**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS EXATAS**

***PRODUÇÃO TÉCNICA***

**TÍTULO**

**ESTUDO SOBRE ONDAS E LUZ**


**AUTORAS**

Ms. Claudia Seibt

Dra. Eniz Conceição Oliveira

Dra. Marlise Heemann Grassi


## CONTEXTUALIAÇÃO

Vivemos em um mundo onde fenômenos físicos estão presentes constantemente. Dificilmente encontraremos uma situação na qual não estejamos em contato com movimentos, ou, então, imersos em ondas. Na natureza presenciamos vários fenômenos que podem ser classificados como ondas. Neste texto vamos descrever o conceito de onda e relacioná-lo a outros temas.

Este estudo teórico foi desenvolvido como texto de apoio ao trabalho de dissertação de mestrado da aluna Claudia Seibt, no Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas, no Centro Universitário UNIVATES.

## OBJETIVOS

- Realizar um estudo teórico sobre o tema ondas e luz;
- Disponibilizar aos professores um texto acessível sobre ondas e luz.

## DETALHAMENTO DA PROPOSTA

Este texto pode ser utilizado pelos professores do Ensino Básico como material de apoio ao estudo teórico sobre o tema “ondas e luz”. Ele foi elaborado baseado em livros didáticos de Física utilizados pelos professores da Escola Básica.

## 1 ONDAS

Quando um corpo executa um movimento de “vaivém” sobre uma mesma trajetória, dizemos que o corpo está oscilando, ou vibrando. A distância existente entre a

posição de equilíbrio e a posição extrema, que pode ser atingida pelo corpo que oscila, é denominada amplitude do movimento; o tempo que o corpo leva para completar uma oscilação, para frente e para trás, é chamado de período do movimento; e frequência vem a ser o número de vibrações completas efetuadas pelo corpo num determinado tempo (normalmente um segundo) (SAMPAIO E CALÇADA, 2005).

Tomemos como exemplo uma pequena gota de água caindo em uma superfície líquida em repouso (FIGURA 1). Podemos observar que ocorre uma perturbação na superfície em repouso, e esta percorre outros pontos que por sua vez adquirem movimento. O fato de entrarem em movimento nos permite concluir que a esses pontos foi transferida certa quantidade de energia, e o agente físico responsável por tal fator é denominado onda, ou pulso de onda – no caso de uma única perturbação.

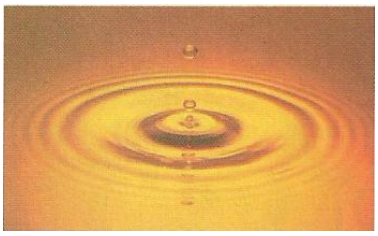

Figura 1. Pequena gota caindo em uma superfície líquida
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 98.

Nas palavras de Hewitt (2002, p 330):

> De um modo geral, qualquer coisa que oscile para frente e para trás, para lá e para cá, de um lado pra outro, para dentro e para fora, ligando e desligando, estridente e suave ou para cima e para baixo, está vibrando. Uma vibração é uma oscilação em função do tempo. Uma onda é uma oscilação que é função tanto do espaço como do tempo. Uma onda é algo que tem uma extensão no espaço.

Uma onda é capaz de transportar energia e quantidade de movimento, mas não transporta matéria. Quando se propaga em um meio material elástico é denominada onda mecânica, ou seja, há porções de matéria vibrando.

Penteado e Torres (2005, p. 108) citam alguns exemplos:

> O som propagando-se no ar constitui uma onda mecânica, pois é o ar (meio material) que sofre a perturbação; uma onda em corda é mecânica, pois são as partículas da corda (meio material) que vibram; as ondas do mar são ondas mecânicas, pois são as partículas de água que sofrem a perturbação. Assim, podemos concluir que as ondas mecânicas não podem existir no vácuo.

As ondas podem ser classificadas como transversais ou longitudinais, dependendo da forma como ocorre sua propagação (direção de vibração). Quando os pontos do meio no qual uma onda se propaga vibram perpendicularmente à direção de propagação desta, as ondas são denominadas ondas transversais. Quando os pontos do meio no qual uma onda se propaga vibram paralelamente à direção de propagação desta, as ondas são denominadas ondas transversais (MÁXIMO E ALVARENGA, 2008).

Existem alguns fenômenos físicos que estão presentes em vários tipos de ondas. A reflexão é um deles. Neste fenômeno a onda que atingir um obstáculo (ou uma fronteira de separação entre dois meios) pode, total ou parcialmente, retornar com a mesma velocidade para o meio em que estava se propagando, tendo o mesmo valor do ângulo de incidência para o ângulo de reflexão (PENTEADO E TORRES, 2005).

No fenômeno da refração, a onda passa de um meio para outro, alterando sua velocidade e podendo sofrer um desvio de sua direção de propagação. Outro fenômeno é a difração, que caracteriza a onda pela capacidade que ela adquire em contornar obstáculos ou de passar por fendas (PENTEADO E TORRES, 2005, v.2).

Batendo-se periodicamente na superfície de um líquido com dois objetos, podemos perceber duas ondas circulares que se propagarão nesta superfície. No instante em que as duas ondas se cruzam, ocorre uma superposição dos efeitos individuais de cada pulso de onda. A essa superposição damos o nome de interferência, outro fenômeno físico presente em ondas (FIGURA 2).

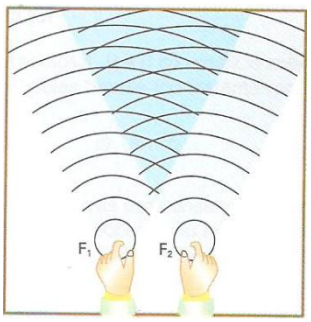


Figura 2. Superposição de duas ondas se propagando em um mesmo meio
Fonte: Máximo e Alvarenga, 2008, p. 307

A polarização também é uma característica da onda, porém ocorre apenas com ondas transversais – ondas em que a direção de vibração é perpendicular à de propagação. Na FIGURA 3 temos um exemplo de onda transversal, em que o movimento das partículas é perpendicular à direção de propagação. Se colocarmos um obstáculo com uma fenda à sua frente, a direção de propagação das partículas oscilantes

depois da ultrapassagem será única e paralela à fenda, ou seja, a onda está polarizada (GASPAR, 2004).

