

AVALIAÇÃO DA PROTEÇÃO OCULAR PARA LASERS TERAPÊUTICOS EM BAIXA INTENSIDADE

EVALUATION OF THE OCULAR PROTECTION FOR LOW INTENSITY LASER THERAPY

Rosely Cordon *
Gessé Eduardo Calvo Nogueira **
Carlos de Paula Eduardo ***

RESUMO

Introdução: Equipamentos a laser com baixas intensidades são freqüentemente usados em processos terapêuticos (Low Intensity Laser Therapy, LILT). Além dos efeitos benéficos, no entanto, a radiação laser também pode provocar efeitos adversos. Decorrentes da inerente característica ocular de focalização, na faixa de comprimentos de onda entre 400 a 1400nm, os limiares de danos na retina são os menores, quando comparados aos de outras partes do corpo humano. Assim, a proteção ocular é freqüentemente enfatizada e deve atenuar a radiação a um nível seguro. A norma IEC 60825-1 da International Electrotechnical Commission (IEC) sugere requisitos de segurança em equipamentos eletromédicos a laser, incluindo a proteção ocular, baseada em níveis de exposições máximas permissíveis. A legislação brasileira adota a norma IEC correspondente, a NBR IEC 601.2.22, para requisitos de segurança. O objetivo deste estudo é verificar a adequação de protetores oculares fornecidos por quatro fabricantes de equipamentos a laser, comumente encontrados no mercado brasileiro, destinados à LILT. A adequação foi verificada segundo as normas da IEC. Para este propósito, os equipamentos e os respectivos protetores oculares foram caracterizados. *Resultados e Conclusões:* Dentre os resultados obtidos, foram encontrados protetores oculares atenuando as radiações dos respectivos equipamentos a níveis seguros, mas com transmissões visuais inadequadas. Também foram encontrados protetores ineficientes e protetores indicados quando não necessários.

DESCRIPTORES: Lasers - Dispositivos de proteção dos olhos - Equipamentos de proteção - Proteção Radiológica - Normas técnicas

ABSTRACT

Introduction: The low intensity laser therapy (LILT) has been extensively used in medicine and dentistry with positive effects. However, the laser radiation can also cause adverse effects. Due to the ocular focalization property, in the wavelength from 400 to 1400 nm, the retina is more susceptible to damage by radiation than any other part of the human body. Then, the ocular protection is frequently emphasized. This protection must attenuate the radiation to a safe level. The International Electrotechnical Commission (IEC) standard IEC 60825-1 suggests safety requirements for medical laser equipments, including the ocular protection, based on maximum permissible exposure levels. The Brazilian legislation adopts a corresponding to IEC standard, the NBR IEC 601.2.22, for safety requirements. The aim of this study is to analyze the adequacy of the ocular protectors furnished by four laser equipment manufacturers, commercially available in Brazil, commonly used for LILT. For this purpose, the laser equipments and the respective ocular protectors were characterized. The adequacy was verified according to the IEC standards. *Results and Conclusions:* It was found, among other results, ocular protectors attenuating to safe levels the radiation emitted by the respective laser equipments, however, presenting inadequate visual transmission. Inefficient protection and protection indicated in cases where they were not necessary were also observed.

DESCRIPTORS: Lasers - Eye protective devices - Protective devices - Radiation Protection - Technical Standards

* Aluna do Curso de Mestrado Profissionalizante de Laser em Odontologia do Instituto de Pesquisas Energéticas (IPEN)- Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FOUSP)

** Professor Doutor do Centro de Laser e Aplicações do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)

*** Professor Titular do Departamento de Dentística da Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo (FOUSP)

INTRODUÇÃO

O uso odontológico de lasers foi largamente ampliado no início da década de 90 com a difusão do uso dos lasers de neodímio (Nd:YAG, 1990), argônio (1991), diodo (1995) e érbio (1997) United Nations Environment Program¹¹, (1982).

Atualmente os diodos laser são largamente utilizados em odontologia, operando com baixas intensidades, geralmente emitindo na faixa de comprimentos de onda entre 633 a 930nm, e são destinados à biomodulação, também denominada *Low Intensity Laser Therapy* (LILT) Karu⁶, 1998. Esses lasers são utilizados, entre outras aplicações, para promover a aceleração de processos cicatriciais, na atenuação da dor e de processos inflamatórios (Myers⁷, 2000).

