

ASPECTOS DA BIOFÍSICA

SADAO ISOTANI

Introdução

Um dos aspectos mais fascinantes dos estudos naturais é o estudo da vida em seus múltiplos e variados aspectos. A natureza e a origem da vida tem sido objeto de atenção da curiosidade humana através dos séculos. Filósofos, teólogos e cientistas tem procurado dar explicações para este fenômeno, sem contudo chegarem a um consenso. Definições para a vida, vão desde as místicas, proferidas pelos santos, até as mais simplórias oriundas do senso comum. Para alguns é o sopro do Criador que dá forma ao pó. Para outros, é um complexo mecanismo bioquímico, cujo objetivo e finalidade ainda não nos é dado a conhecer. Estas idéias sobre a vida, frequentemente se revelam de pouca ou nenhuma utilidade para o pesquisador que se interessa pela natureza e origem da vida.

A vida foi definida pelos pesquisadores de muitas formas, baseados em fenômenos como o crescimento, reprodução, mobilidade, consciência e adaptabilidade. Estas definições foram todas impiedosamente criticadas, com base em organismos vivos que não possuem estas qualidades e em estruturas inorgânicas que apresentam estas características. Espermatozóides não crescem, mulas não se reproduzem, plantas não se movem. Por outro lado, elementos inanimados podem reproduzir algumas destas características — cristais crescem, máquinas produzem máquinas, veículos movem-se, as máquinas são dirigidas a certos fins e são adaptáveis. Embora nenhuma das definições dadas para a vida seja satisfatória, podemos no entanto distinguir organismos vivos de estruturas inanimadas. Distinguimos a árvore da tora, um homem de seu cadáver. Posto isto, adquirimos a consciência de que a vida é

composta por uma série de complexos fenômenos que podemos distinguir intuitivamente e que toda dificuldade está em que não encontramos termos e conceituações adequadas. Se quisermos compreender perfeitamente o que é a vida devemos investigar com detalhes os múltiplos aspectos em que os organismos vivos se apresentam. Esta tarefa é grandiosa e possivelmente impraticável. Contudo, podemos obter um grau razoável da conceituação da vida, notando que existem algumas características essenciais à vida, dos organismos mais simples aos mais complexos.

A existência de características em comum aos organismos vivos é evidenciada de muitas formas. A grande maioria dos organismos vivos é composta por células que contêm alguns tipos básicos de moléculas, como proteínas, gorduras, carboidratos e ácidos nucleicos. O mecanismo homeostático, da capacidade relativa de autoregulação das atividades dos organismos vivos ao seu meio ambiente, e o passado evolutivo em comum são conceitos firmemente estabelecidos. Quase todos organismos vivos se reproduzem, ou pelo menos são formados por células, algumas das quais podem se replicar.

Os organismos vivos também apresentam características em comum relacionadas aos fenômenos físicos. Ao estudo do conjunto destas características, podemos dar o nome de biofísica. Contudo, em geral, designamos por biofísica as investigações biológicas em que uma contribuição ponderável de conhecimentos especializados de física é exigida. Este ponto de vista representa uma definição operacional dentro da qual localizamos as investigações das características gerais dos organismos vivos. Modernamente, o emprego do microscópio, do espectrofotômetro, do Raio X, da dispersão ótica, e outros instrumentos físicos é essencial para o trabalho do biólogo. Entretanto é incorreto designarmos por biofísica as investigações biológicas apenas pelo uso de instrumentos físicos. Apenas o trato de problemas biológicos por métodos físicos onde o conceito e o tratamento físico avançado sejam empregados constituem o corpo da biofísica.

Histórico

Esta pequena introdução histórica tem como objetivo dar uma idéia da grandeza de tempo em que os estudos biofísicos foram se desenvol-

vendo. Um dos estudos pioneiros neste campo, são os experimentos da condutividade elétrica nos músculos realizados por Luigi Galvani e seus colaboradores a partir de 1772. Observou-se que faíscas elétricas provocavam contrações em pernas de rãs. Experimentos posteriores mostraram que pernas de rãs também se contraíam quando ganchos de cobre passando pela medula espinhal eram ligadas a uma placa de ferro sobre a qual estivesse assentada. A explicação deste fenômeno foi tentada em bases físicas, supondo a existência de uma eletricidade animal. Este modelo de condução elétrica nos músculos foi refutado experimentalmente por Alessandro Volta, quando observou que não ocorria contração da perna se um único metal fechasse o circuito. A hipótese de Volta para a condução elétrica, que hoje se sabe correta, é que a condução elétrica se devia ao contato de dois metais distintos com os humores do corpo vivo. Estas pesquisas levaram à construção de pilhas elétricas.