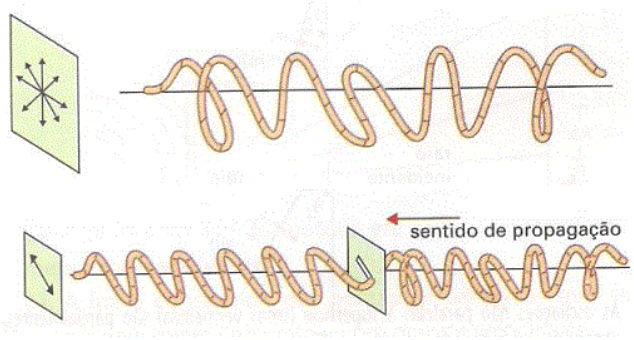


Figura 3. Onda transversal propagando-se em uma corda e ultrapassando um obstáculo
Fonte: Gaspar, 2004, p. 327.

## 2 ÓPTICA

Esta parte da ciência estuda as propriedades da luz e suas interações com objetos e com ela mesma. A óptica preocupa-se com o comportamento da luz abordando aspectos como: emissão, absorção, polarização, interferência e difração. Duas questões sobre luz despertavam a curiosidade desde a época dos primeiros filósofos gregos: sua natureza e sua velocidade.

Sampaio e Calçada (2005) afirmam que, observando alguns fenômenos da natureza, como o trovão, pesquisadores da época acreditavam que a velocidade da luz era muito grande, uma vez que o som do trovão era ouvido depois da percepção da luz do relâmpago. Porém, a medida desse valor foi mais precisamente encontrada muitos anos depois (≅[1] 200 anos), devido a seu enorme valor, o que dificultava sua medida em laboratórios terrestres (como havia tentado Galileu em 1635). Apenas em 1849, Armand Hippolyte Louis Fizeau conseguiu chegar a um valor próximo do atualmente aceito $3.10^8$ m.s$^{-1}$, com o primeiro experimento terrestre bem sucedido.

A velocidade da luz é representada pela letra *c*, tirada da palavra latina *celebre* (rápido). No vácuo temos $c \cong 3.10^8$ m.s$^{-1}$, porém, nos meios materiais, a velocidade da luz é menor que *c*, dependendo da cor da luz (SAMPAIO E CALÇADA, 2005).

Quando enxergamos um corpo é sinal da emissão de luz para nossos olhos. Os corpos podem produzir luz própria, como o Sol, as estrelas, o filamento de uma lâmpada acesa; e os corpos podem enviar – refletir – a luz recebida de outros corpos, chamados

[1] Símbolo usado para aproximadamente.

de corpos iluminados ou fonte de luz secundária, como as folhas de um livro (PENTEADO e TORRES, 2005).

Um dos fatos que pode ser observado quanto ao comportamento da luz é sua propagação retilínea. De acordo com Penteado e Torres, "A luz se propaga em linha reta quando atravessa um meio homogêneo e transparente" (2005, p. 147). Neste caso sugere-se por meio homogêneo aquele que apresenta as mesmas propriedades naturais em todos seus pontos. Podemos observar este fenômeno em inúmeras situações, como a luz do Sol penetrando entre as árvores de uma floresta (FIGURA 4).

Figura 4. A luz do Sol penetrando entre as árvores
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 148.

Meios transparentes são aqueles através dos quais os objetos são vistos com nitidez – o ar em uma sala, por exemplo; meios translúcidos são aqueles através dos quais os objetos são vistos com pouca nitidez – o papel vegetal e o vidro fosco; meios opacos são aqueles que não permitem a passagem da luz, logo, não podemos ver através deles – uma parede de concreto (PENTEADO e TORRES, 2005).

Ainda quanto à propagação retilínea da luz, ela pode ser observada na formação de sombras – uma região escura que surge do bloqueio dos raios de luz que para ali se dirigiam – e penumbras – uma região semiescura que surge onde uma parte dos raios de luz está sendo bloqueada. A sombra é formada por uma fonte de luz puntiforme – um ponto que imite luz – enquanto a penumbra, por uma fonte de luz extensa – uma fonte de luz maior (PENTEADO e TORRES, 2005).

O eclipse[2] também é um bom exemplo da propagação retilínea da luz. O eclipse do Sol ocorre quando a Lua se interpõe entre a Terra e o Sol, promovendo sobre aquela uma região de sombra – eclipse total – e penumbra – eclipse parcial (FIGURA 5).

[2] Invisibilidade total ou parcial de um astro pela interposição de outro corpo celeste entre ele e o observador (PENTEADO e TORRES, 2005, v.2).

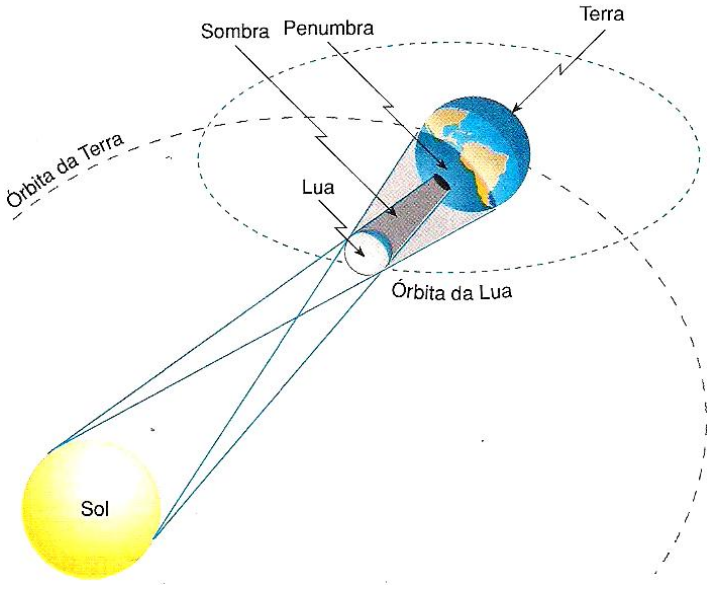


Figura 5. Representação esquemática de um eclipse do Sol
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 149.

Segundo Máximo e Alvarenga (2008), a luz emitida por uma fonte pode ser constituída de apenas uma cor (monocromática) ou de várias cores (policromática). A luz emitida pelo Sol é uma luz policromática branca, composta por infinitas cores. Quando um objeto é iluminado com esta luz policromática branca, ele absorve algumas cores e reflete outras, enviando-as para nossos olhos, dando-nos a percepção das cores dos objetos. Por exemplo, um objeto se apresenta verde porque refletiu preferencialmente a luz verde, absorvendo quase totalmente as demais cores, enviando até nossos olhos apenas a luz verde.

Alguns verdadeiros espetáculos de cores são apresentados em nossa atmosfera, na interação entre a luz do Sol e as partículas ou moléculas da atmosfera. Como nos cita Horowicz (1999, p 101):

> [...] quando a luz do Sol interage com as moléculas do ar ou com poeira forma-se o azul do céu, os pores-do-sol e os raios de crepúsculo. Se a interação for com gotas de água, observamos os arco-íres, a corona, a glória e a iridescência. Se houver cristais de gelo na atmosfera, serão formados o halo e os efeitos conhecidos como *pilar de sol* e *sub-sol*, e assim por diante.