Além dos efeitos benéficos dos lasers, no entanto, também são conhecidos alguns de seus efeitos adversos, bem como alguns mecanismos de interação, devido à exposição excessiva de tecidos biológicos à radiação laser, emitida em todo espectro eletromagnético (Mello⁸, 2001). O efeito, o limiar de injúria e o mecanismo de dano variam significativamente dependendo do comprimento de onda, da intensidade, do regime de operação do laser, do tempo de exposição e de características dos tecidos-alvos.

Durante as aplicações usuais de lasers, os órgãos do corpo humano normalmente sujeitos à exposição acidental são os olhos e a pele. As conseqüências da exposição sobre os olhos são geralmente mais sérias que as decorrentes das exposições sobre a pele.

O risco de injúria ocular, como conseqüência da irradiação na região do espectro óptico visível (400 a 700 nm) e infravermelho próximo (700 a 1400 nm), é de particular preocupação, pois há o risco de dano térmico e fotoquímico na retina, podendo resultar na perda parcial ou total da visão. E nessa região do espectro (400 a 1400 nm), os limiares de dano na retina são os mais baixos, quando comparados aos de outras regiões do corpo.

Visando o uso seguro de lasers, em 1982 foi publicada uma ampla revisão sobre os efeitos biológicos adversos da radiação óptica (Silva, Cechine, Eduardo¹⁰ 1992). Tomando como base esta revisão, em 1985 foi publicado um guia contendo diretrizes sobre o uso seguro de lasers *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*⁴, atualizado em 1988 *International Radiation Protection Association and International*³, 1996 *International Radiation Protection Association and International*² e 2000 (Matthes et

al.⁹, 2000). O guia sugere valores de Exposição Máxima Permissível (EMP) para pele e olhos, de fontes de radiação na faixa entre 180 nm a 1 mm, e exposições entre 100 fs a 8 horas. A EMP significa o nível máximo de radiação a que os olhos ou pele podem ser expostos sem que ocorram efeitos nocivos.

Baseada nas diretrizes do guia, a Internacional Electrotechnical Commission, IEC, elaborou uma norma técnica internacional, a IEC 60825-1, prescrevendo requisitos mínimos de segurança para equipamentos a laser, e estabelecendo diretrizes sobre a instalação e uso seguro de lasers *International Electromechanical Commission*⁵, 1996. As medidas de segurança e de controle de riscos prescritas na norma visam essencialmente minimizar o risco de exposição acidental acima dos limites seguros.

A IEC é uma organização internacional composta por mais de cinquenta países membros (incluindo o Brasil), cuja finalidade é elaborar Normas Técnicas Internacionais. No Brasil, as normas técnicas são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, fundada em 1940, sendo uma entidade privada, sem fins lucrativos e reconhecida como Foro Nacional de Normalização.

A IEC 60825-1 prescreve requisitos de fabricação, dirigidos ao projeto do equipamento a laser, especificando características técnicas que visam minimizar o risco de exposição humana à radiação laser que exceda limites seguros. Segundo a norma, o fabricante também deve prover informações aos usuários sobre características do laser, sobre os riscos de danos biológicos, e sobre medidas de prevenção de acidentes.

Procurando operacionalizar o controle de equipamentos eletromédicos (entre outros produtos controlados pela Anvisa), a Resolução no 444 da Anvisa determina o registro compulsório de equipamentos eletromédicos a laser pertencentes às Classes 3B ou 4 (classificados segundo a norma IEC 60825-1) de médio e alto risco, pelo fornecedor (fabricante ou importador), e adota os requisitos de segurança e qualidade prescritos nas normas técnicas da ABNT: a NBR IEC 601.1 (norma geral sobre equipamentos eletromédicos), e a série NBR IEC 601-2-XX (normas aplicáveis a uma classe específica de equipamentos eletromédicos). A norma técnica NBR IEC 601-2-22 da série prescreve os requisitos mínimos de segurança dos equipamentos eletromédicos a laser terapêuticos e de diagnóstico (Associação Brasileira de Normas Técnicas¹, 1997).

