

Célia **KALIL** . Valéria **CAMPOS**

M A N U A L D O

LASER

Novas tecnologias e outras fontes
de energia eletromagnética
na dermatologia

DiLivros

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

Laser e Sua Interação com os Tecidos, 1

» Álvaro Boechat

CAPÍTULO 2

Biossegurança em Laser e Tecnologias, 53

» Moyses Costa Lemos

CAPÍTULO 3

Lasers Vasculares, 69

» Rodrigo Kikuchi

» Luiza Pitassi

» Gabriel Variengo

CAPÍTULO 4

Laser em Tatuagem, 99

» Alexandro Filippo

» Gustavo Robertson Filippo

CAPÍTULO 5

Depilação a Laser na Pele, 113

» Valéria Campos

» Flávia Pereira Reginatto Grazziotin

CAPÍTULO 6

Laser Fracionado Ablativo, 129

» Cristiane Dal Magro

» Francisco Eduardo Machado Leite

CAPÍTULO 7**Lasers Fracionados Não Ablativos, 145**

- » Nuno Osório
- » Stela Cignachi

CAPÍTULO 8**Luz Intensa Pulsada, 161**

- » Célia Luiza Petersen Vitello Kalil
- » Juliana Favaro Izidoro
- » Laura de Mattos Milman

CAPÍTULO 9**Diodo Emissor de Luz, 177**

- » Luiza Pitassi
- » Julia Frota Variani

CAPÍTULO 10**Tratamento de Doenças com Laser e Outras Fontes de Luz, 203**

- » Célia Luiza Petersen Vitello Kalil
- » Clarissa Prieto Herman Reinehr

CAPÍTULO 11**Terapia Fotodinâmica, 223**

- » Luís Antonio R. Torezan

CAPÍTULO 12**Lasers, Luz Intensa Pulsada e Drug Delivery, 237**

- » Célia Luiza Petersen Vitello Kalil
- » Valéria Campos
- » Christine Rachelle Prescendo Chaves

CAPÍTULO 13**Tratamento da Gordura Localizada. O que Está ao Alcance do Dermatologista?, 259**

- » Abdo Salomão Júnior
- » Gustavo Bastos Salomão
- » Gabrielle Hernandes Navarro Kuschnaroff

CAPÍTULO 14**Tratamento de Celulite e Flacidez, 275**

- » Analupe Webber
- » Juliana Mehreb Jordão
- » Isabella Osorio Wender

CAPÍTULO 15**Tratamento de Hipocromias com *Laser* e Outras Fontes de Luz, 295**

- » Tatiana Steiner
- » Denise Steiner

CAPÍTULO 16**Tratamentos com Tecnologias e Resultados: Enfoque na Avaliação Nutrológica, 307**

- » Fellipe Savioli
- » Tatiana Villas Boas Gabbi

CAPÍTULO 17***Lasers* de Picossegundos, 319**

- » Emerson Vicente Alves
- » Flávia Mascarenhas Damiani

CAPÍTULO 18**Evoluções Constantes nas Tecnologias. Microagulhada Robótica – Ultrassom Micro/Macrofocado, 337**

- » Abdo Salomão Júnior
- » Gustavo Bastos Salomão
- » Gabrielle Hernandez Navarro Kuschnaroff

CAPÍTULO 19**Tratamento da Pele Negra, 357**

- » Katleen da Cruz Conceição
- » Leonardo José Lora Barraza

CAPÍTULO 20**Tecnologias na Genitália Externa e Interna, 379**

- » Shirlei Borelli
- » Caroline Andrade Rocha

CAPÍTULO 21

Campo Eletromagnético, 387

- » Clarissa Bravin Kian
- » Valéria Campos

Índice Remissivo, 403

Laser e Sua Interação com os Tecidos

● Álvaro Boechat

INTRODUÇÃO

A luz é uma das mais belas formas de energia pura, conhecemos algumas de suas propriedades terapêuticas; porém, muito ainda existe por ser explorado. Nos últimos anos, equipamentos que utilizam ondas eletromagnéticas trouxeram novas formas de tratamento para o universo da dermatologia, provocando modificações profundas e duradouras. O objetivo deste capítulo é fornecer um melhor entendimento sobre essas conhecidas ferramentas de luz utilizadas na medicina moderna, como os raios *lasers*, o *LED*, a *luz intensa pulsada (LIP)*, *passando pelo advento do sistema fracionado*, e a *radiofrequência*; e como *interagem com a pele*, e, *dessa forma, possibilitar o aprimoramento das técnicas de tratamento atuais, bem como ampliar os horizontes de aplicações*.

