

O LASER na Biologia

The LASER in Biology

Paulo Eduardo Marques Furtado de Mendonça

Colégio John Kennedy

Rua Major Feliciano, 750

13630-000, Pirassununga, SP

Trabalho recebido em 8 de agosto de 1997

Desde a Antigüidade a necessidade humana de compreender o mundo nos levou a questionar a natureza. A Óptica integrou o processo a partir do momento em que a luz passou a ser entendida como a própria natureza (ou como meio de se chegar a ela). A compreensão de que as nossas sensações visuais eram advindas da luz refletida pelos corpos foi revolucionária e rendeu à Óptica estudos mais detalhados de fenômenos considerados atuações divinas. O Eletromagnetismo (séc. XIX) e a Mecânica Quântica (séc. XX), aliaram-se à Óptica oferecendo subsídios para a exploração da luz nas diversas áreas do conhecimento humano. Em 1960, pela primeira vez obteve-se o raio LASER, um feixe de luz que apresentava características diferentes da luz do sol ou de uma lâmpada incandescente, por ser gerado de forma distinta. As novas características da luz gerada pelo LASER encontraram tantas aplicações na Biologia, possibilitando e facilitando pesquisas, que hoje acredita-se que teria havido uma certa estagnação dessa ciência caso o LASER não houvesse sido descoberto. Aliado a outros dispositivos como fibras ópticas, polarímetros, redes de difração, etc., o LASER possibilitou o mapeamento de regiões adequadas para a agricultura (mesmo das novas sementes híbridas sintetizadas pela moderna Engenharia Genética), progressos na farmacologia, medições precisas na Botânica, automatização de processos na indústria de laticínios na qual a proliferação bacteriana deve ser cuidadosamente controlada, e recentemente, ainda em estudo, a manipulação do DNA, o material genético das células humanas. Como descobriram os filósofos antigos a íntima relação entre natureza e luz, descobrimos nós, homens contemporâneos, que tão intimamente estão também relacionados a biologia e o LASER, e que dessa relação surgem tantas aplicações quantas possam ser necessárias e idealizadas pela mente humana.

Since the Antiquity, the human necessity to comprehend the world took us to discuss the environment. Optics incorporated the process when light began to be understood by environment (or the way to get it). The comprehension that our visual sensations came from the reflected light by bodies was revolutionary and proportioned Optics more detailed studies of the phenomena considered divine happenings. The Electromagnetism (XIX century) and the Quantum Mechanics (XX century), allied Optics offering subsidies for the exploration of light on the several areas of the human knowledge. In 1960, for the first time the LASER was obtained, a light beam that presented different characteristics from the sun light or from an incandescent lamp light, because of its own way of generation. The new characteristics of the LASER's light have found so many applications in Biology, making researches possible and easier, that today we believe that would happen a certain stagnation of this science if LASER hasn't been discovered. Allied to another devices like fiber optics, polarimeters, diffraction nets, and so one, LASER made possible the soil mapping of adequated areas for agriculture (even for the new hybrid seed synthesized by the modern Genetic Engineering), advancements in Pharmacology, accurated measurement in Botany, automatism at industries of dairy products, where the proliferation of bacteria should be carefully controlled, and recently, still under research, the manipulation of DNA, the genetic material of human cells. As the ancient philosophers discovered the close relation between nature and light, we, contemporary men, discover that so related are the Biology and LASER, and from this relation sprouts so many applications as necessary and imagined by the human mind.

1. Introdução

Considera-se, atualmente, que a história do LASER começou em 1917, com a publicação de “On The Quantum Theory of Radiation” (Sobre a Teoria Quântica da Radiação), de Albert Einstein. Porém a história da busca desse dispositivo começou efetivamente alguns séculos antes. Mesmo sem saber, Galileu (1564-1642), Newton (1642-1727) e até os filósofos da Antigüidade colaboraram com o primeiro “disparo”, em 1960, movidos apenas por um objetivo: a necessidade de compreender o mundo tal qual ele verdadeiramente se apresentava, sem a interferência dos dogmas e convenções do teocentrismo medieval ou demais instituições de outras épocas.

Entretanto houve muitos outros nomes no decorrer dos séculos, cada qual com descobertas inestimáveis para o avanço da ciência. Muitos foram os homens, mas talvez por culpa da historiografia que os ocultou, ou mesmo devido aos fins deste trabalho, não serão aqui citados, apesar da glória de suas descobertas, fundamentais ao longo do processo científico.