A solicitação do registro de equipamentos eletromédicos à Anvisa deve conter, além de outros itens, uma cópia do Certificado de Conformidade, emitido por um Organismo de Certificação credenciado no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação (SBC), definido pelo Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, SINMETRO. O Certificado deve atestar a conformidade do equipamento com as normas técnicas.

Embora o programa de controle da Anvisa ainda não abranja o uso de equipamentos eletromédicos a laser (somente controla o fornecimento), a lei federal nº 6437 de agosto de 1977 configura infração à legislação sanitária federal usar utensílios e aparelhos que interessem à saúde pública ou individual sem registro, licença ou autorização do órgão sanitário competente, sob pena de advertência, apreensão, inutilização, interdição, cancelamento do registro e/ou multa.

Segundo as prescrições da norma, dentre outras informações obrigatórias e relevantes que o fornecedor deve providenciar aos usuários, grande ênfase é dada à indicação da proteção ocular, quando necessária, e à sua especificação. A indicação e especificação são efetuadas de acordo com as prescrições das normas técnicas. No entanto, ainda é comum a especificação da proteção ocular sem qualquer critério razoável. Esse fato foi constatado durante a realização deste trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

A verificação da adequação da proteção ocular (objetivo principal deste trabalho), segundo prescreve a legislação sanitária brasileira requer, necessariamente, a utilização da metodologia prescrita na norma. Ou seja, a análise da adequação da proteção ocular fornecida ou indicada pelo fabricante de um equipamento eletromédico a laser, segundo a norma, requer a medição do nível da radiação laser disponível, e o cálculo da exposição ocular máxima permissível ao laser em consideração. Os procedimentos necessários para os cálculos e medições também são prescritos na norma. Mas a norma prescreve os procedimentos numa forma pragmática, nem sempre fornecendo justificativas ou bases técnicas e científicas, que somente são disponíveis no guia (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection⁴, 1996), (Matthes *et al.*⁹, 2000). Assim, neste capítulo são apresentadas as bases, segundo o guia e a norma, utilizadas nas medições e cálculos.

1.1. Especificação da proteção ocular

A radiação óptica é expressa, de acordo com as normas técnicas, como segue:

1. Potência radiante (ou fluxo radiante) simbolizada por (P): é igual à potência emitida, transferida ou recebida numa forma de radiação. É expressa no SI (Sistema Internacional) em watts (W).
2. A radiância (ou emitância): simbolizada por (E), representa o fluxo de energia incidente sobre a superfície de uma determinada área. É expressa no SI (Sistema Internacional) em W/m².
3. Energia radiante: simbolizada por (Q) representa o tempo integral do fluxo radiante sobre uma dada duração de tempo. É expressa em J.
4. Exposição radiante: simbolizada por (H), representa a quantidade de energia incidente em um determinado ponto dividida pela área (expressa em J/m²).

Neste trabalho foi denominada Radiação Ocular Acessível (ROA) a radiação laser acessível, medida ou calculada com o propósito de conhecer o nível de radiação ao qual é possível a exposição ocular. A ROA é medida ou calculada a uma distância de 100mm da fonte, através de uma abertura circular de 7mm de diâmetro. A distância prescrita pela norma (100mm), é a distância em que o risco de lesão ocular é maior, em relação a outras posições espaciais, pois é a distância mínima (em média) em que uma pessoa pode acomodar uma imagem na retina. Ou seja, distâncias maiores ou menores produzem imagens na retina com intensidades menores (exceto os casos em que o feixe seja colimado). E a abertura de 7mm simula a maior abertura que a pupila de um jovem pode apresentar. Aberturas menores significam menor risco.

Neste trabalho também foi denominada Exposição Ocular Máxima Permissível (EOMP) a Exposição Máxima Permissível (EMP) aos olhos, durante 0,25s, caso a radiação seja visível e contínua, ou 10s se invisível e contínua.

Para determinar a proteção ocular adequada é necessário medir ou calcular a intensidade da ROA, usando distâncias e radiômetros padronizados. Também é necessário conhecer a EOMP.