O *laser*, o *LED*, ou a *luz intensa pulsada* são simplesmente fontes de luz natural. A luz visível, que experimentamos em nosso dia a dia, é apenas uma pequena parte de um fenômeno físico muito mais abrangente conhecido como “Radiação Eletromagnética”.

Como observamos na Figura 1.1, o espectro eletromagnético engloba vários fenômenos conhecidos, como as ondas de TV e rádio, a radiofrequência utilizada nos equipamentos médicos, as micro-ondas, o infravermelho, e do outro lado do espectro, o ultravioleta, os raios X e os raios gama. Nossos olhos, porém, possuem a sensibilidade apenas para uma faixa muito estreita do espectro, formando então a luz visível, desde a violeta (400 nm) até a vermelha (750 nm). É importante perceber que a cada cor visível, ou cada emissão do espectro, está associada uma frequência, ou um comprimento de onda. Como as frequências luminosas são muito altas, da ordem de milhões de Hertz, caracterizamos a luz pelo comprimento de onda, ou a distância entre dois picos adjacentes da onda ilustrados na Figura 1.2.

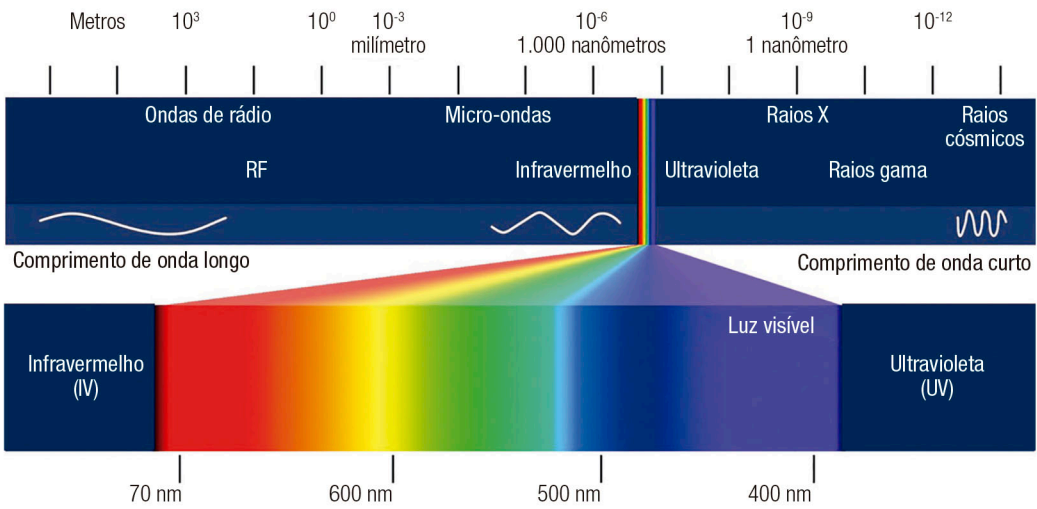


FIGURA 1.1. O espectro eletromagnético.

