

Artigo original

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA DA BIOFÍSICA PARA AS CIÊNCIAS BIOMÉDICAS

Solidonio Arruda Sobreira¹

RESUMO

A biofísica é uma ciência nova, híbrida e multidisciplinar que investiga os processos biológicos através de princípios físicos. A biofísica não acrescenta conhecimentos novos à física, mas sim às ciências bióticas, o que justificaria sua categorização como ciência biológica entre as ciências factuais. Está bastante correlacionada a outras ciências bióticas, notadamente à fisiologia e suas diversas especialidades. Dedicar-se principalmente ao estudo biofísico das membranas, a biofísica dos sistemas fisiológicos e das radiações excitantes e ionizantes. Outras áreas de investigação biofísica são apresentadas, bem como a contribuição da biofísica para as ciências bióticas e médicas.

Palavras-chave: Metodologia. Biofísica. Ciência.

INTRODUÇÃO

A biofísica é uma ciência multidisciplinar e abrangente que apresenta amplas correlações com diversas áreas do conhecimento científico. Um dos trabalhos pioneiros da biofísica foi o livro intitulado *O que é a vida?*, escrito pelo físico austríaco Erwin Schrödinger e publicado originalmente em 1944. Em resumo, dizia que os sistemas biológicos sempre se adaptam para aumentar sua organização em detrimento da desorganização do meio. Aparentemente, isso estaria em contradição com as leis da termodinâmica pois, enquanto o universo tende a se desorganizar (entropia), os sistemas biológicos seguem o caminho contrário (CEREJIDO, 1972; SCHRÖDINGER, 1997).

Não há consenso se a biofísica deve ser considerada um ramo das ciências bióticas ou ramo da física. Admite-se que a biofísica aplica os fundamentos já acumulados pela física aos processos biológicos (McGRAW-HILL, 2005). Com efeito, a biofísica não acrescentaria conhecimentos novos à física, mas sim à biologia, o que poderia justificar sua categorização biológica (Figura 1). A biofísica também pode ser concebida como uma zona de intersecção entre a física e as ciências biológicas. Ela não deve ser invariavelmente física, sob pena de perder sua compleição biológica. Tampouco deve negligenciar suas ferramentas físicas, sob pena de ser confundida com outras ciências bióticas.

Enquanto ciência biológica, a biofísica encontra bases na observação, na experimentação e na indução que definem as ciências factuais. Enquanto ciência física, ela apresenta artifícios das ciências formais, caracterizados pela aplicação da matemática e das figuras de raciocínio dedutivo (RODRIGUES, 2001; MOREIRA, 2002).

Segundo LAUFFER (1990), editor de um dos mais consagrados periódicos em

¹ Farmacêutico Bioquímico. Mestre em Genética pela UFPB. Professor de Biofísica da FAMENE/FACENE – João Pessoa-PB. Av. Nossa Senhora de Fátima, 1932, Torre. João Pessoa-Paraíba. E-mail: profsoli@ig.com.br

biofísica, o *Biophysical Journal*, esta ciência permanece sem uma definição clara. Uma das razões seria o caráter híbrido da biofísica. Ou seja, as muitas interfaces que a biofísica possui com diversas disciplinas correlatas, notadamente com a fisiologia e suas várias subdivisões. Por esta razão, quase todos os biofísicos são também membros de uma outra especialidade profissional.

A despeito das limitações conceituais, pode-se dizer que a biofísica é a "ciência que estuda os processos biológicos através de princípios e métodos físicos" (CEREIJIDO, 1972; JIMÉNEZ, 2005; MCGRAW-HILL, 2005). Desta definição, infere-se que o objeto de estudo da biofísica é obviamente biológico, ainda que seu enfoque ou seu "olhar" seja físico. Este "olhar físico" pode variar em maior ou menor grau, dependendo do objeto de estudo, das metas da disciplina acadêmica, e do público-alvo para o qual se destina a disciplina.