Para conhecer a EOMP precisa caracterizar o laser e conhecer o seu regime de operação, pois a norma fornece uma tabela com valores de EOMP em função do comprimento de onda do laser, tempo de exposição e de características espaciais do feixe do laser.

Caso o nível da ROA seja superior à EOMP, significando a possibilidade de exposição ocular acima da máxima permissível, a proteção ocular deve atenuar a radiação acessível (ROA) a níveis iguais ou inferiores aos níveis da EOMP.

A razão entre a radiação óptica, que incide num meio que promove a atenuação, e a radiação óptica que atravessa este meio é denominada Transmitância, T_R .

Assim, a transmitância da proteção ocular deve ser $TR \leq EEMP / EROA$, ou seja, a intensidade da radiação após a proteção ocular, que pode ser uma janela óptica ou as lentes dos óculos de segurança, deve ser menor ou igual a EOMP. Mas note-se que a transmitância máxima é definida para o laser considerado, pois depende de suas características. Ou seja, como um exemplo, a transmitância calculada para um laser pode não ser adequada para outro laser com o mesmo comprimento de onda e mesma potência, mas com características espaciais dos feixes diferentes.

A proteção ocular também pode ser caracterizada pela densidade óptica (DO) do meio que promove a atenuação: $DO \geq \log(1/T_R)$, (1.1.1); e, nesse caso, para um determinado laser, a DO deve ser maior ou igual à mínima requerida.

Para medir a ROA, a norma determina que, para a região entre 400 a 1400 nm, as medições sejam efetuadas usando-se uma abertura circular de 7mm a uma distância de 100mm do laser (para outras regiões do espectro, outras condições são prescritas). Para este propósito, foi utilizado um radiômetro marca Coherent, modelo FM, ao qual foi adaptada uma abertura circular de 7mm.

Para a faixa espectral dos lasers estudados, e para os tempos de exposições acidentais considerados, a norma fornece valores de EMP em função do ângulo aparente da fonte. O ângulo aparente da fonte é definido pela norma como o ângulo plano do qual um observador ou um radiômetro visualizam a fonte, a uma distância de 100mm da fonte. Os ângulos aparentes de todos os lasers estudados foram medidos, seguindo-se as prescrições da norma.

Todas as medições e cálculos para a determinação da ROA e EOMP foram efetuadas nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) por técnicos treinados, pois envolvem conhecimentos específicos sobre óptica e radiometria, fugindo do escopo deste trabalho. As medições foram efetuadas somente para atender aos objetivos deste trabalho, seguindo os

padrões da norma, mas não possuem valor legal, pois, segundo a Anvisa, somente laboratórios credenciados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), podem emitir Certificados de Conformidade.

Também não é objetivo deste trabalho apresentar resultados conclusivos favoráveis ou desfavoráveis, desqualificando ou qualificando os fabricantes, pois foi analisada apenas uma amostra de cada equipamento e de seus respectivos protetores oculares. Os valores das grandezas medidas podem ser diferentes se outras amostras forem analisadas, em função de variações nos processos de fabricação. A potência emitida, a divergência e a distribuição espacial do feixe podem variar significativamente nos diodos laser, mas a verificação desses parâmetros foge do escopo deste trabalho.

Conhecendo a ROA e a EOMP, foram calculadas as transmitâncias máximas dos protetores oculares de cada laser, expressas em porcentagem: $T_R(\%) \leq \frac{E_{EOMP}}{E_{ROA}} \cdot 100$ (1.1.2), onde E_{EOMP} é o valor da radiância que produz a EOMP, E_{ROA} é o valor da radiância ocular acessível medida.

Assim, a transmitância (ou a densidade óptica) requerida para a proteção ocular referente a cada laser em estudo é calculada segundo as equações já mencionadas, respectivamente (1.1.1) e (1.1.2).

1.2. Verificação da adequação da proteção ocular

O objetivo principal deste trabalho é verificar se a transmitância da proteção ocular indicada ou fornecida pelo fabricante (ou fornecedor) é adequada ao laser fornecido.