A compreensão do processo da visão constituiu um dos primeiros problemas da biofísica, e ainda hoje é um de seus aspectos mais fascinantes. Já por volta de 1800 Thomaz Young propôs uma teoria da visão de cores. Estudou ainda o processo da acomodação do olho e da ótica geométrica do olho. Uma das mais importantes invenções para o estudo da geometria do olho, foi o do oftalmoscópio, por Helmholtz. Mais recentemente, foram estudados a relação entre a visão e os pulsos nervosos que partem do olho. Além disto, foram também intensamente estudados os processos bioquímicos e biofísicos da visão. Uma das contribuições mais importantes a este campo foi dado por Wald, por volta de 1932 quando descobriu a vitamina A na retina.

A termodinâmica é largamente aplicada aos estudos dos sistemas biológicos. Ela consiste no estudo da troca de calor entre corpos e da conversão do calor em outras formas de energia. Assim pode ser aplicada ao estudo de sistemas de enzimas, do transporte de moléculas contra gradientes químicos e elétricos, e à base molecular da condução nervosa. Não há praticamente campo da biologia onde os conceitos da termodinâmica não possam ser aplicados. Dentre os primeiros estudos termodinâmicos de sistemas biológicos, podemos citar os estudos de Julius Robert Mayer. Este autor, observou que nos trópicos o sangue venoso tinha uma cor vermelha mais escura e brilhante que aquele observado nos climas mais frios e que era mais viscoso. Especulou sobre a relação entre o calor, o trabalho e o processo fisiológico, chegando a estabelecer um princípio geral da conservação da energia e estabelecer um

equivalente mecânico do calor, pouco antes de Joule. Mais recentemente, como estudos tipicamente termodinâmicos, podemos citar os estudos de Hill iniciados em 1930, do papel do calor na contração muscular.

A descoberta da circulação, por volta de 1628, foi feita por William Harvey. Mais tarde, Thomas Young foi um dos iniciadores do estudo da natureza hidrodinâmica da ação do coração. Harvey foi discípulo de Galileu, assim como G.A. Borelli, que fundou a ciência da mecânica muscular por volta de 1680, com a publicação do livro *DE Motu Animalium*. Borelli investigou os movimentos dos animais de acordo com as leis da estática e da dinâmica. A contração muscular e a velocidade dos pulsos nervosos foi extensamente estudada por Helmholtz. Recentemente, o estudo da eletrofisiologia sofreu grande impulso com os estudos de Cole, Adrian e Bronk.

O microscópio composto foi descrito por Galileu e tornou-se modernamente um dos principais instrumentos de trabalho do biólogo. A importância do microscópio reside na observação de que uma das principais atividades do biólogo consiste na determinação da estrutura e do tamanho das componentes dos organismos vivos. Após o microscópio, uma das mais importantes contribuições da física à microbiologia, consiste na aplicação da dispersão da luz na determinação do tamanho de partículas, iniciados por Tyndall. Por volta de 1930, Albury, Kendrew, Wilkins, Perutz e outros iniciaram o uso do Raio X para a determinação de estruturas de proteínas e macromoléculas. A determinação da estrutura da lisozima, do DNA, do RNA, da mioglobina e da hemoglobina estão entre os resultados mais significativos. Mais recentemente, foram introduzidas técnicas de microscopia eletrônica que permite ampliação da ordem de 1000 vezes ao do microscópio ótico. Com esta técnica foram estudadas estruturas como a membrana celular, o vírus da *Escherichia Coli*, o DNA, a mitocôndria, a mielina, os nervos e o colágeno, com importantes contribuições para o conhecimento da estrutura e da função microscópica dos organismos vivos.