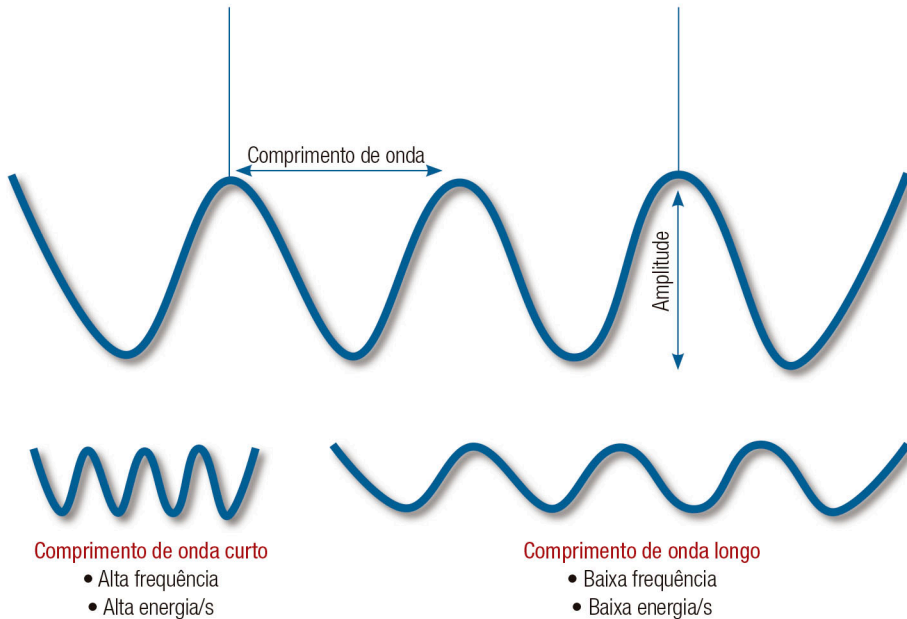


FIGURA 1.2. Ondas eletromagnéticas de fótons que transportam energia.

LASER

A palavra **LASER** é o acrônimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, o que significa **amplificação da luz por emissão estimulada de radiação**. Podemos dividir esta sigla em duas partes muito bem definidas: o fenômeno da emissão estimulada e a amplificação luminosa.

Emissão estimulada

A luz é uma forma de energia gerada, emitida ou absorvida por átomos ou moléculas. Para emitir energia, o átomo ou a molécula precisam ser elevados a um nível de excitação de energia, acima de seu estado natural de repouso (no qual existe excesso de energia para ser descarregada). Átomos, como seres humanos, não conseguem manter a excitação por períodos longos de tempo. Conseqüentemente, eles têm a tendência natural de se livrar do excesso de energia, na forma de emissão de partículas ou pacotes de ondas luminosas chamadas fótons (Figura 1.3). Este fenômeno é chamado de emissão espontânea da luz.

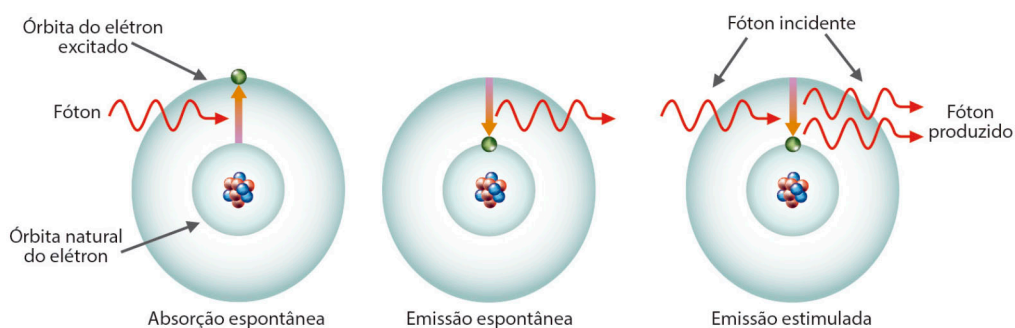


FIGURA 1.3. Emissão espontânea e estimulada da luz.

Cada átomo ou molécula na natureza possui níveis de excitação energéticos distintos. Conseqüentemente, elementos diferentes emitirão fótons com energias diferentes, e assim comprimentos de onda (frequências) distintos. Todas estas radiações primárias são desta forma monocromáticas. O fato de a luz do sol ser policromática indica que a matéria que a compõe é uma mistura de vários elementos distintos. É dessa forma que astrônomos conseguem determinar os elementos que compõem uma estrela, observando os comprimentos de onda que ela emite.

Outra relação importante é da frequência com o comprimento de onda:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

em que

f – frequência da onda luminosa (Hz)

c – velocidade da luz = 300.000 km/s

λ – comprimento de onda da luz (nanômetros – nm)

Percebemos que essas duas grandezas são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a frequência, menor é o comprimento de onda.

Os átomos podem ser excitados por diferentes mecanismos: aquecimento, choques mecânicos com outras partículas, como em uma descarga elétrica (choque com elétrons), ou por outra radiação eletromagnética, quando eles seletivamente absorvem a energia de outros fótons. Átomos, também, podem decair produzindo uma radiação luminosa de uma forma **estimulada**. Em 1917, Albert Einstein postulou e provou a existência desse mecanismo. Quando um átomo excitado colide com um fóton, ele instantaneamente emite um fóton idêntico ao primeiro (Figura 1.3). Essa emissão estimulada segue as seguintes leis básicas:

- a) O fóton estimulado viaja na mesma direção do incidente;
- b) O fóton estimulado sincroniza sua onda com o incidente, em outras palavras as ondas dos dois fótons alinham suas cristas somando suas magnitudes e aumentando dessa forma a intensidade da luz emitida. Fótons com as cristas alinhadas produzem então uma luz coerente, ou organizada.