Sir Isaac Newton baseou-se no que ele próprio chamava “filosofia experimental”, e possivelmente por ter seguido essa linha essencialmente empirista que evitava especulações quaisquer, manteve-se ambivalente quanto à natureza corpuscular ou ondulatória da luz (dúvida que ainda hoje é considerada pela Mecânica Quântica). Foram tantas, porém, as descobertas de Newton, mesmo em outras áreas da Física, que seu mérito manteve-se assegurado.

Apesar da dúvida, Newton progressivamente passou a aderir à teoria corpuscular (apesar de nunca ter rejeitado a natureza de ondas), pois com a teoria ondulatória, não conseguia explicar a propagação retilínea da luz (“Ondas se propagam em todas as direções”). Foram Young (1773-1829) e Fresnel (1788-1827) os primeiros a se apoiarem na teoria ondulatória, incorporando-lhe e unificando-lhe conceitos (princípio da interferência, etc...).

Em 1845, Faraday (1791-1867) passou a relacionar o Eletromagnetismo com a Óptica em suas experiências (Efeito Faraday) e Maxwell (1831-1879) for-

mulou os conhecimentos experimentais acumulados sobre fenômenos elétricos e magnéticos nas conhecidas “equações de Maxwell”, concluindo: a luz é “uma perturbação eletromagnética que, sob a forma de ondas se propaga através do éter. Maxwell morreu antes de Hertz (1857-1894) confirmar suas equações produzindo e detectando ondas eletromagnéticas em 1888.

Através do então paralelo criado entre eletromagnetismo e luz, foi possível compreender fenômenos observados já na época de Newton, mas que se mantinham inexplicáveis, dentre os quais a polarização da luz. Faraday descobrira que a direção de polarização de um feixe podia ser alterada por um campo magnético intenso. Sendo a luz uma onda eletromagnética, evidentemente poderia ser polarizada. Observou-se: a polarização linear, na qual a orientação do campo elétrico é constante, sendo sua projeção apenas uma linha; a polarização circular, na qual o campo elétrico sofre rotação e a amplitude permanece constante, sendo sua projeção um círculo; e, finalmente, a polarização elíptica (a mais abrangente de todas), na qual tanto a orientação quanto a amplitude são variáveis, de forma que se obtém uma elipse ao projetar a onda em vários instantes num mesmo plano bidimensional. Porém quando se fala em natureza corpuscular ou ondulatória, ondas eletromagnéticas e polarização, não se fala necessariamente sobre LASER, mas sobre luz. O LASER apresenta todas essas características, mas uma lâmpada incandescente ou a luz solar também as possuem. É a forma de interação entre luz e matéria que diferencia um raio LASER de um raio de sol.

Na Óptica do século XX, muitas mudanças ocorreram: o éter foi abandonado com o advento da teoria da relatividade restrita (1905), surgiu a Mecânica Quântica e novamente a natureza de onda ou partícula passou a ser questionada. No final dos anos vinte, Bohr, Born, Schrödinger, De Broglie, Pauli, Dirac e outros transformaram a Mecânica Quântica em uma teoria bem fundamentada e a resposta à natureza da luz foi dada: a luz é uma onda-partícula. A discussão ainda não se encerrou...

O presente trabalho tem como objetivo apresentar as principais características do raio LASER, mostrando

a sua utilização na vida prática, já que não se trata apenas de teoria científica, mas de ciência aplicada.

2. Principais Características

A Mecânica Quântica toca a Óptica em toda sua teoria, mas quando se fala em LASER, remete-se aos fenômenos de absorção e emissão de luz pelos átomos.

O LASER é um dispositivo que funciona baseado num fenômeno: inversão de população, ou seja, absorção de energia para que a maior parte dos átomos se excitam (elétrons “saltem” para camadas mais distantes do núcleo atômico). Após a inversão de população, deve haver um regresso ao estado fundamental com liberação de fótons gêmeos (luz coerente).

Processo similar ocorre em outras fontes primárias de luz, como uma lâmpada elétrica, que, por Efeito Joule, tem sua energia transformada em calor. A energia térmica promove a inversão de população, mas quando os elétrons voltam para suas configurações estáveis, os fótons são liberados sem relação de fase (em várias direções com diferentes frequências). A esse processo denominamos *emissão espontânea*.