Os estudos dos efeitos das radiações em sistemas biológicos iniciaram-se com a descoberta de que a radiação ultravioleta podia danificar tecidos vivos. A descoberta dos Raios X e a separação do rádio, forneceram as fontes mais importantes de radiação durante a primeira metade deste século. Com a construção dos reatores atômicos e das bombas atômicas e de hidrogênio a partir de 1940, os estudos dos efeitos deletérios das radiações sobre os

organismos vivos foram intensificados. Foram desenvolvidas aplicações práticas em esterilização de alimentos e no tratamento de tumores. Além disto, usou-se a radiação como meio de produzir mutações, tanto com o fito de estudos genéticos como para a obtenção de espécies vegetais e animais com características adequadas às atuais atividades humanas. O estudo dos efeitos da radiação contribuíram também para a melhor compreensão dos mecanismos de reparo do DNA. As radiações de alta energia, como os Raios X, os raios alfa, beta e gama, os neutrons, e os eletrons acelerados, possuem energias muito altas que correspondem a comprimentos de onda que podem ir desde frações de Angstrom até 3000 Angstroms. A este limite superior, corresponde o início do espectro visível. É nesta região que as plantas fotossintetizadoras absorvem luz e a convertem em energia bioquímica. Os estudos sobre os mecanismos da fotossíntese são recentes. A partir de 1950 foram realizados estudos de marcação por carbono 14, de absorção ótica e outros estudos biomoleculares que levaram à compreensão de alguns mecanismos da fotossíntese.

Determinação de estruturas

A função e o comportamento das biomoléculas e bioestruturas, podem em muitos casos ser compreendidos a partir de suas estruturas espaciais. De modo que a determinação de estruturas biomoleculares é um dos objetivos primários das pesquisas biológicas. As técnicas de determinação de estruturas por dispersão de luz, de difração de Raios X, de microscopia eletrônica e mais recentemente de técnicas de ressonância magnética e espectroscopia Mossbauer, absorção ótica, absorção infravermelha e espalhamento Raman foram desenvolvidos dentro do campo da física e da físico-química. Estas são técnicas de estudos estruturais. A seguir descreveremos algumas das técnicas que mais contribuíram para o desenvolvimento recente da anatomia e da fisiologia molecular.

Os primeiros dados sobre as dimensões moleculares foram obtidos através de técnicas de dispersão de luz. A luz, numa solução, é espalhada por partículas em suspensão. Quando o tamanho das partículas é menor do que o comprimento de onda da luz, elas podem ser determinadas pela dispersão da luz na solução. Estes estudos foram iniciados por Tyndall e hoje são

largamente empregados. Esta técnica se desenvolveu, permitindo a determinação de formas esféricas, lineares e helicoidais e seus parâmetros geométricos.

Estudos num nível mais profundo da anatomia microscópica dos organismos vivos são acessíveis ao microscópio eletrônico. Sua contribuição ao estudo das membranas celulares, organização do material proteico, do material genético, e da estrutura de orgânulos celulares foram fundamentais. A estrutura de vírus e seu comportamento também foram esclarecidos pela contribuição de técnicas de microscopia eletrônica. O princípio de funcionamento destes microscópios é o mesmo do microscópio ótico. A diferença está em que na microscopia ótica usamos luz, cuja faixa de comprimentos de onda está entre 3.000 e 7000 Angstroms (Angstrom = 10^{-8} cm), e na microscopia eletrônica usamos eletrons cujo comprimento de onda é da ordem de Angstroms. Assim sendo, a resolução do microscópio eletrônico é muito maior do que a do microscópio ótico. Contudo, como são usados eletrons, o material a ser pesquisado deve ser preparado em lâminas (cortes ultra finos) e a observação deve ser feita em vácuo. Esta é uma das principais dificuldades deste método.

O estudo de raios X de macromoléculas é considerado e em geral um assunto complexo e acessível somente aos especialistas. Porém, a idéias básicas que envolvem o trabalho em raios X são muito simples: Um feixe de raios X espalhados em cristais devidamente condicionados e orientados, mostrará num filme fotográfico colocado atrás dele um padrão de manchas dispostas em um gradeado regular que está relacionado com a disposição das moléculas no cristal. Além disso cada mancha terá uma intensidade característica, associada em parte à disposição dos átomos dentro das moléculas. A fim de obter uma imagem tridimensional da estrutura, a intensidade dos raios X espalhados deve ser medida e a fase entre estas intensidades deve ser determinada. O sucesso na determinação da estrutura de proteínas deve-se em grande parte ao desenvolvimento de computadores eletrônicos capazes de realizar rapidamente os complexos e volumosos cálculos. O problema de fase foi resolvido por Perutz, fixando átomos pesados na estrutura em estudo. A presença de átomos pesados produz mudanças acentuadas nas intensidades, o que torna possível colher informações a respeito das fases. Dentre os resultados mais espetaculares da aplicação dos espectros de difração de raios X, podemos citar a determinação das estruturas da lisozima, mioglobina e hemoglobina e do esqueleto do RNA e DNA.