O resultado final de uma emissão estimulada é então um par de fótons que são coerentes e viajam na mesma direção. A emissão estimulada da luz constitui a base do funcionamento de um *laser*, inventado há mais de 50 anos após a descoberta de Einstein.

Amplificação luminosa

Em termos básicos o que diferencia um *laser* de uma lâmpada comum é a **amplificação**. Além de gerar a luz o *laser* a amplifica. Para ilustrar o mecanismo de geração de luz por um *laser*, vamos imaginar, inicialmente, uma caixa retangular ou um tubo, cilindro reto, contendo uma grande quantidade de átomos ou moléculas iguais. Como, por exemplo, um tubo de uma lâmpada fluorescente, com seu gás. Em cada ponta do tubo colocamos espelhos, que por construção estarão paralelos um ao outro: o espelho de um terminal é totalmente refletor; e o da outra ponta (a janela de saída da luz) é parcialmente refletor – 80% da luz é refletida de volta ao tubo e 20% transmitida através do espelho para o exterior.

Vamos imaginar, também, que os átomos são excitados a um nível de energia elevada por uma fonte externa (uma fonte luminosa ou uma descarga elétrica). Como se acionássemos o interruptor ligando a lâmpada. Por intermédio do mecanismo de emissão espontânea, que acontece de forma totalmente aleatória, os átomos começam a emitir fótons que então viajam em várias direções dentro do tubo. Aqueles que batem contra a parede do tubo são absorvidos e perdidos na

forma de calor, desaparecendo de cena. No caso da lâmpada, saem para o ambiente, produzindo uma iluminação. Por outro lado, os fótons emitidos que viajam na direção paralela ao eixo do tubo têm grande probabilidade de encontrar outro átomo excitado e, dessa forma, estimular a emissão de fótons adicionais, coerentes com o fóton estimulador e viajando na mesma direção – ou seja, ao longo do eixo longitudinal do tubo. Esses dois fótons continuam sua viagem, outra vez com a probabilidade de estimular, por um processo semelhante, dois fótons adicionais – todos coerentes entre si e viajando no mesmo eixo. A progressão continua indefinidamente e 8, 16, 32, 64 etc. fótons são produzidos, todos viajando na mesma direção; conforme ilustra a Figura 1.4.

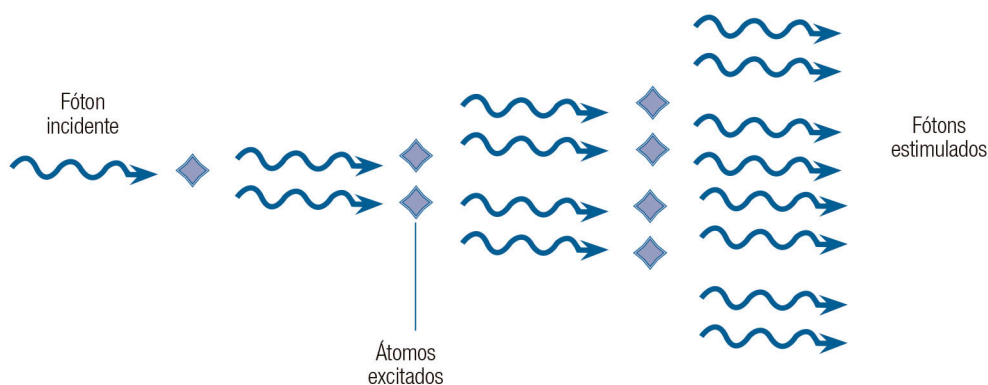


FIGURA 1.4. Reação em cadeia produzindo fótons dentro de um *laser*.

Está, então, claramente caracterizado um processo de amplificação luminosa que gera um grande fluxo de luz, na direção longitudinal ao tubo como apresenta a Figura 1.5A e B. O tubo e seu meio excitado, juntamente com os espelhos, constituem o chamado ressonador (ou oscilador) que adicionado à fonte de excitação constituem os componentes básicos de um *laser*.