A biofísica pode ser considerada, ao mesmo tempo, uma ciência básica e aplicada. É básica quando é motivada simplesmente pela curiosidade científica, sem a preocupação imediata de aplicar seus resultados na prática. É aplicada quando se destina à resolução de problemas prementes e específicos da biologia e da medicina. Contudo, a distinção entre ciência básica e aplicada é relativa e pode se confundir com o decorrer do tempo. Muitos conhecimentos aparentemente desnecessários da biofísica básica já têm ou poderão ter aplicabilidade prática no futuro (JIMÉNEZ, 2005).

Aspectos Acadêmicos da Biofísica

A biofísica tem sido desenvolvida por médicos, bioquímicos e biólogos que complementam seus conhecimentos com fundamentos de física, matemática e físico-química. Poucas universidades do mundo

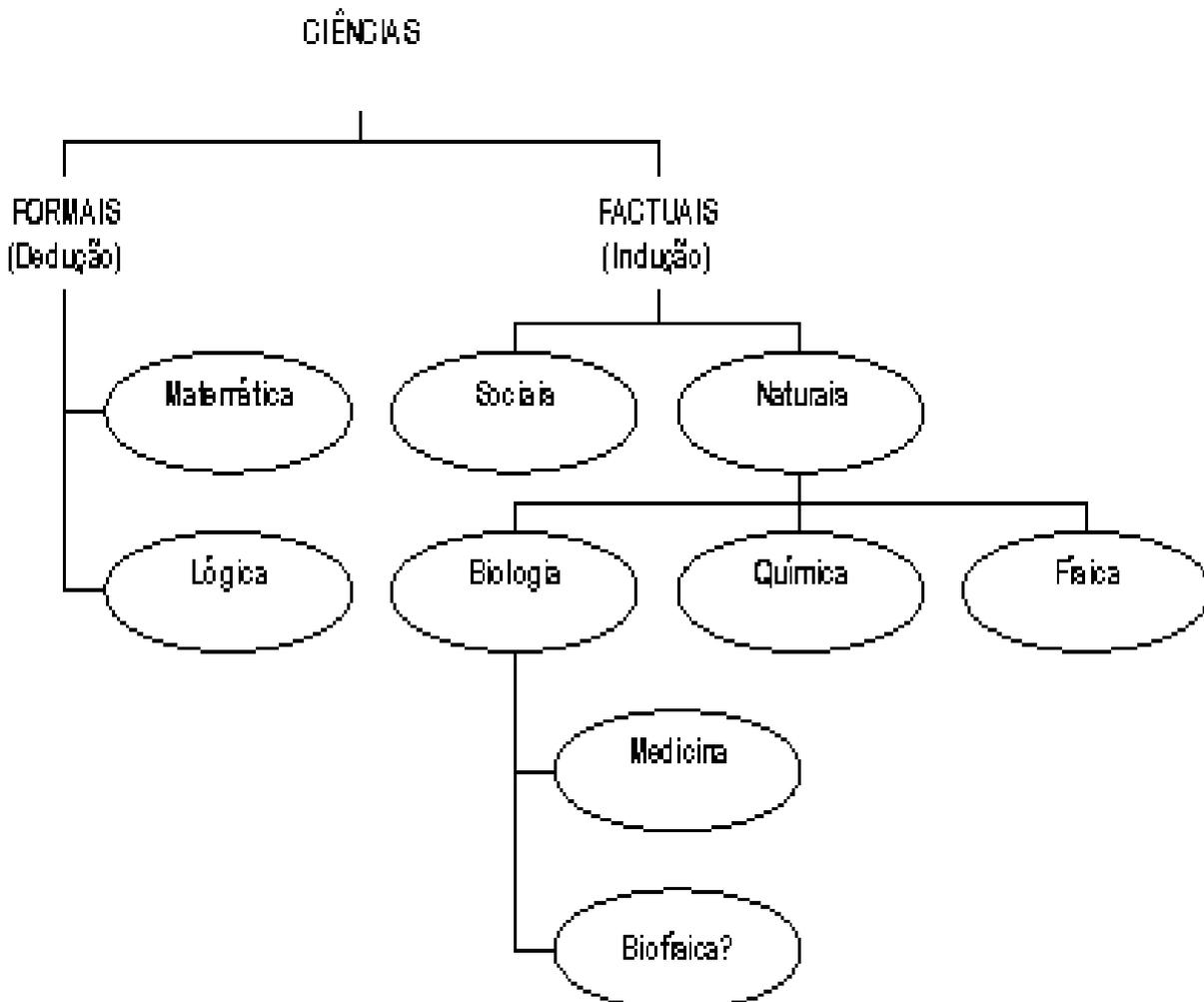


Figura 1: Provável Categorização da Biofísica entre as Ciências Factuais.
Adaptado de MOREIRA (2002)