Um LASER é montado de maneira que a emissão espontânea seja minimizada e substituída por uma forma “organizada” de emitir luz: emissão estimulada (LASER: Light Amplification by *Stimulated Emission* of Radiation. Amplificação de luz por *emissão estimulada* de radiação). Para se conseguir tal emissão, os LASERS apresentam três componentes principais: o meio ativo (meio LASER ou de ganho óptico), o mecanismo de bombeio e o sistema de realimentação.



Figura 1. Esquema representativo do LASER.

O meio ativo sofre inversão de população através da energia fornecida pelo mecanismo de bombeio. Essa energia deve ser suficiente para que os elétrons “saltem”

não apenas para o nível seguinte, mas, no mínimo, para dois níveis à frente, pois se o elétron estiver na camada imediatamente seguinte à de sua configuração estável, a emissão de luz será espontânea. Assim os LASERS podem ser classificados de acordo com o número de camadas envolvidas na inversão de população. Por exemplo: LASER de nível 3, LASER de nível 4, mas nunca LASER de nível 2.

O sistema é “energeticamente alimentado” até atingir a saturação do ganho (volta para o estado fundamental). Inicialmente um átomo libera um fóton através de emissão espontânea. Tal fóton passa a percorrer o meio ativo e quando encontra um átomo meta estável (excitado), faz com que ele retome ao estado fundamental carregando o fóton liberado consigo. O processo continua até que quase todos os átomos tenham se tornado estáveis com a liberação de seus fótons. Diz-se que esse par de fótons é gêmeo pois apresenta relação de fase, ou seja, ambos orientam-se mutuamente com mesma frequência. Vários fótons gêmeos passam a ser liberados após a saturação do ganho num trânsito pelo meio ativo patrocinado pelo sistema de realimentação. Este é composto por dois espelhos posicionados nas extremidades do meio ativo, paralelos entre si e de diferentes índices de reflexão ($\sim 100\%$ e $\sim 80\%$, variando de acordo com o tipo de LASER). Quando os fótons gêmeos iluminam os espelhos, são refletidos e o sinal luminoso passa a ser amplificado. O LASER entra em regime estacionário de oscilação até que alguns fótons consigam emergir pelo espelho de menor reflexão, o que chamamos raio LASER.

Devido a todo o processo, pode-se afirmar que a luz é: coerente uma vez que os fótons estão correlacionados; quase *monocromática*, pois a faixa de frequência no espectro eletromagnético é pequena; *direcionada*, por se espalhar pouco (um feixe de 1 cm de largura ao se deslocar por 1,5 km de extensão espalha-se, aproximadamente, apenas 3 cm); *pode ser polarizada*, pois como toda luz, o LASER também possui natureza eletromagnética.

3. Tipos de LASER

É possível e extremamente desejável classificarmos os vários tipos de LASER até então construídos, para podermos, através de estudos comparativos, averiguar

as aplicações de cada um de acordo com suas características particulares. Genericamente classificam-se em três tipos, de acordo com o estado de agregação do meio ativo: (1) LASERS a gás; (2) LASERS líquidos e (3) LASERS de estado sólido. No grupo dos gasosos temos LASER de hélio-neônio, argônio ou criptônio, vapor de cobre ou ouro, hélio-cádmio, dióxido de carbono, EXCIMER, nitrogênio, químicos, de infravermelho distante (FIR), entre outros. No grupo dos LASERS líquidos, temos principalmente os de corante (Rhodamina 6G). Dentre os de estado sólido estão os LASERS de terra rara e metais de transição, o LASER de rubi, de alexandrita, de centro de cor, de titânio-safira e semicondutores.

Detalharemos somente aqueles que nos serão úteis adiante.

3.1. *LASER de He-Ne.* Foi demonstrado pela primeira vez em 1960 (ano em que também se demonstrou experimentalmente o primeiro LASER, o de rubi), por Javan, Bennett e Herriott. Esse LASER pode trabalhar em diversas frequências, tendo sido demonstrado inicialmente operando com comprimento de onda de $1,15 \mu\text{m}$. A linha de $3 \mu\text{m}$ tem um ganho extremamente alto, e foi este o comprimento de onda do primeiro LASER CW (não pulsado).

No LASER de hélio-neônio, uma mistura de baixa pressão destes gases é mantida em um tubo de vidro estreito. A mistura contém 10% de neônio, sendo o restante hélio. Como mecanismo de bombeio, é utilizada uma descarga elétrica mantida ao longo do tubo, constituindo um plasma – pois a colisão dos elétrons com os átomos (predominantemente) de hélio cria íons – e resultando na excitação de muitos átomos para níveis altos de energia. Tensões típicas desse LASER são de 1 kV.