Características da luz de um *laser*

Pelo descrito anteriormente verificamos que a luz de um *laser* possui propriedades únicas que as diferenciam de outras fontes luminosas:

- Monocromática:** porque é gerada por uma coleção de átomos ou moléculas idênticas, todas emitindo fótons com um mesmo comprimento de onda, uma só frequência. Essa característica é importante em razão da absorção seletiva do tecido humano, que ficará mais evidente na próxima seção.

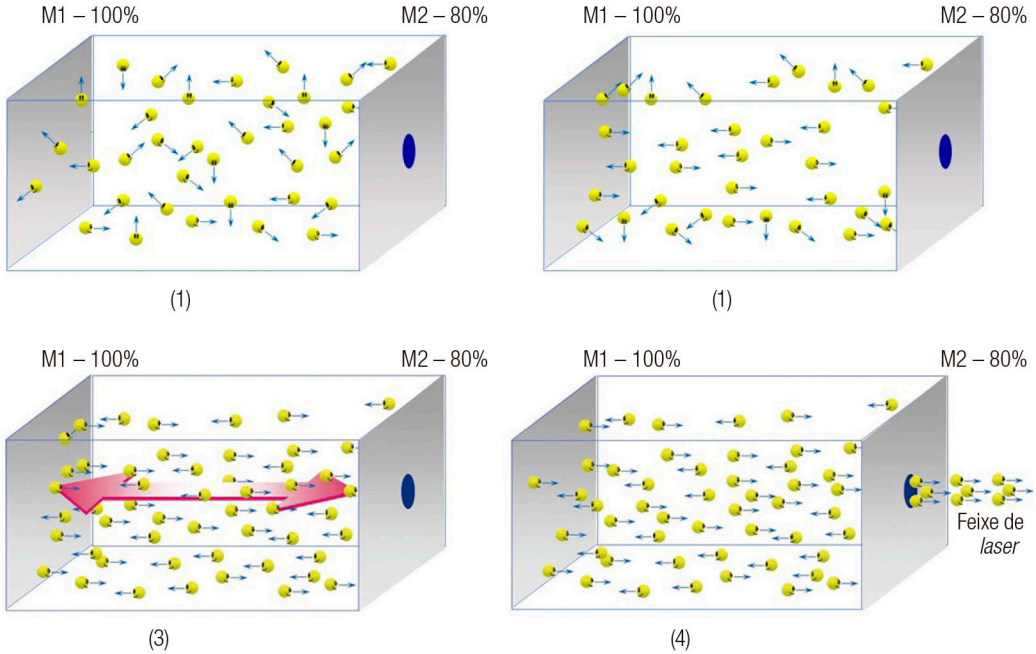


FIGURA 1.5. Amplificação luminosa e formação do feixe de *laser* dentro de um ressonador. M1 espelho refletor 100% e M2 espelho refletor parcial de 80%. **(1)** e **(2)** Átomos excitados produzem fótons que começam a viajar longitudinalmente entre os espelhos. **(3)** e **(4)** Somente os fótons viajando paralelo ao eixo do ressonador estimulam novos fótons produzindo então o feixe de *laser*.

b) **Coerente:** em virtude da emissão estimulada, e a forma como a luz é amplificada apenas na direção longitudinal dentro do ressonador, os fótons adquirem essa característica organizada, como soldados marchando em um desfile militar. Também chamada de paralela ou colimada. Isso é denominado coerência espacial e temporal. Em qualquer ponto de um feixe de *laser*, os fótons (ou a luz):

- possuem a mesma energia;
- viajam na mesma direção ao mesmo tempo.

■ Energia, potência e fluência

O aumento de temperatura ou efeito do tratamento no tecido depende da quantidade de energia que lhe é entregue. A energia, a potência e a fluência (concentração de energia) são parâmetros físicos que controlam o efeito do tratamento ou determinam o eventual aumento de temperatura.

- *Energia:* é medida em Joules (J);
- *Potência:* é medida em Watts (W).