oferecem uma formação específica em biofísica. Algumas oferecem orientações biológicas para físicos, ou ainda complementação física para médicos e biólogos. A maioria dos biofísicos atua na docência ou na pesquisa, o que é típico de toda ciência nova. Outra parte dos biofísicos atua na indústria biomédica (CEREIJIDO, 1972).

A biofísica é oferecida aos cursos de graduação durante o currículo básico, e tem a finalidade de prover os conhecimentos basilares que darão suporte a conteúdos ulteriores, principalmente da fisiologia, da radiologia e da medicina nuclear. Ainda que tenha caráter basilar e interdisciplinar, muitas abordagens da biofísica são genuínas, uma vez que o enfoque biofísico dificilmente será adotado por outras disciplinas.

A formação acadêmica de bacharéis em biofísica é desfavorecida por vários fatores. Primeiramente, a biofísica depende da colaboração de várias ciências correlatas para progredir. Um discente de biofísica necessita estudar disciplinas em diferentes centros ou faculdades. Portanto, a inexistência de um campus universitário amplo dificultaria sobremodo a realização de uma graduação em biofísica. Não raro, a biofísica é vista como uma ciência "intrusa" entre as cátedras das ciências clássicas "consagradas". Profissionalmente, a indústria nacional não absorve o profissional biofísico; e o título de biofísico não serve para exercer profissões liberais (CEREIJIDO, 1972).

Principais Áreas da Biofísica

Tradicionalmente, a biofísica apresenta três grandes áreas principais de investigação: o estudo biofísico das membranas; a biofísica dos sistemas fisiológicos; e a biofísica das radiações. Cada uma destas áreas apresenta conteúdos diretamente relacionados a temas específicos da física.

Na área de membranas, a biofísica estuda os mecanismos de transporte, sinalização e os fenômenos celulares de natureza elétrica. O estudo do "transporte através das membranas" envolve a aplicação direta de fundamentos da física e da físico-química, notadamente aqueles relacionados à termodinâmica, à hidrostática,

às leis da difusão (Lei de Fick) e da osmose (LODISH, 1998; HENEINE, 2000). A bioeletricidade é a área da biofísica que investiga a geração dos potenciais elétricos celulares; como estes potenciais são naturalmente produzidos, propagados e registrados. Nesta unidade, a biofísica apresenta intersecções importantes com a eletricidade e a eletroquímica. As correntes iônicas, o funcionamento de canais e a propagação dos potenciais de ação são temas da bioeletricidade imprescindíveis para compreensão do sistema nervoso (GARCIA, 1998; HENEINE, 2000).

Na "biofísica de sistemas", os sistemas fisiológicos são examinados sob a luz do enfoque físico. Nesta unidade, figuram principalmente as seguintes áreas de investigação: biofísica da circulação, biofísica da respiração, biofísica da função renal, biofísica da visão e biofísica da audição (MONTOREANO, 1995; GARCIA, 1998; HENEINE, 2000).

A biofísica das radiações estuda a natureza física das radiações, notadamente aquelas que têm aplicação na área biomédica. Esta unidade tem como tema principal a "radiobiologia", ou seja, o estudo dos efeitos biológicos das radiações excitantes e ionizantes. Também são delineados os mecanismos das lesões radioativas, os efeitos biológicos a curto e longo prazo, os riscos e benefícios associados aos vários tipos de emissões radioativas (GARCIA, 1998; OKUNO, 1998).

Interdisciplinaridade da Biofísica

As principais áreas correlatas à biofísica são a fisiologia, a radiologia, a medicina nuclear, a biologia molecular, a bioquímica e a genética. A biofísica e a fisiologia estão tão irmanadas que a diferença entre ambas passa despercebida muitas vezes. Não surpreende o fato de que os livros de fisiologia estejam repletos de conceitos biofísicos, e que muitos biofísicos atuem como fisiologistas. A razão dessa forte intersecção é o fato de que muitos processos fisiológicos são compreendidos plenamente sob a luz do enfoque físico.