O LASER de He-Ne é muito utilizado em laboratórios por apresentar baixo custo, comprimento de coerência longo e monocromaticidade. Sua potência típica varia de 0,5 mW até 10 mW (existem He-Ne de 50 mW), podendo ou não emitir luz polarizada. Quanto ao sistema de realimentação, tem-se um espelho curvo e outro plano, posicionado no centro de curvatura do primeiro, de forma a se obter um feixe mecanicamente estável.

Suas características são de extrema importância na confecção de hologramas, e em diversas outras áreas da

pesquisa científica.

3.2. *LASER de terra rara: Nd:YAG.* Todos os LASERS de terras raras são feitos com dopagem de uma matriz, seja ela cristalina ou vítrea, e o átomo dopante define o comprimento de onda da emissão (no LASER de Nd:YAG; $1,064 \mu\text{m}$).

LASERS de Nd:YAG estão entre os sistemas de LASER mais importantes. Eles são utilizados em um grande número de arranjos nos quais alta potência é necessária. As potências ópticas geradas são altas pelo fato de o tempo de vida do estado excitado de emissão ser longo, permitindo seu emprego como bons amplificadores. O bombeio em LASERS de neodímio é óptico e a absorção, extremamente eficiente. Os sistemas mais comuns têm a barra ativa colocada em um dos focos de uma cavidade de seção transversal elíptica e a lâmpada “flash” para o bombeio no outro foco. Aqui também a cavidade é espelhada de maneira que qualquer linha traçada desde a lâmpada e refletida pelo espelho intercepte a barra amplificadora, sendo o aproveitamento da luz bastante eficiente.

A alta potência e a faixa do espectro infravermelho ocupada pelo LASER de Nd:YAG garantem a ele uso bastante amplo na Biologia, pois, devido à sensibilidade das células e de suas estruturas, a absorção da radiação deve ser reduzida para evitar lise. As radiações visíveis e ultravioletas são muito absorvidas por esses materiais, o que inviabiliza sua utilização.

4. Aplicações

4.1. Holografia

Vivemos em um mundo quadridimensional, percebemos um mundo tridimensional e baseamos muitas de nossas atividades em um plano bidimensional.

Desde a infância assistimos à televisão, vemos fotografias, começamos a ler, escrever e vamos tendendo a projetar formas. Se as vantagens em se trabalhar em planos são grandes, a desvantagem é por demais evidente: nossa percepção, que já não é sensível a uma quarta dimensão, agora começa a perder também a terceira.

A luz difundida por uma fotografia contém informação sobre a irradiância, não sobre a fase da onda emitida por um objeto. Se fosse possível reconstruir a

onda original, o campo luminoso resultante (supondo as mesmas frequências), seria idêntico ao campo original, ou seja, seria o mesmo que “olhar tridimensionalmente” para o objeto.

A essa técnica de “gravar” pontos numa rede de difração, de forma que eles reconstruam ondas, é dado o nome de holografia. A rede de difração representa aqui um papel análogo ao do filme fotográfico. Contém sais de prata fotossensíveis nos quais fica armazenada a informação para a reconstrução das ondas.

Exemplifiquemos com um corpo cúbico. Faz-se um LASER incidir em um cubo. Ao atingir o corpo, a luz é espalhada de forma característica (dependendo do for-

mato, medidas, etc.). Essa luz convenientemente espalhada atinge a rede de difração. Antes, porém, de o LASER atingir o cubo, é colocado um sistema óptico (splitter) que desvia parcialmente o raio (raio de referência). Só haverá pontos corretamente marcados na rede, se a luz espalhada pelo objeto e a luz LASER original incidirem de maneira a formar máximos e mínimos de sensibilização.

Diferente de uma fotografia é a imagem formada na rede. Nela, um conjunto de pontos, linhas e formas completamente desconexas e ininteligíveis, quando iluminados pela mesma frequência que os concebeu, faz surgir o cubo, tridimensional tal qual o objeto.