As moléculas e átomos com spins eletrônicos podem ser observados por técnicas de ressonância paramagnética de elétrons (EPR). Os spins nucleares, em átomos como hidrogênio e sódio podem ser observados por técnicas de ressonância nuclear magnética (NMR). Como o hidrogênio, o sódio e outros átomos com spins nucleares são encontrados em biomoléculas e bioestruturas, o NMR pode ser empregado no estudo destas estruturas. No estudo de proteínas organometálicas, danos de irradiação, nas fases intermediárias de reações fotossintéticas e em outros processos bioquímicos onde moléculas com spins eletrônicos intervêm, técnicas de EPR são muito úteis. Em virtude da alta sensibilidade das técnicas de ressonância magnética, elas estão sendo intensamente empregadas em estudos biológicos.

Comunicação

Os fenômenos de transporte e troca de energia podem ser estudados macroscopicamente através da termodinâmica. A termodinâmica pode ser aplicada a qualquer parte da biologia, e envolve fenômenos reversíveis e irreversíveis. Por exemplo, podemos estudar a conversão da luz em substâncias orgânicas e em ATP. O ATP é uma substância chave para os fenômenos de troca de energia. Ela age como receptora ou doadora de energia em processos bioquímicos.

Um dos elementos mais importantes para o estudo dos fenômenos de transporte, é a membrana celular. A célula é envolta por uma membrana. Contudo, até recentemente, sua natureza era desconhecida, por ser demasiado fina para ser visível mesmo ao mais poderoso microscópio ótico. Com o microscópio eletrônico, pode-se observá-la e determinar a sua espessura. Combinando as evidências diretas com os resultados anteriores, pode-se inferir sua estrutura molecular. Concluiu-se que a membrana, longe de ser apenas um envoltório externo, constitui em geral uma parte essencial da estrutura celular. Ela mantém o protoplasma em seu ambiente líquido e controla a constante troca de material entre o interior e o exterior.

As trocas de material entre a célula e o meio externo podem ser passivas, por difusão ou ativas. Neste último processo, a célula usa a energia da degradação da molécula de trifosfato de adenosina (ATP) no difosfato de

adenosina (ADP) mais um fosfato hidratado. Por exemplo, a célula expulsa continuamente ions de sódio, enquanto mantém em seu interior uma concentração de ions de potássio. Tanto o sódio como o potássio encontram-se carregados positivamente. O transporte de sódio na membrana faz-se contra um gradiente de potencial, consumindo ATP, sendo este processo conhecido como bomba de sódio. O processo de transporte ativo de sódio tem merecido a atenção dos biofísicos, do ponto de vista termodinâmico e estrutural. Recentemente, estudos da estrutura molecular e dos mecanismos bioquímicos tem se desenvolvido.

As trocas passivas ou ativas de substancias pressupõe a existência de meios adequados onde tais substâncias estejam dissolvidas. Em organismos microcelulares e em alguns organismos superiores, tais trocas são realizadas diretamente com o meio ambiente. Contudo, em organismos superiores o meio do qual as células retiram as substâncias é relativamente organizado, com concentrações e fluxos controlados. Nas plantas, líquidos, gases e minerais são absorvidos pelas raízes e pelos envoltórios externos como folhas e tronco. Estas soluções são distribuídas pela planta através de vasos. Nos animais, o alimento digerido é absorvido e distribuído pelo sangue. O sangue é impellido por processos mecânicos para as várias partes do organismo, através de artérias e veias. No processo de distribuição das substâncias que são requeridas pela célula, distinguimos três estágios: 1) a dissolução do alimento, em soluções aquosas e absorção por elementos transportadores; 2) o transporte físico das soluções por canais adequados; 3) a passagem das substâncias para o citoplasma das células. Nestes estágios são observados complexos fenômenos hidrodinâmicos e termodinâmicos que constituem parte integrante dos estudos dinâmicos da biofísica.