São grandezas diferentes e se relacionam com a seguinte equação:

$$\text{Energia (J)} = \text{potência (W)} \times \text{tempo (s)}$$

Portanto, a energia é a quantidade de potência entregue ao tecido em um dado intervalo de tempo, ou a duração do pulso do *laser*. O efeito térmico do *laser* é, extremamente, localizado. Assim, a quantidade física que governa a resposta térmica do tecido é a quantidade de energia entregue a uma determinada área, em geral o tamanho da área de aplicação ou *spot-size* produzido pela peça de mão do *laser*. Ou seja, o efeito da luz no tecido é determinado pela **concentração** de energia ou **fluência**, é medido em J/cm^2 .

$$\text{Fluência (J}/\text{cm}^2) = \text{energia (J)}/\text{área (cm}^2)$$

Com a potência ou energia de operação constante podemos variar a fluência, ou o efeito no tecido, apenas alterando a área de aplicação (*spot-size*, trocando a lente ou a caneta – peça de mão) ou a posição da caneta (onde se localiza a lente que focaliza a luz do *laser*) em relação ao tecido em uma ponteira “focalizada”.

Quando trabalhamos com a luz no foco (Figura 1.6) a concentração de energia é máxima, pois temos toda a energia do *laser* concentrada em um pequeno ponto focal (em geral da ordem de 0,1 mm a 1 mm), denominado *spot-size*. Neste ponto realizamos um corte e a aplicação tem efeito máximo. Afastando a caneta do tecido, temos uma posição de *defocus* ou fora de foco, ou seja, aumentamos a área de aplicação e com isso reduzimos a concentração de energia (fluência). Nessa posição conseguimos efeito de vaporização superficial e de coagulação, um efeito mais suave (utilizado no rejuvenescimento de pele – *resurfacing*).

Outra caneta de aplicação, ou peça de mão, muito utilizada é a ponteira “colimada”. Nela o feixe de *laser* permanece paralelo (colimado) e constante independente da distância da caneta para o tecido. São utilizadas em sistemas de depilação e diversos tipos de tratamento de pele como na remoção do melasma. Um conjunto de lentes na peça de mão pode ser acionado para mudar o *spot-size*, ou em sistemas mais simples troca-se toda a ponteira.

É importante observar como o corte é controlado com o *laser*. O cirurgião está acostumado a controlar a profundidade de corte por meio da pressão exercida na lâmina contra o tecido. No *laser*, como não existe contato mecânico com o tecido, o corte é determinado por dois fatores:

1. Velocidade de movimento da mão;
2. Energia do *laser*.

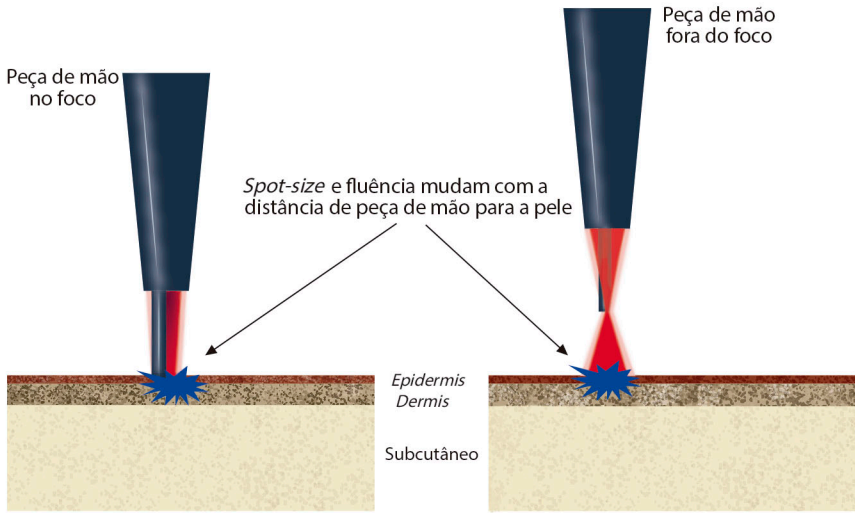


FIGURA 1.6. Peça de mão focalizada. *Laser no foco*: concentração de energia máxima (vaporização e corte) e *laser fora do foco*: fluência reduzida (coagulação, tratamento mais suave).

A velocidade está ligada ao tempo de exposição do tecido, pois se mantivermos o *laser* atuando sobre um ponto indefinidamente, este começa a vaporizar camada após camada de tecido aumentando a profundidade do corte. Dessa forma, para uma potência constante, se movimentarmos as mãos lentamente teremos um corte profundo. Da mesma forma para um movimento com velocidade constante, o corte será tão mais profundo quanto maior for a energia.