A verificação da adequação da transmitância máxima que os óculos de proteção devem apresentar foi efetuada medindo-se os valores das transmitâncias dos óculos, e comparando-se os resultados com os valores calculados segundo (1.1.2).

Os óculos de proteção foram caracterizados pelas medidas de suas transmitâncias, utilizando-se para esse propósito, um espectrofotômetro Cary 17. O espectrofotômetro utilizado é um equipamento capaz de medir a transmitância da proteção ocular numa faixa espectral, que pode ser selecionada entre 300 a 2400 nm. As transmitâncias dos óculos foram medidas na faixa espectral de 400 a 1000 nm, pois, além da necessidade de conhecer a transmitância máxima no comprimento de onda que opera o laser, é desejável conhecer a transmitância

da proteção ocular na faixa visível do espectro (400 a 700 nm). A transmitância da proteção ocular na faixa visível do espectro não deve ser excessivamente baixa, para que não dificulte a visualização da área de trabalho. Ou seja, a proteção ocular deve atenuar a radiação laser, mas não deve atenuar a luz visível. Como um exemplo, caso a proteção ocular atenuar excessivamente uma faixa ampla do espectro na região do vermelho, a proteção ocular pode ser adequada ao laser que opera na região do vermelho, mas pode ser inadequada para visualizar indicadores luminosos e avisos vermelhos.

1.3. Requisitos adicionais da proteção ocular

Segundo a norma, para que uma proteção ocular seja considerada adequada, devem ser considerados os seguintes fatores:

1. Comprimento(s) de onda de operação;
2. Radiância ou exposição radiante (RA);
3. Exposição Máxima Permissível (EMP);
4. Densidade óptica dos óculos no comprimento de onda emitido pelo laser;
5. Requisitos de transmissão de luz visível;
6. Exposição radiante, ou radiância, na qual ocorrem danos nos óculos;
7. Necessidade de lentes corretivas;
8. Conforto e ventilação;
9. Degradação ou modificação de meios absorvedores, mesmo que temporária ou transitória;
10. Resistência dos materiais (resistência ao choque);
11. Requisitos de visão periférica;
12. Quaisquer regulamentos nacionais pertinentes.

A avaliação dos itens 1 a 4 acima envolve a caracterização dos lasers para o cálculo da ROA, o cálculo da EOMP, e a caracterização dos óculos de proteção.

No entanto, embora a norma prescreva quantitativamente a densidade óptica mínima requerida, envolvendo os itens 1 a 4, não prescreve requisitos quantitativos para os itens 5 a 11. Assim, o item 5 foi qualitativamente avaliado. Os itens 6 a 11 não foram avaliados neste trabalho.

1.4. Equipamentos analisados

Quatro equipamentos a laser foram analisados. Suas principais características são descritas na seqüência. As características que seguem são as descritas nos manuais que acompanham os equipamentos pertencentes ao Laboratório Especial de Laser em Odontologia da Facul-

dade de Odontologia da USP (LELO-FOUSP).

Laser Beam modelo DR 100

O equipamento da marca Laser Beam, modelo DR 100, mostrado na Figura 1, é de procedência externa, e o modelo analisado não apresenta seu registro na Anvisa. Suas principais características e acessórios são: fabricante - Laser Beam Indústria e tecnologia Ltda; modo de emissão - contínuo ou pulsado; comprimento de onda/potência - 670 nm (10 mW), 780 nm (50 mW), 635 nm (10 mW), 650 nm (30, 50 e 250 mW), 830 nm (40 mW), 780 nm (100 mW), 808 nm (200 e 50 mW). Acessórios: bolsa, dois óculos de proteção (um para o operador e um para o assistente e uma blindagem para o paciente), manual, CD-ROM de aplicações (pesquisas) e quatro blindagens para quatro aplicadores.

O equipamento possibilita o uso de vários aplicadores (opcionais), com potências e comprimentos de onda diferentes. De acordo com a norma, é necessária a caracterização de todos os aplicadores, para se verificar a necessidade de proteção ocular para cada aplicador. E a especificação da proteção ocular é efetuada para cada aplicador. Se viável, um único filtro pode prover as transmitâncias máximas necessárias para todos os comprimentos de onda. Caso não seja viável, dois ou mais óculos são especificados para oferecer proteção em toda a faixa.

