

2. Fundamentos Físicos: Laser e Luz Intensa Pulsada

A luz está presente em praticamente todos os momentos de nossas vidas e tem fundamental importância para a sobrevivência da vida no planeta. Atualmente, vários equipamentos médicos utilizam luz para diferentes aspectos de seu funcionamento. Nesta dissertação, foram realizados estudos referentes à avaliação da conformidade de equipamentos médicos a laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, amplificação da luz por emissão estimulada de radiação) e Luz Intensa Pulsada (*Intense Pulsed Light*, IPL). A seguir, faz-se uma revisão sobre conceitos básicos relacionados à radiação luminosa, ao laser e ao IPL.

2.1. Radiação Luminosa

A radiação eletromagnética de comprimento de onda na faixa da radiação ultra-violeta até a infra-vermelha - aproximadamente entre 200 nm e 20 μm - é usualmente chamada de luz (Figura 1). A capacidade de enxergar todos os comprimentos de onda do espectro visível varia de pessoa para pessoa, mas, por definição, a luz visível tem comprimento de onda entre 400 nm e 700 nm [3].

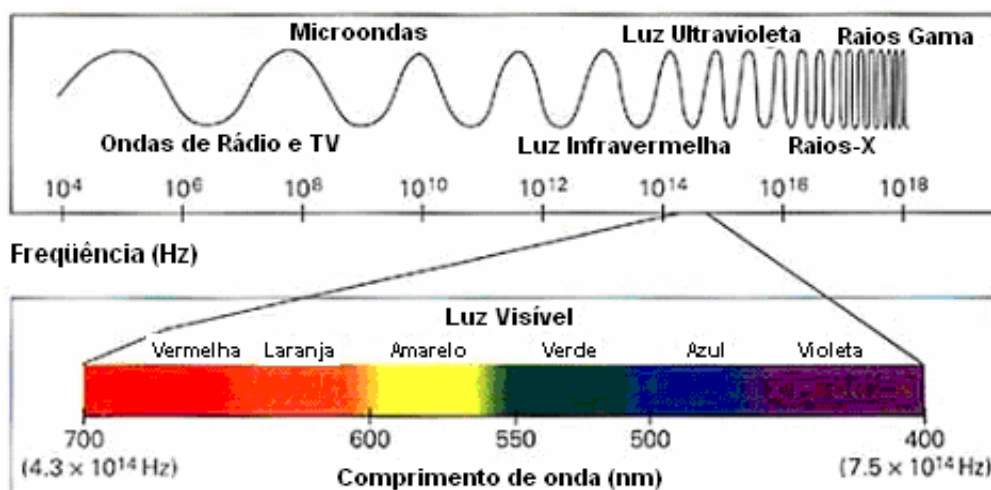


Figura 1 – Espectro Eletromagnético [4]

A velocidade da luz no vácuo (c_0) é uma constante cujo valor foi fixado em 1975 pela 15ª Convenção Geral de Pesos e Medidas (CGPM) do Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) como sendo igual a 299 792 458 m/s

[3]. A partir deste valor, do índice de refração do meio e do comprimento de onda da luz, é possível calcular a velocidade de propagação da luz em outros meios.

As características básicas da luz são: frequência, intensidade ou amplitude (brilho), e polarização [5]. Para o estudo das normas e equipamentos nesta dissertação, trabalhou-se principalmente com as seguintes grandezas: frequência, cuja unidade no sistema internacional de unidades (SI) é o hertz (Hz); comprimento de onda, geralmente expresso na unidade no sistema SI metro (m) combinado com o prefixo para 10^{-9} (nm); energia, cuja unidade no SI é o Joule (J); e potência, cuja unidade no SI é o Watt (W). A relação entre potência e energia é dada por [6]

$$\text{Potência (Watt)} = \text{Energia (J)} / \text{Tempo (s)} \quad (1)$$

A luz pode ser monocromática ou policromática. A luz monocromática é composta de um único comprimento de onda, e a luz policromática é composta por vários comprimentos de onda.

Com relação à natureza da luz, esta exibe propriedades de onda e propriedades de partícula. Esta característica, chamada de dualidade onda-partícula, é um conceito básico da mecânica quântica que afirma que todos os corpos têm natureza tanto de partícula quanto de onda. Isso significa que a luz pode ser representada por ondas eletromagnéticas ou por fótons, dependendo da situação [6]. A representação da luz composta por fótons é mais conveniente para se discutir a absorção e emissão da luz.

A Figura 2 mostra a amplitude, que está relacionada à intensidade da luz. Esta é uma medida escalar (positiva) da magnitude da onda, que determina a quantidade de energia transportada. Assim, quanto maior a amplitude de uma onda, maior a energia transportada.

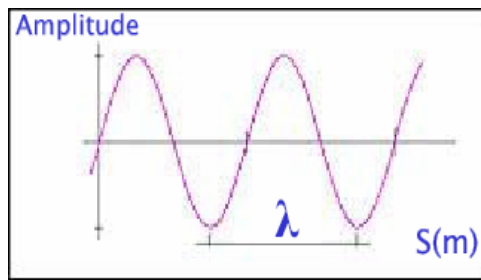


Figura 2 – Amplitude e comprimento de onda [12]

A Figura 2 também mostra o que é o comprimento de onda (λ) de uma onda monocromática, que no caso da luz visível está associada à cor percebida pelo olho humano. O comprimento de onda (λ) é definido pela distância entre duas “máximas” ou “mínimas” vizinhas [7].

O comprimento de onda da luz varia conforme o índice de refração do meio em que se propaga, mas a frequência (f) permanece constante [5]. A relação entre o comprimento de onda e a frequência (f) da luz é dada pela relação [11]

$$\lambda f = c \quad (2)$$

onde c é a velocidade da luz no meio em que está propagando e é função do índice de refração do meio [7].