No reino animal, quanto mais organizado se é, maior a importância do sistema de coordenação das atividades. Entre os mecanismos principais de coordenação, estão os de natureza química e os eletrofisiológicos. O processo químico depende da confecção e circulação de hormônios. A confecção de hormônios em geral se faz em determinadas células especializadas do organismo, e o meio de transporte é a circulação sangüínea. O mecanismo eletrofisiológico depende principalmente de um sistema especializado de células nervosas. Este sistema é muito superior em velocidade e seletividade ao controle hormonal. Estas células nervosas se encarregam de receber e emitir informações e instruções por meio de impulsos elétricos conduzidos por

fibras nervosas ou axônios e outros caminhos. O mecanismo coordenador do sistema eletrofisiológico encontra-se no cérebro. Contudo, o funcionamento do cérebro e do sistema nervoso, ao nível celular e molecular, apenas recentemente foram objetos de estudos sistematizados. Assim constitui, atualmente, um campo de grande interesse por biofísicos.

A comunicação dos organismos superiores com o meio ambiente, pode se fazer aproveitando o espectro luminoso e sonoro, os gradientes de temperatura, a pressão e substâncias químicas. Nos animais, chamamos estes processos de visão, audição, sensibilidade térmica, tato e olfato. Em todos os casos, a interação destes organismos com o meio, dispara impulsos nervosos que levam a informação ao cérebro, onde é processado e respondido. Dentre as estruturas de comunicação física mais estudadas, estão a audição e a visão. A visão é provavelmente o órgão de comunicação externa mais estudado, sendo que a geometria é conhecida desde o século passado. Contudo, só recentemente os mecanismos bioquímicos da visão foram identificados e estão sendo estudados. Quanto à audição e tato consistem de disparadores mecânicos de grande sensibilidade. No atual estágio, uma parcela razoável de conhecimento estrutural do sistema de comunicação externo dos organismos foi acumulado. Assim, torna-se possível o estudo do comportamento dinâmico destes sistemas e a sua relação com a função cerebral.

Movimentos

Quando falamos em movimentos de organismos vivos, referimo-nos a todos processos físicos pelo qual estes se alteram espacialmente. Isto é, referimo-nos ao deslocamentos espaciais, ao crescimento e à replicação. Os deslocamentos espaciais se apresentam em muitas formas. O movimento de cílios, as contrações e distensões celulares em escala microscópica, e movimentos musculares em organismos superiores. O processo de contração muscular é disparado por pulsos elétricos. No processo de movimento intervem a energia armazenada no ATP. Como o processo tem um rendimento da ordem de 50%, o calor gerado é transferido para o organismo. Esta é a causa pela qual esquentamos e suamos ao realizarmos esforços físicos. Embora muitos dos estágios e processos biológicos da contração muscular e de outros processos de deslocamento tenham sido descobertos, estes indicam que novas

e importantes descobertas ainda estão por vir.

O processo de crescimento de organismos que envolve tanto a replicação como o crescimento e especialização celular já foram bastante estudados, apresentando-se algumas leis gerais. Foi observado, por exemplo, que o crescimento de uma determinada parte de um embrião se conecta com o crescimento de todo embrião pela relação

$$y = ax^b$$

onde y é o tamanho da parte em questão e x é o tamanho de todo embrião, e a e b são constantes. O relacionamento do crescimento das partes do embrião tem sido objeto de recentes estudos, onde embriologistas e físicos teóricos tentam explicar o conjunto das relações do crescimento embrionário. Aparentemente, campos elétricos e hormônios controlam as primeiras fases do crescimento e diferenciação celular. O campo elétrico, possivelmente pode orientar a especialização, algumas vezes irreversível das células. Daí podemos indagar qual seria o efeito de uma alteração de campos elétricos internos em organismos evoluídos visto que podem estar relacionados com alguns dados fisiológicos como disfunções, efeitos da acupuntura e evoluções tumorais. O papel dos campos elétricos no embrião e nos organismos evoluídos, e o efeito do campo magnético sugerido por causa de recentes estudos do funcionamento cerebral, sugerem um novo campo de estudos, ou seja, os estudos dos efeitos fisiológicos de gradientes de campo.