Para a realização deste trabalho foram escolhidos apenas dois aplicadores: um operando na faixa visível e outro na infravermelha do espectro, com as maiores potências disponíveis no equipamento (pois são opcionais). Assim, foi avaliado um aplicador que opera em 688 nm, com potência máxima de 50 mW, e um aplicador que opera em 808 nm, com potência máxima de 300 mW. Note-se que o critério de escolha (a maior potência) não



Figura 1: Equipamento da marca Laser Beam, modelo DR 100.

é prescrito na norma, pois a especificação da proteção ocular deve ser efetuada para cada aplicador.

Thera Lase

O equipamento marca DMC, modelo Thera Lase, de procedência nacional é mostrado na Figura 2, e não apresenta registro na Anvisa suas principais características são: fabricante - D.M.C. Equipamentos Ltda; modo de emissão - contínua ou pulsátil; comprimento de onda/potência - 830nm (300 mW), e 685 nm (35 mW). Acessórios: maleta, três óculos de proteção (dois com janelas azuis e um com janela preta), CD- ROM e cabo com fibra óptica sobressalente.



Figura 2: Equipamento da marca DMC, modelo Thera Lase.

Twin Laser

O equipamento da marca MM Optics, modelo Twin Laser, de procedência nacional, é mostrado na Figura 3. O equipamento analisado não apresenta registro na Anvisa, e suas principais características são: fabricante - MM Optics Ltda; modo de emissão - contínua; comprimento de onda/potência - 780nm (70 mW) e 660nm (40mW). Acessórios: - maleta, software para auxílio no cálculo do tempo de dosagem, três óculos: dois para o aplicador (um para 780nm, com armação branca, e um para 660nm, com armação azul), e um para o paciente (com armação preta).



Figura 3: Equipamento da marca MM Optics, modelo Twin Laser

Kondortech

O equipamento a laser Kondortech, modelo não especificado, de procedência nacional, apresenta registro na Anvisa, e suas principais características informadas no manual do usuário são: fabricante - Kondortech Equipamentos Odontológicos Ltda; modo de emissão - contínua; comprimento de onda/potência - 660nm (30 mW). Acessórios: maleta; dois óculos, um cabo elétrico e um aplicador.



Figura 4: Equipamento a laser Kondortech.

RESULTADOS

A especificação da proteção ocular requer o conhecimento não somente do comprimento de onda que opera o laser, como também da exposição ocular máxima permissível (EOMP) e da radiação ocular acessível (ROA), referentes ao laser para o qual a proteção é especificada.

Neste tópico, são apresentados os valores de EOMP e ROA de cada laser analisado, e, em função desses valores é apresentada a especificação da proteção ocular de cada laser, quando necessária. Deve-se notar que os valores de EOMP e ROA são referentes a cada laser, pois três dos quatro equipamentos analisados são equipados com dois lasers diferentes.

2.1. Caracterização dos Equipamentos

Os níveis de radiação laser acessível (E_{ROA}) medidos, e os valores de EMP oculares calculados (E_{EOMP}), e as transmitâncias $T_R = E_{EOMP}/E_{ROA}$ dos lasers estudados são apresentados na Tabela 1, assim como as potências máximas de cada laser (P_{max}), medidas nas aberturas dos lasers, usadas para verificar a integridade dos lasers (e fibras ópticas, quando aplicáveis). A P_{max} é a potência total irradiada na abertura do laser, e em geral é superior à potência medida a 100mm da abertura (usada para medir a ROA), pois geralmente os feixes são divergentes, e a potência coletada na abertura de 7mm (a 100mm da fonte) é menor.

Tabela 1: Valores de exposição ocular máxima permissível, de radiação ocular acessível, dos lasers analisados e os valores de transmitância e densidade óptica requeridos para cada laser.