Os halos são apenas anéis em volta do Sol ou da Lua devido à refração nos cristais de gelo das nuvens; os raios crepusculares são um efeito que surge ao nascer ou

no pôr-do-sol, quando as montanhas ou nuvens ocultam parcialmente os raios do Sol; o pôr-do-sol é avermelhado porque o azul é espalhado pelas partículas da atmosfera e não atinge nossos olhos; quando a luz do Sol atinge gotas de água, forma-se um arco-íres. Todos esses fenômenos são possíveis devido à reflexão, refração, difração, espalhamento, ou uma combinação deles (HOROWICZ, 1999).

O fenômeno da difração da luz ocorre quando a luz passa um orifício muito pequeno, comparado com a fonte de luz que nele incide. A reflexão é parte da luz incidente, que atingindo a superfície de separação entre dois meios, e retorna ao meio de origem, enquanto a refração é a parte de luz que atravessou a superfície de separação e emergiu em outro meio. Quando a luz encontra partículas espalhadas em várias direções, a luz é espalhada pelas partículas, as quais indicam a trajetória seguida pelo feixe de luz incidente (SAMPAIO e CALÇADA, 2005).

## 3 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Algumas ondas, como as ondas de rádio, propagam-se sem a necessidade de um meio material, diferente das ondas mecânicas que só conseguem se propagar tendo um meio responsável pela vibração de matéria. As ondas que se propagam até mesmo no vácuo[3] são denominadas ondas eletromagnéticas (HOROWICZ, 1999).

Foi o físico escocês James C. Maxwell que, se apoiando em leis experimentais até então formuladas, desenvolveu um dos trabalhos mais importantes da segunda metade do século XIX: a previsão da existência das ondas eletromagnéticas. Nas palavras de Máximo e Alvarenga (2008, p. 304):

> [...] Apoiando-se nas leis experimentais descobertas por Coulomb, Ampère e Faraday e acrescentando a elas uma nova concepção criada por ele próprio, este cientista estruturou um conjunto de equações, atualmente denominadas *equações de Maxwell*, que sintetizam todos os conhecimentos sobre Eletromagnetismo adquiridos até aquela época. Podemos dizer que as equações de Maxwell, no estudo da Eletricidade, desempenham o mesmo papel que as leis de Newton na Mecânica.

Quando temos em certa região do espaço um campo magnético $\vec{B}$ variável no tempo - o campo entre os polos de um eletroímã, por exemplo - sendo gerado por uma corrente alternada, este será um campo oscilante, ou seja, seu módulo e seu sentido variam periodicamente no decorrer do tempo. Com a variação do campo magnético, em

[3] Onde não há meio material (HOROWICZ, 1999)

torno do eletroímã aparecerá um campo elétrico induzido $\vec{E}$, também variando com o tempo e, de acordo com as ideias de Maxwell, dará origem a um campo magnético induzido. Este, por sua vez, fará aparecer outro campo elétrico induzido, e assim, sucessivamente. Logo teremos a propagação de um distúrbio pelo espaço que irradia em todas as direções a partir do eletroímã, apresentando todas as características de um movimento ondulatório (reflexão, refração, difração e interferência). Esse distúrbio constituído pela propagação de campos elétricos e magnéticos foi denominado onda eletromagnética e pode ser observado na FIGURA 6 (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

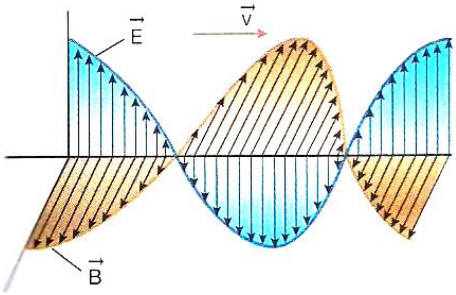


Figura 6. Representação esquemática de onda eletromagnética propagando-se para a direita
Fonte: Máximo e Alvarenga, 2008.

Para Hewitt (2002, p. 440):

> Movimente a extremidade de uma barra para frente e para trás, na superfície da água, e você produzirá ondas na superfície. Analogamente, se balançar um bastão eletricamente carregado para lá e para cá, estará produzindo ondas eletromagnéticas no espaço. Isso, porque cargas elétricas em movimento constituem uma corrente elétrica. O que circunda uma corrente elétrica? A resposta é: um campo magnético. O que circunda uma corrente elétrica? A resposta é: um campo magnético variável. [...] Se o campo magnético está oscilando, o campo elétrico que ele gera estará oscilando também. E o que faz um campo elétrico oscilante? De acordo com a contrapartida de Maxwell à lei de Faraday da indução eletromagnética, ele induz um campo magnético oscilante. Os campos elétricos e magnéticos oscilantes regeneram um ao outro, formando desta maneira ondas eletromagnéticas, que emanam (dirigem-se para fora) das cargas vibrantes.

Para que os campos elétricos e magnéticos possam manter-se em perfeito equilíbrio há apenas um valor de rapidez possível, o qual está relacionado com a indução eletromagnética e a conservação da energia. Usando suas equações Maxwell calculou este valor crítico de rapidez encontrando $3{,}0.10^{8}$ $m.s^{-1}$, um valor de grande importância pois coincide com a velocidade de propagação da luz no vácuo. Essa

relação levou Maxwell a suspeitar que a luz fosse uma onda eletromagnética (HEWITT, 2002).

De acordo com Hewitt (2002, p. 441):

> Maxwell rapidamente percebeu que havia descoberto a solução de um dos grandes mistérios do universo – a natureza da luz. Ele descobriu que a luz é simplesmente radiação eletromagnética cuja frequência cai dentro de uma faixa particular de frequências, de 4,3. $10^{14}$ a 7. $10^{14}$ vibrações por segundo! Essas ondas ativam as "antenas elétricas" que existem na retina do olho. As ondas com frequências mais baixas desta faixa aparecem como luz vermelha, e as com frequências mais altas, como luz violeta. Maxwell percebeu simultaneamente que a radiação eletromagnética de qualquer frequência se propaga com a mesma rapidez que a luz.

A explicação da natureza eletromagnética da luz é um dos pontos mais significativos da teoria de Maxwell, induzindo a unificação de dois importantes ramos da ciência, a Óptica e o Eletromagnetismo. Estando a óptica agora sendo estudada como um ramo do eletromagnetismo, suas leis (reflexão, refração, difração, entre outras) podem ser deduzidas a partir das equações de Maxwell (HEWITT, 2002).