No crescimento populacional de um organismo unicelular que se reproduz por divisão a uma razão constante, com uma provisão infinita de alimentos, e sem nenhuma limitação externa, a razão de incrementos é proporcional ao número de organismos n e a frequência de divisão b , isto é

$$\frac{dn}{dt} = bn$$

Contudo, esta equação ainda não representa o caso real, pois um dado volume do espaço ou *habitat* pode suportar uma população máxima k . Se V é o volume do meio em questão e a é a distância média mínima que um indivíduo pode estar de outro, $k = V/(4 a^2/3)$. Neste caso

$$\frac{dn}{dt} = bn \left(\frac{k-n}{k} \right)$$

onde b é a razão de reprodução, n é o número atual de organismos que podem se reproduzir pela proporção de espaço vago $(k-n)/k$. Integrando esta equação obtemos a curva de Verhulst Pearl

$$n = kn_0 e^{bt} / (k - n_0 - n_0 e^{bt})$$

onde n_0 é a população inicial. Esta relação mostra simplificada o decréscimo do aumento populacional com a diminuição do espaço disponível. Isto é, pressupomos que a área livre atua de alguma forma no processo da razão de replicação. A relação acima é uma simplificação, não podendo explicar fenômenos de oscilação populacional no limite em que esta é da ordem de k . Contudo, nos indica o caminho a seguir, mostrando-nos que relações físicas afetam o comportamento da replicação celular.

Energética

A origem e a manutenção da vida é um mistério do ponto de vista químico. Em termos, os organismos vivos são constituídos de complexas estruturas moleculares, e quanto maior a estrutura de uma molécula, maior a facilidade com que ela é destruída. Moléculas complexas em soluções podem levar muito tempo para se constituírem. Contudo, para a sua decomposição, o tempo gasto pode não passar de um milionésimo ou mais do tempo necessário para a sua constituição. Esta facilidade de decomposição das macromoléculas, torna a explicação da origem e da manutenção da vida um problema complexo, envolvendo principalmente os efeitos termodinâmicos de um fornecimento desigual de energia pela superfície da terra.

Os organismos vivos dependem de um contínuo fornecimento de energia. Essa energia é usada para manter o complexo molecular em atividade ordenada, através de mecanismos reguladores que consomem esta energia. Contudo, a primeira pergunta que surge é como surgiram tais sistemas. Uma experiência clássica, mostra que uma descarga elétrica passando por uma atmosfera de NH_3 , CH_4 , H_2 e H_2O produz aminoácidos. Isto é, numa atmos-

fera do tipo que se supõe ter sido a primitiva biosfera, os raios poderiam ter dado origem aos primeiros compostos orgânicos que formariam o substrato químico do qual teriam-se originado os primeiros organismos vivos. Este é um exemplo que nos sugere que não basta fornecer energia uniformemente a um substrato adequado. A faísca elétrica é um meio físico pelo qual cargas elétricas são transportadas de modo que diferenças de potencial sejam neutralizadas. Neste processo, as moléculas do ar podem ser localmente ionizadas e até mesmo total ou parcialmente dissociadas, tornando-se o meio subitamente aquecido. A faísca em geral tem uma vida muito curta. Após a faísca, as moléculas ionizadas ou dissociadas agrupam-se e misturam-se ao meio, perdendo energia através de colisões ou reagindo formando moléculas maiores. A manutenção da faísca elétrica por longos períodos, pode apressar o conjunto de reações, como a observada na experiência acima citada.

O fornecimento desigual de energia, ou seja, o gradiente de energia, favorece a formação de moléculas complexas. A explicação disto é de natureza química, e pode ser dada esquematicamente, da seguinte forma: Na constituição de moléculas, barreiras de potencial devem ser vencidas, com fornecimento de energia, mas após a formação da molécula o meio deve estar a uma temperatura média abaixo desta energia para que a molécula não dissocie. A eficiência deste processo aumenta se pudermos fornecer a energia de formação de moléculas, e ao mesmo tempo manter a temperatura do meio mais baixa possível. Isto sugere que o fornecimento desigual de energia por meio de raios, do dia e da noite, das estações do ano e de outros fenômenos físicos, possam ter tido papel fundamental nas transformações sofridas pela atmosfera da Terra, e que culminou com a origem da vida terrestre.

Os aminoácidos podem ser produzidos por processos fotoquímicos, numa atmosfera de NH_3 , CH_4 , H_2O e CO_2 . Observou-se que a exposição destas substâncias à luz ultravioleta e outras formas de radiação produz aminoácidos. Em eras primitivas quando não havia ozônio na atmosfera superior que absorve a luz ultravioleta, esta luz pode ter contribuído para a produção em larga escala dos aminoácidos essenciais para a origem da vida. Hoje, a luz é aproveitada pelas plantas através da fotossíntese, para a produção de moléculas orgânicas das quais todos os organismos vivos são principalmente compostos.