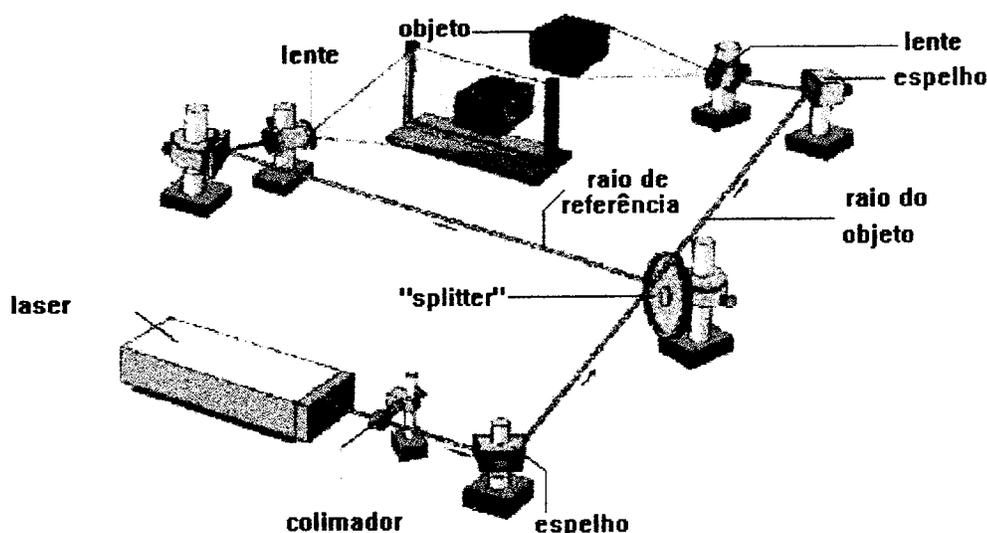


Figura 2. Esquema representativo da holografia.

4.1.1. Germinação de sementes e o meio

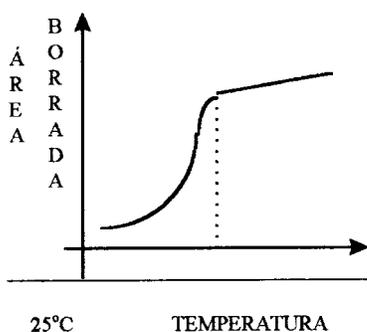
A germinação de uma semente está intimamente ligada às condições ambientais (umidade, pressão, temperatura, etc...), a que ela é exposta. Para se obter maior produtividade, é muito interessante escolher a cultura de acordo com o meio ou o meio de acordo com a cultura.

No processo de germinação, ocorrem, no interior da semente, reações químicas que fazem com que ela se movimente alguns angstroms. É essa movimentação que nos permite estudar as respostas da semente a um determinado meio. Na gravação de uma rede de

difração pelo processo da holografia, qualquer deslocamento do objeto holografado maior que o comprimento de onda do LASER (500 a 600 nm) é capaz de “borrar” o holograma. (Daí os laboratórios que constroem hologramas exigirem condições tão especiais: são geralmente subterrâneos para evitar vibrações do ar, proibe-se durante o processo a presença de pessoas, usam-se mesas que levitam para evitar contato com o solo e pequenos abalos sísmicos, etc.). Evidentemente o movimento molecular da semente causa um deslocamento maior que o comprimento de onda da luz, portanto é um método eficiente para fazer a verificação do meio/cultura. Suponhamos que queiramos plantar

milho nos polos. É relativamente simples reproduzirmos em laboratório as condições climáticas/ambientais daquela região. Expondo o grão a essa simulação e incidindo sobre ele um LASER com os demais aparatos do processo de holografia, provavelmente registrar-se-á, na rede de difração, uma região muito pouco borrada, concluindo-se que, se o movimento gerado pelas reações químicas no interior da semente foi tão pequeno, a germinação do milho não é viável no ambiente polar.

Em laboratório é levado em consideração, isoladamente, cada fator climático; para efeito teórico, fixemos aqui apenas um fator e analisemos graficamente o desenvolvimento embrionário do milho em função da temperatura.



O milho germina de forma otimizada em temperatura média de 25°C, portanto deve ser plantado em zonas intertropicais. Gráfico 1: Curva da área borrada (crescimento embrionário) x temperatura.

Note que a área borrada é decorrente da movimentação molecular e não propriamente do desenvolvimento embrionário. A partir de 25°C o gráfico mantém uma certa constância, mas a menor temperatura dessa área deve ser escolhida, pois não existe vida acima de 50°C (desnaturação protéica), embora haja agitação molecular.