Por conta de sua morte em 1879, Maxwell (48 anos) não presenciou a confirmação de suas ideias. No final do século XIX, aproximadamente 1887, o físico alemão H. Hertz conseguiu obter em seu laboratório ondas eletromagnéticas com todas as propriedades previstas por Maxwell, confirmando que de fato a luz é uma onda eletromagnética. Segundo Máximo e Alvarenga (2008, p. 308):

> É, então, importante destacar que: ao calcular a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, no vácuo, Maxwell encontrou um resultado igual à velocidade da luz. Este fato levou-o a suspeitar que a luz fosse uma onda eletromagnética. As experiências de Hertz, e outros posteriores, mostraram que as idéias de Maxwell eram corretas.

## 4 ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

As ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma velocidade no vácuo e diferem entre si nas suas frequências e pela maneira como elas são produzidas (FIGURA 7). "Quando os diversos tipos de ondas eletromagnéticas são ordenadas de acordo com sua frequência, ou com seu comprimento de onda, o arranjo obtido é chamado espectro eletromagnético" (PENTEADO e TORRES, 2005, p. 120).

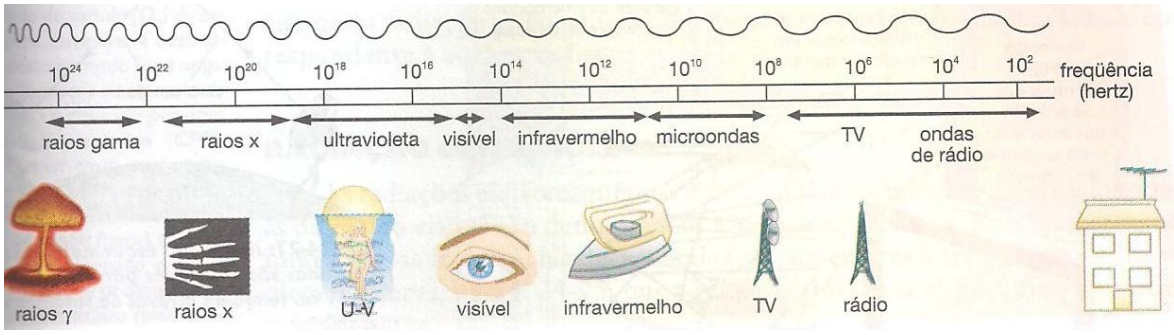


Figura 7. Ilustração esquemática dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas conhecidas que constituem o espectro eletromagnético.
Fonte: Máximo e Alvarenga, 2008, p. 311

Todas as ondas que fazem parte do espectro eletromagnético propagam-se no vácuo com a velocidade de $3.10^8$ $m.s^{-1}$ e podem ter origem na aceleração de uma carga elétrica irradiando certo tipo de onda eletromagnética dependente do valor da aceleração da carga (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

Analisando os diferentes tipos de ondas eletromagnéticas temos:

**a) Ondas de rádio:** essas ondas podem ser geradas pelo movimento oscilatório de elétrons ou por partículas carregadas eletricamente e que orbitam campos magnéticos. São usadas para comunicação entre dois pontos não conectados fisicamente, como na forma de som em um alto-falante de rádio, de imagem em uma tela de TV ou de página impressa, como nos antigos telégrafos. Esta comunicação por onda eletromagnética de rádio se dá a partir de uma antena transmissora e sua posterior captação por uma antena receptora (PENTEADO e TORRES, 2005).

As ondas de rádio, assim denominadas por serem usadas em estações de rádio para realizar sua transmissão, apresentam frequências mais baixas, cerca de $10^8$ hertz (cem milhões de vibrações por segundo). As ondas que se propagam entre 10 Khz e 10 Mhz são bem refletidas nas camadas superiores da atmosfera terrestre (ionosfera), porém as ondas que se propagam acima de 100 Mhz são absorvidas pela ionosfera, dificultando sua captação a grandes distâncias, requerendo estações repetidoras ou de satélites. Nas estações existem circuitos elétricos especiais que provocam a oscilação de elétrons na antena emissora. A contínua aceleração desses elétrons emite as ondas de rádio que transportam as mensagens da estação. A transmissão pelas emissoras de TV é semelhante às de rádio, a única diferença está na frequência mais elevada do que aquelas normalmente usadas pelas estações de rádio (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

**b) Micro-ondas:** com frequências mais elevadas do que as ondas de rádio, as ondas eletromagnéticas denominadas micro-ondas são geradas em válvulas eletrônicas especiais. No campo das telecomunicações sua função é carregar informações de sistemas de telefonia e de televisão, tendo suas altas frequências entre $10^8$ hertz e $10^{11}$ hertz como vantagem sobre as ondas de rádio, podendo carregar mais informações proporcionais à sua frequência. A desvantagem está na transmissão de microondas a curtas distâncias, uma vez que seu sinal não sofre reflexão na atmosfera, bem como em algumas aplicações ser necessário guiá-las ou direcioná-las (PENTEADO e TORRES, 2005).

Quanto à radiação das micro-ondas, podemos classificá-las em ionizantes ou não ionizantes, como é citado por Penteado e Torres (2005, p. 123):

> A radiação das microondas é classificada como radiação não-ionizante, pois seus efeitos são estritamente térmicos e, portanto, não alteram a estrutura molecular do material que está sendo irradiado. Já as radiações ionizantes, como a ultravioleta, os raios X e os raios gama podem, ao irradiar tecido vivo, provocar, por exemplo, nas células mutações que as tornem cancerosas.

As micro-ondas vêm sendo usadas em um grande número de aplicações. Um bom exemplo que pode ser citado é o forno de micro-ondas (FIGURA 8), uma descoberta acidental de um pesquisador que desenvolvia pesquisas com um magnetron[4] (PENTEADO e TORRES, 2005).

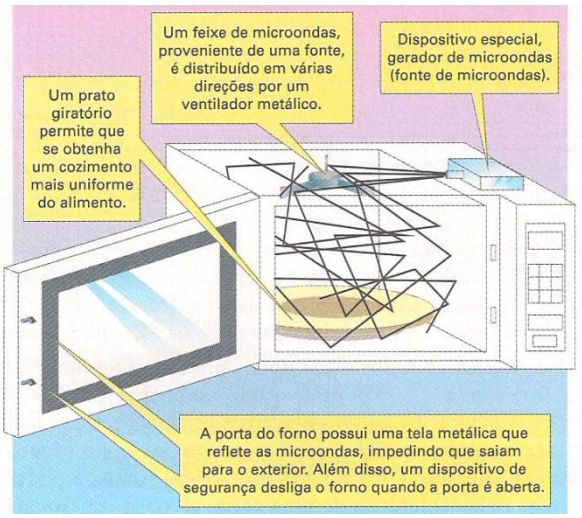


Figura8. Detalhes do funcionamento de um forno de micro-ondas
Fonte: Máximo e Alvarenga, 2008, p. 312.