	BEAM-L1	BEAM-L2	THERA-L1	THERA-L2	TWIN-L1	TWIN-L2	KOND-L1
	688 nm	808 nm	685 nm	830 nm	660 nm	780 nm	660 nm
	50 mW	300 mW	35 mW	300 mW	40 mW	70 mW	30 mW
P_{max} (mW)	49	344	28	288	41	77	33
EEOMP (W/m ²)	68,8	16,6	102	10	815	57	323
EROA (W/m ²)	1030	1169	70	909	93	213	47
EROA/ EEOMP	15	70	0,7	91	0,1	3,7	0,14
TR (%)	6,7	1,4	x	1,1	x	27	x
DO	1,2	1,8	x	2	x	0,6	x

Obs. O símbolo (x) significa proteção ocular não necessária.

Nas análises que seguem são denominados L1 os lasers operando no visível e L2 os lasers operando no invisível. Exemplificando, Beam-L1 é o Laser Beam operando em 688 nm, Beam-L2 é o Laser Beam operando em 808 nm, e demais denominações conforme mostra a Tabela 1.



Figura 5: Óculos de proteção: Laser Beam (A); Thera Lase (B); Twin Laser (C); Kondortech (D).

2.2. Caracterização dos óculos de proteção

Todos os óculos analisados não foram identificados pelo fabricante, conforme sugere a norma. Para a realização deste trabalho, os óculos foram identificados de acordo com as cores de suas armações, como segue:

1. Beam-P1 e Beam-P2 (armações pretas) do equipamento Laser Beam;
2. Thera-P1 (janela azul) e Thera-P2 (janela preta) do equipamento DMC Thera Laser;
3. Twin-P1 (armação preta), Twin-P2 (armação Azul, para 660 nm) e Twin-P3 (armação Branca, para 780 nm), do equipamento Twin Laser e;
4. Kondortech-P1 e Kondortech-P2 do equipamento Kondortech.

DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 1, pode-se verificar que os lasers operam na faixa visível e invisível do espectro, ou seja, entre 660 a 688 nm (visível) e entre 780 a 830 nm (IR próximo) respectivamente. As potências nominais (potência emitida na abertura do laser) dos lasers que operam na faixa visível estão na faixa entre 28 a 48 mW, enquanto as potências emitidas pelos lasers que operam na faixa invisível estão na faixa entre 77 a 344 mW.

Excetuando o laser Beam-L1, as Radiações Oculares Acessíveis (ROAs) dos lasers analisados que operam na faixa visível do espectro, expressas em Radiância, estão na faixa entre 47 a 93 W/m², enquanto as ROAs dos lasers que operam na faixa invisível do espectro estão na faixa entre 231 a 1169 W/m². A ROA medida do laser Beam-L1 (visível) é 1030 W/m², ou seja, significativamente superior às ROAs dos demais lasers visíveis, pois a divergência do seu feixe é pequena comparada à dos demais lasers.

Os valores das Exposições Oculares Máximas Permissíveis (EOMP) dos lasers que operam na faixa visível do espectro, expressos em Radiâncias, estão na faixa entre 68,8 a 815 W/m², enquanto as EOMPs dos lasers que operam na faixa invisível do espectro estão entre 10 a 57 W/m².

Todos os lasers analisados que operam na faixa invisível do espectro apresentam níveis da ROA superiores aos respectivos níveis da EOMP, ou seja, a razão EROA/ E vEOMP desses lasers está na faixa entre 3,7 a 91 vezes. Portanto todos esses lasers podem provocar lesões oculares.

Dentre os lasers analisados que operam na faixa visível do espectro, apenas o laser Beam-L1 apresenta nível de ROA superior ao seu respectivo nível de EOMP, resultando a razão EROA/ EOEMP igual a 15 vezes. Os demais lasers apresentam níveis de ROA inferiores aos respectivos níveis de EOMP. Portanto, apenas o laser Beam-L1 tem potencial de causar lesão ocular.

Com relação aos óculos de proteção, note-se que alguns fabricantes fornecem óculos diferentes para o paciente e o usuário. Mas a norma não diferencia a proteção ocular de pacientes e usuários. A Tabela.2 mostra a síntese dos resultados obtidos, ou seja, a adequação ou inadequação dos óculos referentes ao laser para o qual foram especificados.