O tempo de exposição do tecido à luz do *laser* também governa a quantidade de tecido adjacente que pode ser afetado. Assim, os sistemas *lasers* modernos possuem mecanismos de aplicação de tal forma a entregar ao tecido a energia necessária para vaporizá-lo em tempo muito rápido minimizando o efeito térmico aos tecidos adjacentes. Esses mecanismos podem ser por meio de pulsos ultrarrápidos (*laser* ultrapulsado) ou sistemas computadorizados de varredura rápida do feixe de *laser* (escâneres fracionados), muito empregados nos tratamentos de rejuvenescimento de pele, e nos sistemas de tratamento fracionados. Os escâneres dividem ou movimentam o feixe de *laser* em alta velocidade de forma a posicionar o feixe de *laser* na pele minimizando os danos aos tecidos adjacentes. São controlados por computador, e podem executar diferentes formas de varredura, com grande precisão e total controle sobre a quantidade de tecido sendo vaporizada.

Modos de operação de um *laser*

Dependendo do efeito que queremos obter no tecido para o tratamento, podemos operar os sistemas *lasers* nos seguintes modos:

- **Modo Contínuo – CW:** nesta forma de operação o *laser* permanece ligado, assim como uma lâmpada acesa, e emite um feixe de luz de energia constante, enquanto mantivermos o sistema acionado por meio do pedal ou do botão de acionamento na peça de mão (disponível em alguns equipamentos). A carga térmica neste modo é muito grande e, assim, são geralmente utilizados em cirurgia para coagulação ou vaporização de tecidos.
- **Modo Pulsado:** este modo funciona como se ligássemos e desligássemos um interruptor de uma lâmpada, o *laser* é pulsado eletronicamente com os tempos ligados e o intervalo entre os pulsos controlados pelo computador do equipamento, e selecionados via o painel. A velocidade, ou frequência, de repetição dos pulsos (dada em Hz) também pode ser programada. A maioria dos *lasers* usado em Dermatologia trabalham com pulsos ultrarrápidos que vaporizam o tecido mais rápido que a difusão térmica da pele, minimizando os danos aos tecidos adjacentes, resultando em tratamentos eficazes e seguros.

De acordo com a duração do pulso do *laser*, os sistemas pulsados podem ser classificados em:

- Pulsos Longos** – 0,001 s – **milissegundo** (ms) 10^{-3} s
 - Depilação, tratamento de vasos
- Micropulsado** – 0,000.001s – **microsegundo** (μ s) 10^{-6} s
 - Rejuvenescimento, onicomicose, acne inflamatória
- Q-Switched** – 0,000.000.001 – **nanossegundo** (ns) 10^{-9} s
 - Tratamento do melasma, remoção de tatuagem
- Picossegundo** – 0,000.000.000.001 – **picossegundo** (ps) 10^{-12} s
 - Remoção de tatuagem e melanoses, rejuvenescimento
- Femto** – 0.000.000.000.000.001 – **femtosegundo** (fs) 10^{-15} s
 - Muito empregado na oftalmologia

■ Q-Switch

Este modo é conseguido ao se inserir dentro do ressonador, ao lado do cristal do *laser*, um acessório cujo objetivo é pulsar opticamente a luz. É utilizado em *lasers* de cristal, como rubi, alexandrita e Nd:YAG, descritos adiante. O objetivo é acumular a energia do *laser* a níveis bem altos e liberar em pulsos extremamente rápidos. Em geral da ordem de 1 ns a 30 ns. O resultado é um pulso de *laser*

Para entender as vantagens do *laser* de picossegundo sobre um *laser* de nanossegundo voltamos à relação entre energia, potência e duração do pulso, descrita anteriormente. Vemos que a potência de pico é inversamente proporcional à duração do pulso. Ou seja, pulsos mais rápidos (curtos) geram potências mais altas, para uma mesma energia:

$$\text{Potência (W)} = \text{Energia (J)} / \text{Duração do Pulso (s)}$$

Um *laser* de picossegundo gera potências altíssimas, e assim não precisam de energias altas. Dessa forma, são utilizadas energias bem baixas, levando a tratamentos mais suaves e de recuperação mais rápida. Por exemplo, em uma remoção de tatuagem, um *laser* de picossegundo precisa de menos sessões e menor energia que um nanossegundo. Quanto mais rápido, mais suave e mais eficaz. Por isso a indústria vem investindo no desenvolvimento desses sistemas ultrarrápidos (Figura 1.8).



FIGURA 1.8. Laser de picossegundo PicoWay™ Nd:YAG/KTP (Syneron-Candela).