[4] Dispositivo eletrônico que gera micro-ondas a partir de energia elétrica (Penteado e Torres, v. 3, 2005).

**c) Radiação infravermelha:** as ondas eletromagnéticas compreendidas entre as frequências de $10^{11}$ hertz e $10^{14}$ hertz geram as chamadas radiações infravermelhas, denominação esta usada pelo fato de as frequências dessa radiação estar situada em uma faixa logo abaixo da frequência correspondente a cor vermelha. Segundo Penteado e Torres (2005, p. 126):

> A radiação infravermelha é originada da agitação térmica das partículas que constituem os corpos. Devido a essa agitação, as cargas elétricas dos átomos e moléculas oscilam e emitem radiação eletromagnética, geralmente associada com calor.

A radiação infravermelha tem muitas aplicações como, na Astronomia, no qual detecta a temperatura de objetos distantes; no campo militar, na programação de mísseis; em laboratórios, na espectroscopia por infravermelho; nas fotografias térmicas, revelando informações que a luz visível oculta; na Medicina (FIGURA 9), com a termografia médica; nos controles remotos dos equipamentos eletrônicos, com o envio de *flashes* ao detector (PENTEADO e TORRES, 2005).

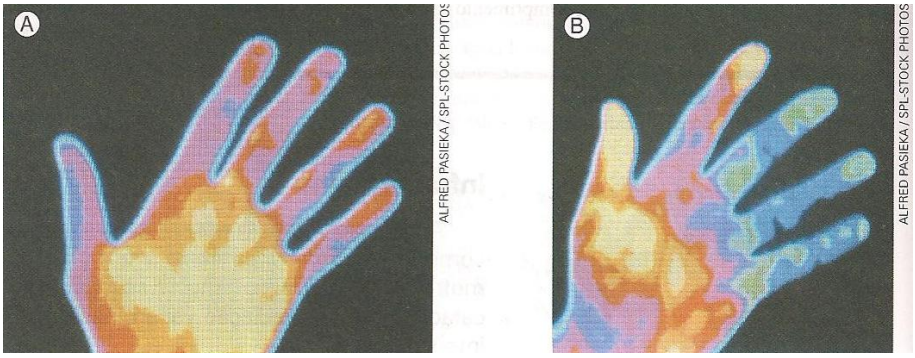


Figura 9. Fotografias térmicas. (A) Não fumante; (B) fumante
Fonte: Penteado e Torres, 2005,p. 126.

**d) Radiação visível:** originada por cargas elétricas oscilantes, o conjunto de ondas eletromagnéticas cujas frequências estão compreendidas entre $4{,}6.10^{4}$ hertz e $6{,}7.10^{14}$ hertz, ao penetrar em nossos olhos, pode sensibilizar a retina desencadeando assim o mecanismo da visão, sendo por isso denominada radiação visível ou luz visível (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

A ideia de cor provocada pela luz nos olhos dos seres humanos está relacionada à sua frequência (FIGURA 10). Quanto menor a frequência, a sensação identifica-se com o vermelho e, quanto maior a frequência, a identificação visual vem ao encontro da cor violeta (PENTEADO e TORRES, 2005).

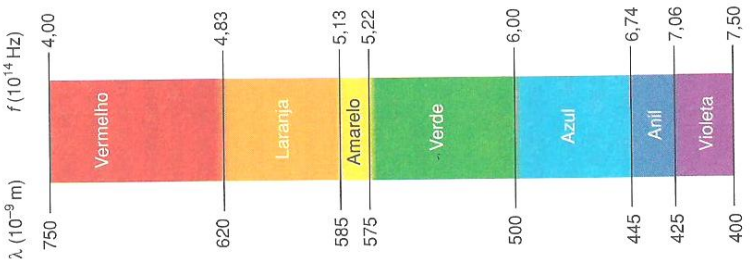


Figura10. Diagrama do espectro visível
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p.127.

Para Penteado e Torres (2005), a diferença no valor da velocidade de propagação de cada luz colorida em meios materiais é a explicação para a decomposição da luz branca solar. A luz branca solar é o resultado da superposição das infinitas frequências em variação contínua proporcionando cores variadas em degrade. A luz visível é responsável por muitos instrumentos ópticos, desde um simples espelho, um sofisticado microscópio ou até mesmo o laser[5].

**e) Radiação ultravioleta:** estas radiações não são visíveis, e compreendem as ondas eletromagnéticas com frequências imediatamente superiores às da região visível e alcançam frequências de até $10^{18}$ hertz. Quanto à radiação energética, podemos dividir a faixa do espectro em três zonas, em ordem da menos energética para a mais energética temos: UV-A, UV-B E UV-C (FIGURA 11) (PENTEADO e TORRES, 2005).

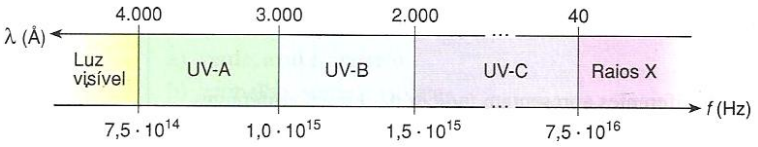


Figura 11. Ilustração das zonas espectrais UV-A, UV-B E UV-C da radiação ultravioleta
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 132.

A radiação ultravioleta emitida pelo Sol corresponde a 10% da radiação eletromagnética total emitida por esse astro, porém é suficiente para causar sérios danos às formas de vida na Terra. A radiação menos energética UV-A está relacionada ao bronzeamento nos seres humanos. Atingindo as fibras de elastina e colágeno que sustentam a pele, a exposição prolongada ao Sol pode desencadear catarata e câncer de

[5] Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação: ***l**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation*. (Máximo e Alvarenga, 2008, v.3)

pele. Por isso, a recomendação do uso do filtro solar (FIGURA 12) capaz de absorver a energia da radiação ultravioleta por meio de sua composição, o anel benzênico (PENTEADO e TORRES, 2005).

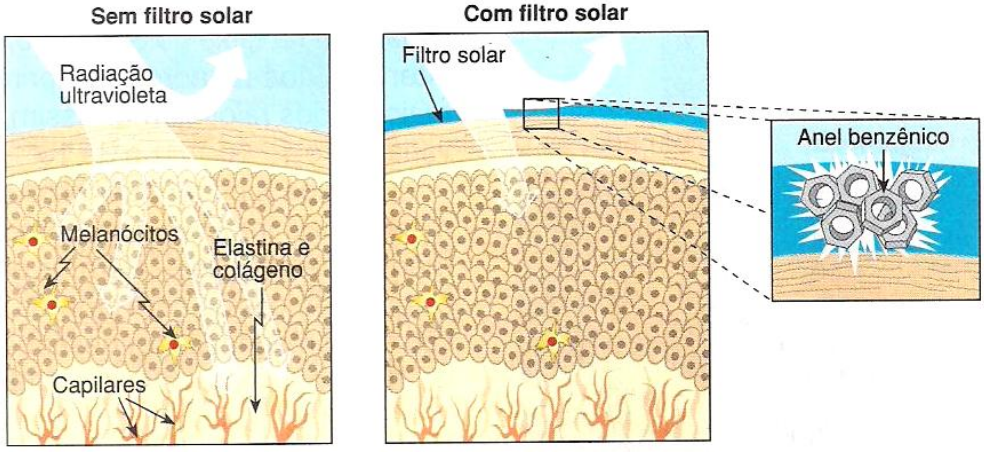


Figura 12. Representação esquemática dos efeitos da radiação UV na pele
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p. 133.