Nota-se, então, que Beam P2 para Beam L2 (808nm) os óculos de proteção mostraram-se inadequados, estando adequados em : Beam P1 para Beam L1(688nm)

Tabela 2: Resultados das avaliações das adequações das proteções oculares dos lasers analisados.

Laser/ Óculos	Beam- L1 688 nm	Beam-L2 808 nm	Thera-L1 685 nm	Thera-L2 830 nm	Twin-L1 660 nm	Twin-L2 780 nm	Kond-L1 660 nm
Beam-P1	A	A					
Beam-P2	A	I					
Thera-P1			X	A			
Thera-P2			X	A			
Twin-P1					X	A	
Twin-P2					X	A	
Twin-P3					X	A	
Kond.-P1							X
Kond.-P2							X

Obs: O símbolo (X) significa proteção ocular não necessária, (A) adequada e (I) inadequada.

e para Beam L2 (808nm), Thera P1 e P2 para Thera L2 (830nm) e Twin P1, P2 e P3 para Twin L2 (780nm). Os óculos de proteção para os outros comprimentos de onda não são necessários.

CONCLUSÕES

Todos os óculos de segurança analisados apresentaram suas transmitâncias inferiores às máximas seguras nos comprimentos de onda dos respectivos lasers (para os quais foram especificados), exceto os óculos Beam-P2, que apresentam transmitância superior à máxima segura para o laser Beam-L2, que emite em 808 nm.

Exceto os óculos Twin-P2 e Twin-P3, todos os de-

mais apresentam baixas transmissões na faixa visível do espectro, ou seja, atenuam desnecessariamente e, em alguns casos, excessivamente a luz (visível), dificultando ou impossibilitando a visualização da área de trabalho e avisos luminosos ou escritos (placas de advertência e alertas).

Os resultados obtidos indicam a necessidade de se observar não somente a correta especificação da proteção ocular, conforme as prescrições da norma, como também, sempre que necessária, a proteção ocular, manter a transmissão na faixa visível do espectro dentro de níveis adequados, e identificar claramente os óculos, associando-os aos lasers para os quais foram desenhados.

REFERÊNCIAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Equipamento eletromédico. Parte 2: Prescrições particulares para a segurança de equipamento terapêutico e de diagnóstico a laser*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997 (NBR IEC 60601-2-22:1997).
2. International Radiation Protection Association and International Non-Ionizing Radiation Committee, Guidelines on limits of exposure to laser-radiation of wavelengths between 180 nm and 1 mm. *Health Physics*, 1985 Aug; 49(2), p. 341-59.
3. International Radiation Protection Association and International Non-Ionizing Radiation Committee, Recommendations for minor updates to the IRPA 1985: guidelines on limits of exposure to laser-radiation, *Health Physics*, 1988 May; 54(5):573-4.
4. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Guidelines on limits of the exposure to laser radiation of wavelengths between 180 nm and 1.000 um. *Health Physics Society*, 1996 Nov; 71(5):804-19.
5. International Electromechanical Commission. Consolidated Edition 1.2: *Safety of laser products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*. Geneva: IEC, 2001 (IEC 60825-1:2001, Ed. 1.2, 2001-08).
6. Karu, T. Primary and secondary mechanisms of action of monochromatic visible and near infrared radiation on cells. *The Science of low-power laser therapy*, Amsterdam, 1998, p. 53-94.
7. Myers TD. The future of lasers in dentistry. *The Dental Clinical of North America*, 2000 Oct; 44(4): 971-80.
8. Mello RL.T. Laser em odontologia, São Paulo: Santos, 2001. p78-85.
9. Matthes R, *et al*, Revision of guidelines on limits of exposure to laser radiation of wavelengths between 400 nm and 1.4 um. *Health Physics*, 2000 Oct; 79(4):431-40.
10. Silva, NMM, Cechine RCM, Eduardo CP. Aplicação clínica do soft laser em odontologia. *Rev. Paul. Odont.* 1992 Jul-Ago; 14(4): 30-2.
11. United Nations Environment Program; World Health Organization; International Radiation Protection Association. *Lasers and Optical Radiation*. Geneva: World Health Organization; (bib virtual saúde), 1982.

Recebido em: 04/08/2005

Aceito em: 14/12/2006