A energia da luz em função da frequência da onda é dada por [5],

$$E = hf, \quad (3)$$

onde E é a energia e h é a constante de Planck [6].

2.2. Laser

Como mencionado anteriormente, laser é o acrônimo da expressão em inglês *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, que em português significa amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

O modelo do átomo de Bohr pode ser usado para explicar a absorção e emissão de luz (radiação). Em 1912, Bohr determinou algumas leis para desenvolver um modelo para o átomo, no qual os elétrons giram em órbita ao redor do núcleo atômico [13]. Neste modelo, o átomo é representado por um

núcleo (carregado positivamente) e por elétrons (carga negativa) circulando ao redor deste núcleo. Os elétrons circulam em determinadas órbitas, cada qual com um nível de energia definido. O estado quântico do átomo ou molécula dependerá da distribuição dos elétrons nos vários níveis possíveis de energia. Átomos absorvem e emitem luz unicamente se puderem passar de um estado de energia para outro [6; 14].

A absorção de luz ou de outra forma de energia ocorre quando um elétron recebe energia por excitação térmica, colisão de elétrons ou absorção de fótons [6; 8].

A Figura 3a mostra o átomo migrando de um nível energético mais baixo para um mais alto. Os átomos só podem absorver energia em valores quantizados, pois a absorção de energia só ocorre se for exatamente igual à diferença entre dois níveis de energia possíveis para o elétron. Da mesma forma, na emissão espontânea a energia emitida é igual à diferença de energia entre o nível inicial e o final. Na emissão espontânea (Figura 3b), os átomos emitem luz incoerente (sem relação de fase) e em várias direções, sendo que, em meios homogêneos, a luz emitida apresenta uma direção preferencial [2; 6; 8; 15]. Na emissão estimulada (princípio de funcionamento do laser), um fóton incidente estimula a emissão de outro fóton, que, por sua vez, é idêntico ao primeiro fóton (Figura 3c). Um sinal de entrada faz com que os átomos de um meio ativo emitam fótons coerentes (emissão de luz em fase com o sinal de entrada, onde apenas uma fase define a onda eletromagnética) [8].

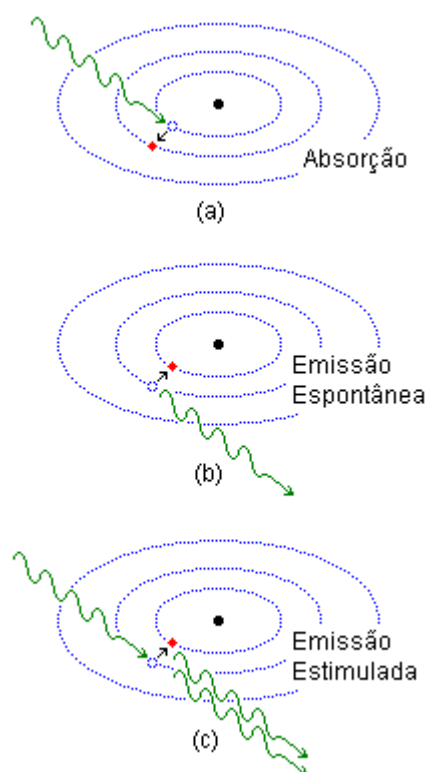


Figura 3 – Transição de elétrons entre níveis de energia por (a) absorção, (b) emissão espontânea, e (c) emissão estimulada [9].

A amplificação (ou ganho óptico) de um sistema laser é bem definida por um amplificador comum: um sistema que proporciona um sinal de saída maior que o de entrada, quando muito bombeado [2]. Esse ganho do laser é resultado da emissão estimulada de fótons. O meio amplificador de um laser fica situado entre dois espelhos, permitindo a reflexão dos fótons e sua amplificação [8].

O laser pode ser classificado segundo o meio ativo e o tipo de excitação utilizada para desencadear o processo [16]. O meio ativo - que é composto por grande número de átomos, moléculas ou íons [17] - pode ser sólido, líquido, gasoso ou semiconductor. Vários materiais podem ser utilizados no interior de uma cavidade óptica como meio ativo: isolantes dopados (Cr^{3+} , cristais de Nd:YAG, Er:YAG, Ho:YAG); corantes orgânicos diluídos em solventes líquidos (Rodamina 6G e Cumarina 2); semicondutores (diversos tipos de diodo); e excímeros (moléculas diatômicas: KrF, XeCl; e químicos, produzidos por reações exotérmicas: HF, CO).

As principais características do laser são: feixe colimado, luz coerente, e, em grande parte dos lasers, luz monocromática; o laser também pode ser contínuo

ou pulsado [1; 2; 18]. Existem diversos tipos de laser utilizados na medicina e alguns deles são apresentados no capítulo 3.

2.3 Luz Intensa Pulsada

O IPL é uma fonte de luz de alta intensidade que emite luz policromática (515 nm a 1200 nm) [19; 20; 21], não colimada e não coerente.

Numa lâmpada de Xenônio, fonte do EEM IPL, o filamento da lâmpada se aquece devido à corrente elétrica que o atravessa, por efeito Joule [15].

O Xenônio é comumente usado como uma fonte de luz devido à iluminação brilhante que fornece quando exposto à energia. A lâmpada de Xenônio, primeiramente desenvolvida para servir de fonte de bombeio para o laser, vem sendo usada terapeuticamente com aplicações diretas. Nos anos 60, começou a ser usada com propósitos médicos, ao surgirem dados em uma publicação que abordava, entre outros temas, um tipo de tratamento da pele [12]. Até o presente momento, não são utilizadas outras fontes para equipamentos eletromédicos a IPL que não sejam as lâmpadas de Xenônio.