4.2. Polarização

Como já foi dito, a luz é formada por ondas elétricas e magnéticas oscilantes. Além da oscilação, essas ondas também podem sofrer um movimento de rotação.

Existem substâncias que induzem a rotação do campo elétrico. São chamadas *dextrógiros* quando a rotação feita para a direita e *levógiros* quando para

a esquerda. São, em geral, moléculas orgânicas assimétricas.

Polarizadores são filtros que absorvem ondas eletromagnéticas que oscilam em vários planos, permitindo que somente a onda de um único plano o atravesse (luz polarizada). Na luz LASER, na qual a faixa de frequência é pequena, é possível impedir a passagem da luz com um polarizador, sendo, portanto, polarizadores usados também para chaveamento óptico.

Polarímetros são dispositivos que contêm basicamente dois polarizadores (dos quais um é chamado analisador) e uma substância a ser analisada. Através dos polarímetros, pode-se medir a atividade óptica da substância. Alinhando-se esses três componentes básicos, conforme a figura, e fazendo incidir luz polarizada, é possível dizer se a substância é inativa, dextrógira ou levógira, e qual o ângulo de desvio que ela causou no campo elétrico.

Quando se usa luz LASER polarizada, o primeiro polarizador pode ser eliminado, uma vez que só apresenta função no sentido de polarizar luz branca.

4.2.1. Antibióticos

O corpo humano está repleto de substâncias opticamente ativas dentre as quais predominam os compostos levógiros, conforme as análises feitas por polarímetro funcionando com LASERS. Compostos dextrógiros são extremamente tóxicos para compostos levógiros e vice-versa.

Compostos sintéticos, como alguns antibióticos, possuem iguais quantidades de levógiros e dextrógiros, enquanto as bactérias, assim como os homens, apresentam sua célula predominantemente levógira. Logo, é desnecessário ingerirmos a fração levógira do antibiótico, pois ela não afetará outro organismo levógira.

A fração levógira dos antibióticos é separada através de polarímetros com o estudo do desvio angular do campo elétrico do LASER, concentrando-se a fração dextrógira. Isso explica porque a administração de antibióticos ao organismo deve ser feita de forma consciente e ponderada, pois se o antibiótico é tóxico para uma célula bacteriana, também o será para as células humanas.

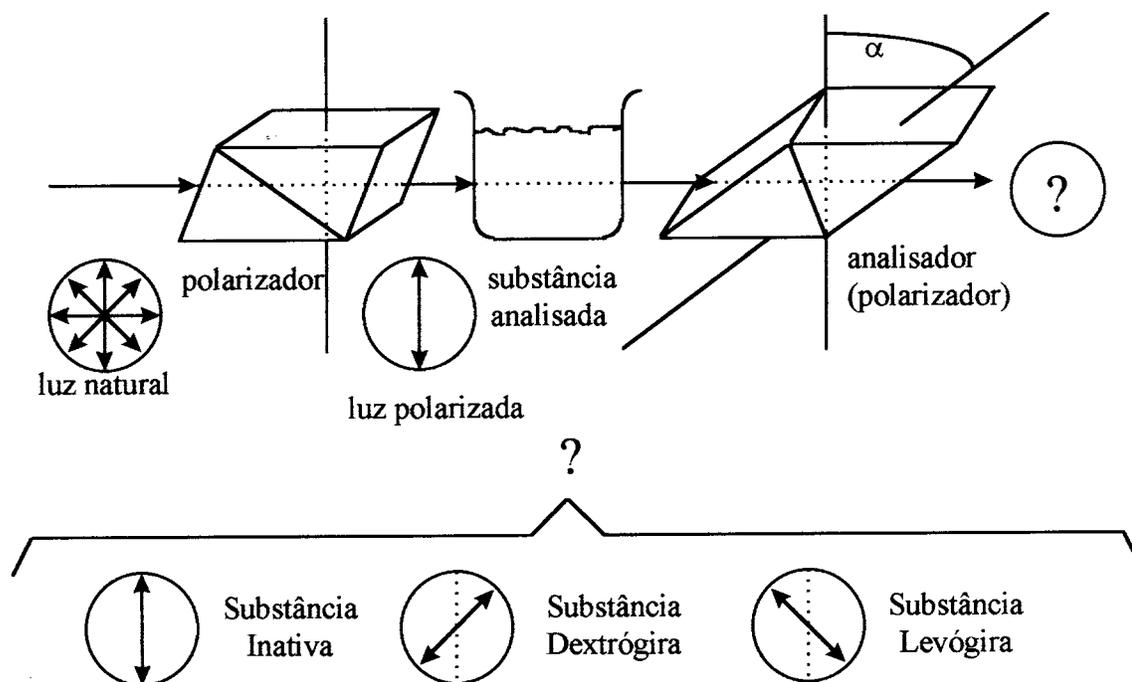


Figura 3: Esquema representativo do funcionamento do polarímetro.

