percentual de conversão do KTP, frequentemente mal posicionado e de má qualidade, e se percebe um efeito fotoacústico significativo sobre algumas estruturas pigmentadas promovido pelo componente do *laser* em 1064nm que também emerge do cristal de KTP sem ter sido convertido ou barrado por algum dispositivo de filtragem.

Infelizmente, os sensores fotoelétricos disponíveis no mercado para medição dos lasers de remoção de pigmentos (Nd:YAG Q-switched), como os de fabricação da Ophir¹³, Coherent¹⁴ e Gentec¹⁵, não discriminam por si só os comprimentos de onda presentes no feixe mensurado e são esses os instrumentos utilizados pelos OCPs que permitem a aprovação de equipamentos pelos órgãos metrológicos e sanitários. Dessa forma, o que consta nos relatórios técnicos não é uma fotografia da dose do *laser* em 532nm fornecida ao paciente de acordo com a parametrização de tela, mas, sim, um somatório de feixes coaxiais de 532nm e 1064nm, em que o componente em 532nm, de interesse para o respectivo ensaio metrológico, permanece indeterminado.

A única exceção apontada pelos ensaios realizados por ocasião desse estudo científico refere-se ao equipamento Spectra XT, de marca Lutronic e origem sul-coreana. Tal equipamento apresenta uma engenharia fotônica diversa, em que a geração, a amplificação e o controle do feixe, incluindo a geração de segunda harmônica (SHG), ocorre dentro do gabinete do equipamento em vez de ocorrer no manípulo. O feixe resultante é conduzido, posteriormente, por meio de braço articulado com espelhos até o campo operatório.

O sistema fotônico do Spectra XT limita ajustes mecânicos dos componentes ópticos por usuários, uma vez que esses elementos estão confinados. E também foi observado um maior grau de complexidade no conjunto de geração de segunda harmônica, empregando cristal de KTP de alta qualidade, dimensões maiores com pré-aquecimento monitorado pelo software do equipamento, impedindo disparos em 532nm feitos com cristal frio, minimizando os riscos de danos fotocromáticos como o famigerado gray tracking.¹⁶ O sistema também contempla filtros dicróicos para discriminação de comprimentos de onda, sendo o único equipamento analisado capaz de fornecer um feixe em 532nm monocromático em intensidade relativamente congruente com o especificado em tela, cumprindo, desta forma, o preconizado pela norma NBR/IEC 60.601-2.22.

Alguns equipamentos de laser, como o Inkie da Contourline, possui anel de ajuste do ângulo de correspondência de fase para ajuste de maior energia empregando o cristal. Entretanto, as instruções de uso não fazem referência à necessidade desse ajuste e, na maioria dos treinamentos operacionais, isso também não é citado.¹⁷ Outra dificuldade para proceder ao ajuste da posição do KTP em relação ao ângulo de correspondência de fase está na inexistência de medidores de energia em valores acessíveis para o próprio usuário fazer o monitoramento da energia máxima, sendo que isso é exigido dele frequentemente já que o KTP é um

elemento removível nesses equipamentos, requerendo reajuste a cada reinstalação e uso.

Ressalta-se que a não discriminação espectral dos componentes coaxiais do feixe resultante pode ser intencional, visando mascarar uma limitação técnica quanto à qualidade dos cristais de KTP empregados, visto que a maioria dos componentes de menor valor no mercado apresentam baixa taxa de conversão para SHG. Situação análoga em lasers de remoção de pigmentos é observada em relação à falta de correspondência entre o valor ajustado em tela para energias baixas (início de escala) e aquele medido na saída do feixe. Frequentemente, observam-se valores muitas vezes superiores a 150% na dose administrada, visto que é sabida a instabilidade de cavidades de lasers de estado sólido para remoção de pigmentos para baixas energias. Dessa forma, o projetista ajusta os parâmetros da fonte do *laser* para que, mesmo no ajuste mínimo de energia na tela, a energia seja alta o suficiente para permitir uma operação confiável, sem “pular” disparos. Assim, principalmente lasers com seleção de energia com começo de escala em 20 até 100mJ, são intencionalmente ajustados para efetuar disparos com o mínimo de 200mJ, o que inviabiliza o atendimento da norma NBR/IEC 60.601-2.22 que preconiza desvios máximos na ordem de 20% entre o valor selecionado e o efetivamente medido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Faz-se extremamente relevante ao profissional médico que, na sua excelência, objetiva o melhor resultado clínico no manejo de lesões pigmentares epidérmicas ou remoção de tatuagem, a busca da melhor ferramenta, contando com a expertise da indústria e a chancela outorgada pelo Estado. No entanto, conclui-se que todos os lasers analisados, com exceção do Spectra XT da Lutronic, não apresentaram percentual de conversão da banda de emissão fundamental em 1064nm do Nd:YAG para 532nm em níveis razoáveis para promover, em tese, de forma eficiente, a remoção de pigmentos residuais de coloração avermelhada e/ou alaranjada, uma vez que os valores indicados em tela e aqueles que efetivamente são mensurados na janela de saída do *laser* não correspondem. As análises realizadas indicam, ainda, a possibilidade de existir falha metodológica para medição dos lasers pelos OCPs quanto à conformidade perante a norma NBR/IEC 60.601-2.22 para aprovação no INMETRO e, posteriormente, pela ANVISA, de equipamentos de *laser* classe 3, exigindo estudos posteriores, com maior universo amostral, com o intuito de verificar se o comportamento observado é restrito às unidades testadas ou é uma tendência consolidada. Estudos futuros devem ser conduzidos sobre os riscos entre a associação dos comprimentos de onda 1064nm e 532nm para administração sobre mesma área tratada com a falsa informação de tela de que apenas 532nm estão sendo administrados e com energia equivalente a 50% da resultante de feixe bem como avaliações de IFUs e manuais de operações para verificar a adequabilidade às questões regulatórias das informações atinentes ao uso do cristal de KTP para geração do feixe de *laser* em 532nm. ●