A radiação UV-B mais energética é responsável pelo surgimento da vermelhidão da pele, consequência da dilatação dos capilares sanguíneos. Portanto, o ideal seria um filtro solar que bloqueie tanto UV-A como UV-B. Para esterilizar alimentos e equipamentos médicos, faz-se o uso da luz ultravioleta UV-C, mais energética, com capacidade de destruir alguns tipos de germes e bactérias. A maior porcentagem dessa faixa mais perigosa é absorvida por uma camada de atmosfera terrestre denominada camada de ozônio. Entre tantos efeitos, a radiação ultravioleta também reserva seus efeitos benéficos, como citado por Penteado e Torres (2005, p.134):

> [...] Mas a radiação ultravioleta tem também efeitos benéficos aos seres vivos. Ela é necessária ao crescimento das plantas, e boa parte da vitamina D, indispensável aos humanos e a outros animais, é produzida quando a pele desses seres é exposta aos raios ultravioletas.

**f) Raios X:** esta denominação para as ondas eletromagnéticas de frequências superiores às radiações ultravioletas foi usada por Röntgen por desconhecer a natureza das radiações (raios X = raios desconhecidos). Por ter sido descoberta acidentalmente em meio a outros estudos, Röntgen dedicou-se a mais experimentos, descobrindo algumas características especiais nessa radiação, o que lhe valeu, em 1901, o primeiro Prêmio Nobel de Física (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

As descobertas de Röntgen estão bem citadas por Penteado e Torres (2005, p.134-135):

> Com mais alguns experimentos Röntgen descobriu que a fluorescência era causada por uma radiação invisível, mais penetrante que os raios ultravioletas e que podia ionizar o ar, atravessar camadas espessas de certos materiais e impressionar filmes fotográficos. No dia 22 de dezembro de 1895, ele fez a radiação atravessar por 15 minutos a mão de sua mulher, Bertha, atingindo do outro lado uma chapa fotográfica. Revelada a chapa, a primeira radiografia da História, podia-se ver claramente a sombra dos ossos da mão de Bertha e do anel, que ela havia esquecido de tirar.

Na medicina o uso dos raios X nas radiografias mostrava sua eficiência na visualização dos ossos, porém apresentava falhas para tecidos moles (como o fígado, baço, intestino e cérebro). Em 1979 Godfrey Newbold Hounsfield e Allan MacLeod Cormack recebem o Prêmio Nobel de Fisiologia e Medicina pela invenção em 1972 da tomografia computadorizada, mostrando a evolução no uso dos raios X para a visualização de tecidos moles. Em 1905, devido à alta energia e poder de penetração dos raios X, seu uso na radioterapia apresenta o poder de destruir células cancerosas, mostrando a contínua evolução desta descoberta (PENTEADO e TORRES, 2005).

**g) Raios gama:** na desintegração dos elementos seus núcleos atômicos emitem radiação. Ao se desintegrar um núcleo, podem ser emitidos até três tipos de radiações, α, β e γ. Nas palavras de Máximo e Alvarenga (2008, p.315):

> Um núcleo atômico, ao se desintegrar, pode emitir até três tipos de radiações, que são denominadas α, β e γ. Fazendo estas radiações passar dentro de um campo elétrico, [...] verifica-se que elas se separam. Os raios α desviam-se para um lado (são partículas positivas), os raios β desviam-se para outro (são partículas negativas) e os raios γ não sofrem desvio, pois não são partículas eletrizadas e sim ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Matemático e físico, nascido na Nova Zelandia, Ernest Rutherford, em 1899, identificou as radiações α e β, realizando experimentos com urânio radioativo. Os raios γ foram descobertos um ano mais tarde. Outros experimentos com deflexões destes raios mostraram que os raios α e β eram constituídos por partículas que possuíam massa e carga elétrica, enquanto os raios γ não possuíam nem massa nem carga elétrica. Com novas descobertas os cientistas chegaram à conclusão de que todos os átomos são constituídos pelos mesmos tipos de partículas subatômicas e que os raios γ eram ondas eletromagnéticas do mesmo tipo que os raios X, tendo apenas como distinção a origem da radiação (PENTEADO e TORRES, 2005).

## 5 DUALIDADE ONDA PARTÍCULA

A preocupação dos primeiros filósofos gregos com a natureza da luz incentivou muitos experimentos, porém durante mais de dois mil anos a indagação se manteve. No século XVII algumas teorias surgiram tentando explicar os resultados dos experimentos até então realizados, entre elas estava a teoria elaborada por Newton: a luz seria formada por corpúsculos materiais, diferenciando em tamanho (para cada tamanho, uma cor diferente), porém aos poucos foram surgindo fatos difíceis de serem explicados pela teoria corpuscular de Newton e no início do século XIX, passou a ser aceita a teoria ondulatória da luz, ou seja, a luz seria interpretada como uma onda (SAMPAIO e CALÇADA, 2005).

Um dos primeiros cientistas a questionar a teoria corpuscular da luz apresentada por Newton foi Robert Hooke, que acreditava na propagação da luz como uma onda em qualquer espaço. A explicação encontrada por Hooke para a propagação da luz no vácuo foi supor que este estaria preenchido com uma substância chamada éter. O problema com a ideia de éter era que não havia qualquer evidência de sua existência. Christian Huygens também questionou a teoria de Newton, descrevendo a luz como onda que se propaga em todas as direções. Devido ao grande prestígio de Newton perante a comunidade científica, as teorias ondulatórias encontravam grande resistência. “Foram necessários mais de cem anos para que a teoria ondulatória pudesse ser demonstrada de forma satisfatória, o que ocorreu com o trabalho do médico e físico inglês Thomas Young (1773-1829)” (HOROWICZ, 1999, p. 17).

Como médico pesquisador, Young fez importantes descobertas no estudo de doenças da visão, tendo que, para esse fim, estudar a natureza da luz. Em 1803 em uma experiência conhecida como experiência de Young, ele mostrou de forma eloquente a natureza ondulatória da luz (HOROWICZ, 1999).