4.2.2. Crescimento vegetal

Pode-se avaliar a taxa de crescimento de um vegetal num dado intervalo de tempo usando-se a luz polarizada de um LASER e uma fibra óptica.

Suponhamos que se queira medir a taxa de crescimento mensal do gametófito de uma briófitas. Uma fibra óptica deve ser convenientemente fixada à base do caulóide, tendo sua outra extremidade presa à região de brotamento do esporófito de modo que a planta tenha seu comprimento totalmente acompanhado pela fibra.

Com o lento crescimento de briófitas devido à ausência de vasos condutores, a fibra lentamente passará por um processo de “esticamento” que influenciará em suas propriedades internas, fazendo com que a polarização da luz LASER emergente seja diferente da incidente.

Um polarímetro situado na extremidade de emergência da fibra registra a rotação das ondas eletromagnéticas, e a partir da análise dos resultados, uma função entre a taxa de crescimento e a polarização do LASER pode ser construída.

4.3. Intensidade/Índice de Refração

4.3.1. Fabricação do “queijo Minas”

A fabricação de “queijo Minas” é feita por processos que dependem da consistência da massa que originará o queijo (atuação de bactérias). Até então, a determinação da consistência ideal era feita artesanalmente, através de percepção tátil. Recentemente um processo muito mais preciso surgiu.

Por uma amostra de consistência ideal, faz-se passar uma fibra óptica e por ela um LASER que tem sua intensidade medida ao emergir pela extremidade da fibra. Adotando-se essa intensidade como ideal, aplica-se a fibra e o LASER em massas, durante o processo de endurecimento; inicialmente, devido à consistência diferente da ideal, o índice de refração do meio externo (queijo) influenciará o LASER fazendo-o emergir com intensidade diferente da desejada. Porém, com a atuação de todos os fatores biológicos envolvidos no processo, a consistência ideal será atingida, verificando-se uma intensidade luminosa igual à da primeira amostra, tendo, portanto, o queijo adquirido a melhor consistência para o consumo.

4.4. Pressão de Radiação e Força de Gradiente

A interação entre luz e matéria gera efeitos por vezes surpreendentes. Por muito tempo, buscou-se entender por que motivo a cauda de um cometa sempre se voltava contra o sol, e mais, por que havia cauda em um cometa se a velocidade no interior de seu núcleo deveria ser igual à da periferia, uma vez que um cometa percorre sua trajetória no vácuo, sem forças dissipativas. A resposta veio com Maxwell. Trata-se da interpretação eletromagnética da luz, pela qual a força eletromagnética atuando sobre uma superfície gera uma *pressão de radiação*. O cometa apresenta cauda virada contra o sol uma vez que é a luz solar que nele aplica uma força.

As pesquisas continuaram e novas interações foram descobertas, dentre elas a força de gradiente. A força eletromagnética que um LASER aplica sobre a matéria não é uniforme (apesar do raio ser bastante colimado). A força de gradiente é a resultante das forças mais fracas da região periférica do raio e das forças mais intensas de sua região central.

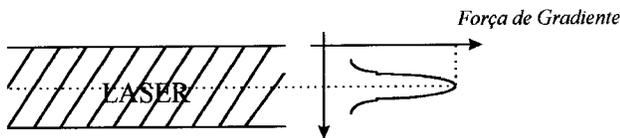


Gráfico 2: Curva (Gaussiana) da intensidade da força de gradiente X região do LASER.

Incidindo um LASER num meio como uma célula, por exemplo, os materiais dispersos no hialoplasma (resíduos do metabolismo, organelas citoplasmáticas, etc.) tendem a se direcionar para a região central do feixe.