REFERÊNCIAS:

- Oliveira CGB, Cohen S, Alves V. Remoção de tatuagens com laser: revisão de literatura. *Surg Cosmet Dermatol*. 2013;5(4):289-296.
- Ono MCC, Balbinot P, Morais RLSL, Freitas RS. Reações ao pigmento vermelho. *Surg Cosmet Dermatol*. 2014;6(1): 82-85.
- Kalil CLPV, Reinehr CPH. Associação entre o uso de laser de CO2 fracionada ablativo e laser Q-switched Nd:YAG 1064nm para remoção de tatuagem. *Surg Cosmet Dermatol*. 2020;12;(S1):121-123.
- Trídico LA, Antônio CR. Laser quality switched (Q-switched): revisão de suas variações e principais aplicabilidades clínicas. *Surg Cosmet Dermatol*. 2019;11(4):274-279.
- Antony FC, Harland CC. Red ink tattoo reactions: successful treatment with the Q-switched 532nm Nd:YAG laser. *Br J Dermatol*. 2003;149: 94-98.
- Eklund Y, Rubins AT. Laser tattoo removal, precautions and unwanted effects. *Curr Probl Dermatol*. 2015;48:88-96.
- Wade NJ, Brozek J, Hoskovec J. Purkinje's vision: the dawning of neuroscience. Taylor & Francis; 2001.
- Niemz MH. Laser-tissue interactions: fundamentals and applications. Springer Science & Business Media; 2007.
- Hamoudi WK, Al-Keedi JM, Hassan SI, Abdulhameed NR, Mustafa MB. Histological analysis of tattoo removal by water cavitation bubbles and jet formation using Nd: YAG and nanosecond laser pulses. *J Phys Conf Ser*; 2021.
- Brown SM, Baesso ML, Shen J, Snook RD. Thermal diffusivity of skin measured by two photothermal techniques. 1993;282(3):711-719.
- Alnayli R, Dayekh M. Study of SHG in KTP crystal. *Pakis J Biotech*. 2018;15:1-2.
- Bblaser. Potassium Titanyl Phosphate Crystal: KTP. AOTK. 2024.
- Ophir Optronics Solutions. Power & Energy & Sensors & Meters. 2022.
- Coherent. Laser Measurements Instruments. 2022.
- Gentec-EO. Laser Energy Measurement. 2022.
- Narayana PR, Nallathambi A, Subramani S. Review on gray track effects on Potassium Titanyl Phosphate single crystals. *JOJ Material Sci*. 2017;3(3): 1-4.
- Contourline Equipamentos Médicos e Diagnósticos. Manual do equipamento: INKIE HS-220. 2022.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

Rubens Pontello Junior  ORCID 0000-0002-2101-9080

Aprovação da versão final do manuscrito; revisão crítica da literatura; revisão crítica do manuscrito.

Jerry Cristian Gandin  ORCID 0000-0001-5416-8931

Elaboração e redação do manuscrito; obtenção, análise e interpretação dos dados.

Kamelyn Caroline Casagrande  ORCID 0009-0001-1585-4557

Elaboração e redação do manuscrito; obtenção, análise e interpretação dos dados.