Assim como com a teoria corpuscular, no final do século XIX e início do século XX, surgiram alguns fatos que a teoria ondulatória não conseguia explicar. Surgiu então uma nova teoria: onda e luz (e todas as ondas eletromagnéticas) são formadas por pequenos “pacotes” de energia, denominados fótons. Vale ressaltar que as partículas de luz (fótons) da Física do século XX não correspondem às partículas citadas por Newton. Para ele, as partículas de luz eram materiais e não “pacotinhos” de energia, como é definida pela Física Moderna (SAMPAIO e CALÇADA, 2005).

Na avaliação de Sampaio e Calçada (2005, p.478):

> Alguns comportamentos da luz (e das radiações em geral) podem ser explicados supondo-se que ela seja uma onda. No entanto, outros comportamentos só podem ser explicados supondo-se que ela seja formada por um feixe de partículas (fótons). Mas, afinal, o que é a luz? Hoje aceitamos a dupla natureza da luz, fato chamado de dualidade onda-partícula. Para entender essa situação, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) propôs o princípio de complementaridade: Em cada evento a luz comporta-se como partícula ou onda, mas nunca como ambas simultaneamente.

Essa natureza dual da onda eletromagnética sugere a não descrição de um único modelo teórico, uma vez que a explicação do efeito fotoelétrico depende do fóton e a difração e a interferência dependem da onda, logo ambos complementam-se (PENTEADO e TORRES, 2005).

A presença da natureza ondulatória e corpuscular da luz pode ser observada na formação de imagens óticas (imagens fotográficas) (FIGURA 13). Nas palavras de Hewitt (2002, p.532):

> A trajetória da luz emitida pelo objeto, através do sistema de lentes, até o plano focal, pode ser calculada usando métodos desenvolvidos a partir da teoria ondulatória da luz.
> Mas agora considere com cuidado a maneira pela qual se dá a formação da imagem fotográfica. O filme fotográfico consiste de uma emulsão contendo grãos de cristais de sais de prata, onde cada grão contém cerca de 1010 átomos de prata. Cada fóton que é absorvido cede sua energia *hf* para um único grão de emulsão. Essa energia ativa os cristais circundantes do grão inteiro e é usada a seguir para completar o processo fotoquímico. Muitos fótons ativando muitos grãos produzem a exposição fotográfica comum. Quando a fotografia é tirada com luz excessivamente fraca, descobrimos que a imagem é formada por fótons individuais que chegam independentemente e são aparentemente aleatórios em suas distribuições.

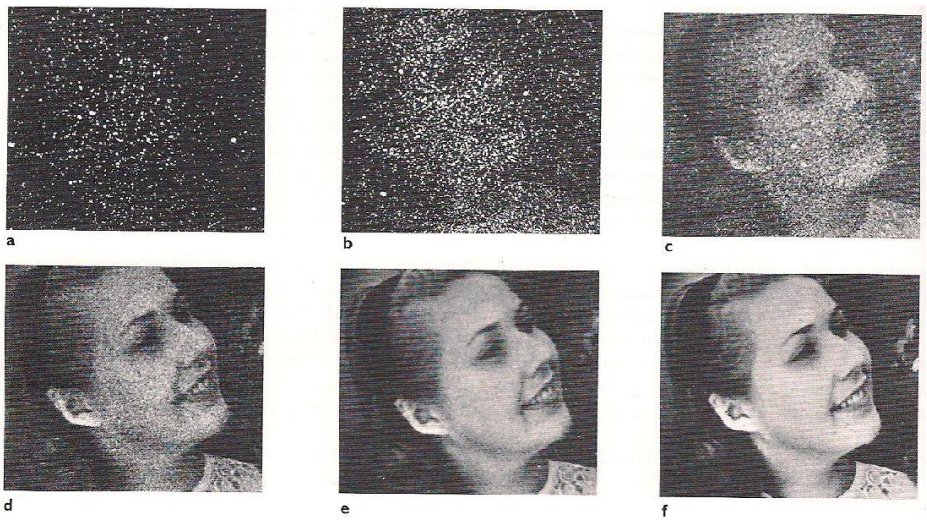


Figura 13. Estágios da exposição do filme revelam, fóton a fóton, a formação de uma fotografia. Os números aproximadamente de fótons em cada estágio são (a) $3.10^3$, (b) $1,2.10^4$, (c) $9,3.10^4$, (d) $7,6.10^5$, (e) $3,6.10^6$ e (f) $2,8.10^7$
Fonte: Hewitt, 2002, p. 532.

## 6 LASER

O laser (***L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation)* é um tipo especial de radiação eletromagnética que se destaca em várias aplicações tecnológicas e científicas, como os CDs (**C***ompact* ***D**iscs*), as fibras óticas atuando nos sistemas de comunicação, os "bisturis óticos" na medicina, as impressoras pessoais, as leitoras de código de barras entre tantas outras (MÁXIMO e ALVARENGA, 2008).

Para Horowicz (1999), a diferença do laser e da luz comum pode ser notada na comparação de um feixe de raios laser e uma lanterna de bolso, por exemplo. Se apontarmos a lanterna para uma parede, percebemos que quanto mais longe estiver a parede, maior será a área iluminada, ou seja, o cone de luz que sai da lanterna se expande cada vez mais. À medida que a área iluminada cresce, a luminosidade em cada ponto diminui, ou seja, quanto maior a região iluminada pela lanterna menor será sua potência. Se apontarmos o feixe de laser para uma parede próxima, teremos um ponto iluminado com o mesmo diâmetro do raio de origem. Aumentando a distância, a área iluminada será praticamente a mesma, percebendo-se uma pequena diferença a distâncias muito grandes.

Um feixe de raios laser apresenta algumas características próprias. Sua intensidade é muito elevada, ou seja, uma grande concentração de energia em pequenas áreas. Segundo Máximo e Alvarenga (2008, p.317) "[...] um laser de potência baixa, em torno de alguns miliwatts, apresenta brilho considerável, muito superior ao da luz emitida por uma lâmpada de 60 watts". Seus raios são praticamente paralelos e, mesmo propagando-se por distâncias muito grandes, eles não se dispersam.

A luz do laser é monocromática, apresentando uma única frequência, ou seja, uma única cor. Para penteado e Torres (2005, p.128):

> A luz visível origina-se em geral quando elétrons saltam de níveis mais energéticos para níveis menos energéticos (saltos quânticos) e, nesse caso, a luz comum, mesmo que de uma só cor, é uma mistura de diferentes frequências. No caso da luz *laser*, todos os saltos quânticos correspondem a uma mesma variação de energia e, assim, um feixe de *laser* apresenta uma única frequência, ou seja, uma mesma única cor.