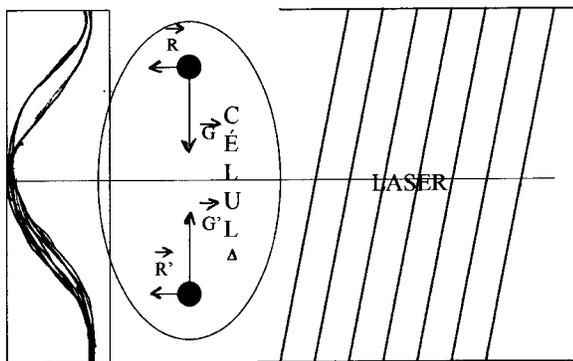


Figura 4: Representação da atuação da força de gradiente e pressão de radiação em célula.

4.4.1. Pinças Ópticas

Baseando-se na capacidade de, através da força de gradiente, atrair partículas para o ponto central de incidência do LASER (pode-se usar objetivas para aumentar ainda mais a força de gradiente), LASERS fora da região de absorção (Nd:YAG), são usados para se “aprisionar” e até mesmo movimentar organelas citoplasmáticas, espermatozóides, e outras estruturas.

Porém uma aplicação de fundamental importância dessas pinças ópticas que vêm sendo desenvolvidas encontra-se na pesquisa do DNA, o material genético das células humanas.

A manipulação do DNA é extremamente desejável, uma vez que, podendo o homem ter controle sobre esse material, poderá determinar características, produzir proteínas com todos os aminoácidos (naturais e essenciais), combater doenças como o câncer, entre outras.

A maior dificuldade na manipulação do DNA é o estado completamente espiralado em que se encontra no núcleo celular. A proposta é a fixação de nanotubos de carbono nas extremidades das cadeias de nucleotídeos, para que em cada um deles atue uma pinça óptica movimentando-se no sentido de afastamento e possibilitando o acesso pleno para permutação de bases nitrogenadas, desenvolvimento de mutações controladas dentre outras aplicações.

5. Conclusão

O LASER tornou-se instrumento indispensável na Biologia por apresentar características especiais como coerência, direcionalidade, monocromaticidade e polarização, de forma que adquiriu versatilidade no estudo e manipulação de estruturas até então inacessíveis, medições precisas e compreensão de mecanismos biológicos.

Por ser o LASER uma amplificação de luz, seu uso na Biologia deve ser cauteloso, uma vez que, por atuar em estruturas sensíveis como moléculas, organelas, células e tecidos, pode danificá-los levando ao comprometimento do organismo. Nesse sentido, a escolha do tipo de LASER a ser usado é fundamental, pois a absorção da luz pela estrutura deve ser a menor possível. Em outros casos, o LASER não trabalha diretamente com estruturas orgânicas sensíveis, mas é usado aliado

a outros dispositivos para constatações a respeito delas. Nesse caso, a alta intensidade luminosa não é prejudicial, mas por vezes até útil, quando sua variação é usada em medições.

As singulares características da luz LASER são melhor exploradas quando usadas em conjunto com outros dispositivos ópticos. Na holografia o LASER não basta. Todo um conjunto de instrumentos é necessário para que a luz possa atuar satisfatoriamente. Fibras ópticas e polarímetros são também muito utilizados, mas é o efeito gerado no feixe emergente desses sistemas que determina a aplicação. São, em geral, dispositivos acessórios que colaboram para se chegar a resultados fornecidos pela luz.

As aplicações do LASER abrangem amplamente a Biologia, atuando tanto no micro quanto no macroscópico, e levando o homem a aproximar-se cada vez mais das verdades buscadas desde a remota época de Tales. Todavia, frente à complexidade da natureza, a vida ainda nos é por demais misteriosa. Nesse contexto representa o LASER apenas uma ferramenta, mais uma tentativa humana de um dia chegar a uma

verdade holística, na qual os prováveis se confirmem, e as dúvidas tornem-se certezas.

Referências Bibliográficas

1. ARAUJO, C.B.. *Chaveamento da Luz*. Ciência Hoje, **51**, 36 (1989).
2. *Enciclopédia Delta Universal*, Rio de Janeiro, Editora Delta S.A., **9**, 4725 (1986).
3. FONSECA, M.R.M.. *Química Orgânica*. São Paulo: FTD, p. 144-48, 1992.
4. HECHT, E.. *Óptica*. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1991. 720 p.
5. *The New GROLIER Multimedia Encyclopedia* CD-ROM for Windows, 1993. Grolier Inc., 1987-1993 Online Computer Systems, 1993 The Software Toolworks Inc.
6. *Webster's Interactive Encyclopedia* CD-ROM for Windows, 1995 ATTICA Cybernetics Ltd. 1995 Helicon Publishing Ltd.