A fotossíntese é um complexo de reações na qual o CO_2 , H_2O e

pequenas quantidades de outras substâncias são convertidas em moléculas orgânicas. Este processo, segundo Rabinovitch e Govindjee é constituído de três estágios, (i) os átomos de hidrogênio da água são removidos com a liberação de moléculas de oxigênio; (ii) os átomos de hidrogênio são transferidos de compostos intermediários do primeiro estágio para compostos intermediários do terceiro estágio; (iii) os átomos de hidrogênio são usados na conversão do dióxido de carbono em carboidrato.

No primeiro estágio, a energia radiante na forma de ftons é captada na clorofila e é transferida aos hidrogênios, liberando oxigênio. A clorofila é constituída por um átomo de magnésio, num conjunto planar de anéis moleculares chamado porfirina. A porfirina possibilita um grande número de rearranjo, no padrão de ligações de sua estrutura anular com o magnésio por causa de seus elétrons conjugados. Cada um de tais arranjos corresponde a uma configuração de ligações sem que nenhum átomo se mova. Pode-se dizer que a molécula ressoa entre todos os arranjos possíveis. A molécula de porfirina é muito estável estando entre as moléculas mais inertes e estáveis de toda química orgânica. Uma de suas características principais é a capacidade de absorver energia de um foton, e passá-la intacta a outras moléculas de clorofila vizinhas. A clorofila possui um estado meta estável cuja vida média é de 5 décimos milésimos de segundo, cerca de mil vezes maior do que o usualmente observado em moléculas orgânicas. Enquanto a fotossíntese se processa, muitas moléculas de clorofila, tendo acabado de reagir, são capazes de absorver energia, mas não de utilizá-la. Deste modo, grandes quantidades de energia absorvida são passadas intactas até serem utilizadas, que de outro modo seriam convertidas em calor. No segundo estágio, observa-se através de complexas cadeias de reações, o armazenamento de energia na forma do trifosfato de adenosina (ATP) e a transferência de hidrogênio para o terceiro estágio onde o CO_2 é convertido em carboidrato.

Recentemente foram usadas radiações ionizantes no estudo de fenômenos biológicos. O interesse inicial, se prendia aos problemas relacionados com a proteção radiológica e à utilização pacífica da energia atômica. O progresso dos estudos dos efeitos da irradiação em substâncias de interesse biológico contribuiu para a compreensão de vários mecanismos biológicos, notadamente os mecanismos de reparo do DNA. Novas e excitantes possibilidades de investigação são sugeridas.

O dano de radiação em proteínas se localiza aparentemente em átomos de carbono e em átomos de enxofre. Este efeito foi observado por técnicas de ressonância paramagnética de elétrons. Os mecanismos de absorção e da produção de dano são ainda quase totalmente desconhecidos e constituem um fascinante campo de investigação. Foi observado que moléculas orgânicas do tipo $(C_6H_5)(CH_2)_nCH_3$ são mais resistentes à radiação do que as moléculas $CH_3(CH_2)_nCH_3$. Na primeira molécula, a componente $(C_6H_5)-$ é um anel benzênico, que contém elétrons conjugados. Estes elétrons conjugados, provavelmente contribuem com um mecanismo adicional de transferência de energia na cadeia $-(CH_2)_nCH_3$. Este mecanismo extra de transferência de energia pode contribuir para que a energia de radiação absorvida possa ser transferida e dissipada sem causar danos. Este mecanismo apresenta possivelmente analogias com o mecanismo de absorção e transferência de energia e hidrogênio pela clorofila. Cremos que o estudo de efeitos de radiação em cristais artificiais com elétrons conjugados, como o $(C_6H_5)(CH_2)_nCH_3$, possam contribuir para o esclarecimento não só dos mecanismos de danos de radiação, mas também para o esclarecimento dos mecanismos de absorção e transferência de energia e de hidrogênio no estágio inicial da fotossíntese.