Outra característica da luz de um feixe de laser é sua coerência (FIGURA14), ou seja, as cristas e os vales das ondas luminosas coincidem, estão rigorosamente em fase. Nas palavras de Hewitt (2002, p. 521):

> Um feixe de fótons que tenha a mesma frequência, a mesma fase e a mesma direção de propagação – ou seja, um feixe de fótons que são cópias idênticas uns dos outros – é dito ser coerente. Um feixe de luz coerente se propaga sofrendo muito pouco alargamento e enfraquecimento.

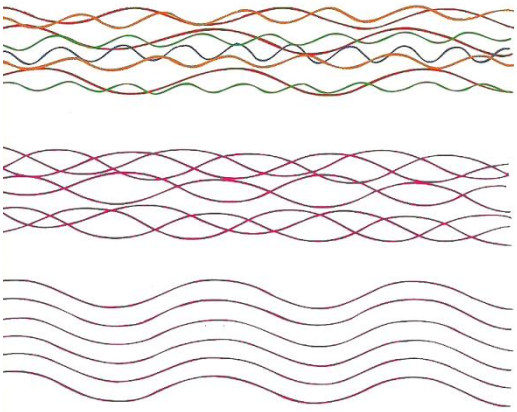

Figura 14. Ilustra a comparação entre a luz branca incoerente (primeira imagem de cima pra baixo), a luz de uma única frequência e comprimento de onda, mas que ainda contém uma mistura de fases (segunda imagem de cima pra baixo) e a luz coerente (terceira imagem de cima pra baixo)
Fonte: Hewitt, 2002, p. 521.

Todo feixe de laser possui uma fonte de átomos chamada de meio ativo, que pode ser um gás, um líquido ou um sólido. Quando estimulados, esses átomos tornam-se altamente energizados e a emissão espontânea de luz por um único átomo dá início ao processo. Parafraseando Máximo e Alvarenga (2008, p.317):

> ...um elétron, que foi transferido para um nível de energia mais elevado em um átomo, tende naturalmente a voltar para um nível de energia mais baixo (mais estável). A energia perdida pelo elétron, nesta transição, é irradiada sob a forma de um pulso de luz, denominado *fóton*.

A produção do feixe de laser é resultado de uma reação em cadeia estimulada pela emissão espontânea de luz daquele único átomo excitado (FIGURA 15), provocando a emissão de luz coerente por outros átomos. As paredes espelhadas do cilindro que contém o material emissor estimulam mais emissões tornando o feixe luminoso intenso suficiente para conseguir atravessar um espelho semiprateado localizado na saída do laser (FIGURA 16) (PENTEADO e TORRES, 2005).

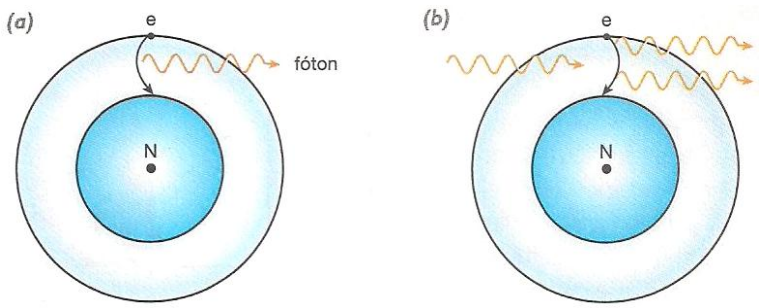


Figura 15. Ilustração esquemática da emissão espontânea de um fóton pelo átomo (a) e a emissão estimulada da radiação de dois fótons em fase (b)
Fonte: Máximo e Alvarenga, 2008, p.317.

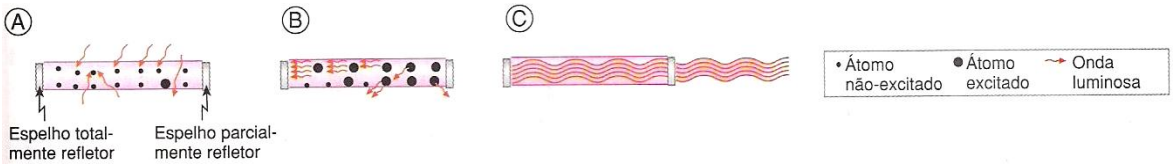


Figura16. Ilustração das principais etapas para a produção de um feixe de laser. (A) estimulação dos átomos; (B) reflexão das ondas luminosas; (C) travessia do feixe incidente
Fonte: Penteado e Torres, 2005, p.129.

As aplicações do raio laser estão presentes em diversos setores da ciência, da tecnologia e de nosso cotidiano. Máximo e Alvarenga (2008, p.318) citam que:

> São inúmeras as aplicações dos raios *laser* em diversos setores da ciência, da tecnologia e de nosso cotidiano. Entre elas podemos citar:
> - leitura do código universal de produtos, para conferir preços de mercadorias em supermercados;
> - em telecomunicações, utilizando cabo de fibra ótica, para transportar sinais de TV e telefone;
> - para soldar e cortar metais;
> - para medir, com precisão, distâncias muito grandes, como, por exemplo, a distância da Terra à Lua;
> - para furar orifícios muito pequenos e bem definidos, em substâncias duras;
> - em CDs e vídeos-disco, pra reprodução com altíssima fidelidade e sem ruídos de sons e imagens;
> - na holografia, para obtenção de fotografias tridimensionais de um objeto (hologramas);
> - na medicina, em cirurgias pra substituição de bisturis, na endoscopia [...] e para soldar retinas coladas.
>
> As aplicações do laser vêm se tornando tão amplas e diversificadas que seria praticamente impossível relacionar todas elas.

## REFERÊNCIAS E SUJESTÕES DE LEITURAS

HEWITT, Paulo G. **Física Conceitual**. Tradução: Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOROWICZ, Ricardo J. **Luz, cores – ação: a ótica e suas aplicações tecnológicas**. Ilustração: Sidney Moural. São Paulo: Moderna, 1999.

MÁXIMO, Antonio; ALVARENGA, Beatriz. **Física: volume 2**. São Paulo: scipione, 2008.

MÁXIMO, Antonio; ALVARENGA, Beatriz. **Física: volume 3**. São Paulo: scipione, 2008.

PENTEADO, Paulo Cesar M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física - ciência e tecnologia, v.1:** .São Paulo: Moderna, 2005.

PENTEADO, Paulo Cesar M.; TORRES, Carlos Magno A. **Física – ciência e tecnologia, v.2: Termologia, óptica, ondas**. São Paulo: Moderna, 2005.

SAMPAIO, José Luiz; CALÇADA, Caio Sérgio. **Universo da Física, 2: hidrostática, termologia, óptica**. 2 ed. São Paulo: Atual, 2005.