Abordagem de pesquisa

A determinação da função e do comportamento dos organismos vivos é uma tarefa complexa em virtude de seus múltiplos e variados aspectos. Um mesmo problema pode ser estudado segundo várias metodologias, e quanto mais complexo o problema, mais importante se torna a metodologia escolhida. Assim, o estudo de organismos vivos exige uma visão muito precisa das metodologias que podem ser empregadas. Aqui, usamos o termo metodologia designando a filosofia que orienta a pesquisa. Nestes termos é essencial a distinção entre o método *Democritiano* e o *Aristotélico*.

A asserção de que os organismos vivos contém algo mais além das componentes materiais e do relacionamento físico entre estas componentes pressupõe o total conhecimento das componentes materiais e das leis físicas da Natureza. Este conhecimento raramente é pretendido mesmo pelos mais perfeitos conhecedores dos fenômenos da Física e da Química. Devemos

abandonar tal asserção em benefício de conceituações mais úteis.

A abordagem democritiana ou atomista procura a redução dos fenômenos em partes e no estudo das propriedades destas partes. A abordagem aristotélica ou holística preocupa-se com a integração e a interação destas partes dentro do todo. Um sistema é mais do que a soma das partes, em virtude das interações estruturais e funcionais entre as partes. Estas metodologias se completam no esforço de se compreender o fenômeno da vida.

Em todos processos de pesquisa encontramos maior ou menor contribuição destas metodologias. Contudo, há estágios em que o conjunto de conhecimentos a respeito de um dado fenômeno, tornam possível a predominância de uma ou outra como método de pesquisa. A preocupação holística é encontrada com maior freqüência quando se supõe que se conhece todas componentes de um dado fenômeno e se propõe a integrá-los num todo. A montagem destas componentes numa teoria que explique a função e o comportamento do fenômeno, se faz tomando em consideração as interações entre as componentes. Contudo, este tipo de aproximação holística só é possível se existe um grau razoável de compreensão das componentes e de suas características individuais. Este tipo de conhecimento caracteriza a necessidade de uma metodologia atomística, com o fim de reduzir o fenômeno em suas partes e a determinação das características individuais das partes. Contudo, estas metodologias não são estanques, pois se para a integração das partes no todo necessitamos de conhecimentos estruturais e funcionais das partes, pode ocorrer casos em que no processo de integração, características individuais das partes sejam reveladas. De um fenômeno para outro, em sistematizações sucessivas, devemos encontrar predominâncias alternadas da metodologia holística e atomística. Obviamente, os estágios intermediários constituem a arena onde se degladiam os partidários de uma ou outra metodologia.

A discussão acima desenvolvida a respeito das metodologias pode ser apenas esquematicamente desenvolvida em termos da biofísica. Durante o estágio inicial de estudos biofísicos, os sistemas em questão eram basicamente simples. De modo que torna-se difícil precisar as metodologias assumidas pois a simplicidade dos sistemas e a grande variedade de problemas torna possível a aplicação de ambas metodologias. O papel das metodologias assumidas nos estudos biofísicos constitui hoje uma matéria da competência

da História da Ciência. Contudo, a história recente da biofísica pode ser interpretada como atomística. Desde o início deste século com a descoberta da estrutura do átomo, e do desenvolvimento da mecânica quântica e relativística, o estudo de estruturas moleculares e microcelulares foram incentivadas, sem preocupações mais profundas das interações existentes. Recentemente, os estudos da regulação das atividades celulares proporciona o entrelaço entre as abordagens holística e atomística. Observa-se que uma quantidade considerável de informações estruturais foram armazenadas, tornando possíveis os estudos de interações interestruturais em bases mais profundas. Contudo, ainda hoje, muitas estruturas são desconhecidas, ao mesmo tempo que interações interestruturais são apenas esboçadas. Neste estágio, os estudos estruturais deixam pouco a pouco de ser um fim e passam a ser orientados para a compreensão dinâmica das relações interestruturais. Assim, aparentemente inicia-se um estágio em que o método holístico volta à cena e o atomístico se coloca discretamente em função desta última, até que se possa apresentar num novo ciclo, dentro dos intermináveis ciclos que caracterizam a dinâmica da ciência.

BIBLIOGRAFIA

1. *A Base Molecular da Vida*, Textos do Scientific American, Editora da Universidade de São Paulo.
2. *A Célula Viva*, Textos do Scientific American, Editora da Universidade de São Paulo.
3. *Solid State Biophysics*, Editor S.J. Wyard McGraw-Hill Book Company.