Um exame rápido da literatura especializada revelará que a fisiologia e a "biofísica de sistemas fisiológicos" têm o

mesmo objeto de estudo (MOTOREANO, 1995; GUYTON, 1998; GARCIA, 1998; HENEINE, 2000). O que muda é a abordagem, o detalhamento das causas físicas, que é tarefa óbvia e prioritária da biofísica.

Um exemplo típico da abordagem biofísica é a descrição da circulação sanguínea. Na perspectiva biofísica, a circulação sanguínea é tratada como um sistema hidráulico fechado não ideal, movido pelo trabalho de uma bomba, e com fluxo aproximadamente constante em regime estacionário.

O coração realiza trabalho, produz energia mecânica e transfere essa energia para o sangue. Essa descrição é enriquecida com equações fundamentais da hidrodinâmica capazes de elucidar questões essenciais. Por que o fluxo ou vazão de sangue é aproximadamente constante em todos os territórios da circulação? Por que a pressão do sangue diminui gradativamente na medida em que o sangue escoia pelos vasos? Por que um aneurisma evolui fisicamente para ruptura? Por que o sangue escoia mais rapidamente dentro das estenoses arteriais? (OKUNO, 1986; MONTOREANO, 1995; HENEINE, 2000).

Até mesmo o funcionamento do coração depende de variáveis biofísicas para sua clara compreensão: eletrocardiografia; condutância elétrica do miocárdio; sistema cardíaco de condução; potencial de ação cardíaco, canais volt-dependentes, etc. (GARCIA, 1998).

A biofísica compara o pulmão a um balão complacente e gás-permeável, capaz de armazenar energia potencial elástica (Lei de Hooke) durante a inspiração. Quando advém a expiração, o pulmão diminui de volume, o que faz aumentar a pressão intralveolar (Lei de Boyle-Mariotte). É essa pressão supra-atmosférica intrapulmonar que força a saída de ar dos pulmões durante a expiração. Portanto, os conceitos físicos de pressão, pressão parcial e difusão gasosa são imprescindíveis nessa descrição biofísica da função respiratória (MONTOREANO, 1995; HENEINE, 2000).

A membrana celular é tratada como um "capacitor biológico", cujo isolante dielétrico é a própria bicamada que separa as duas soluções condutoras. A diferença de potencial entre as faces extra e intracelular está relacionada à densidade superficial de carga elétrica nessas superfícies, e gera

um campo elétrico da ordem de $8,8 \times 10^6$ N/C. Eventualmente, a voltagem registrada entre as faces da membrana é subitamente invertida devido a modificações transientes na condutância iônica da própria membrana – potenciais de ação (OKUNO, 1986; HENEINE, 2000).

O globo ocular é entendido pela biofísica como um receptor capaz de transformar a energia dos fótons luminosos em corrente elétrica ou impulsos para o cérebro. A acomodação visual é explicada através da refração de luz (Lei de Snell) e do estudo óptico das lentes delgadas (OKUNO, 1986). Similarmente, o aparelho auditivo transforma ondas mecânicas de diferentes frequências em impulsos para o córtex auditivo. Essas transformações envolvem um sistema amplificador de alavancas representadas pelos ossículos articulados do ouvido médio (OKUNO, 1986; HENEINE, 2000).

Em última análise, a biofísica é também imprescindível para compreensão da fisiopatologia e das diversas especialidades clínicas. Sabe-se que o paciente *policitêmico* pode ter uma sensível redução do fluxo devido ao aumento da viscosidade sanguínea. Essa alteração é matematicamente demonstrada através da Equação de Poiseuille (MONTOREANO, 1995).

Os sopros circulatórios são ruidosos porque a velocidade de fluxo excede a velocidade crítica de escoamento, gerando um fluxo turbulento audível ao estetoscópio. As leis da osmose explicam a gênese do edema associado aos casos de hipoproteinemia plasmática ou aumento da pressão hidrostática do sangue (HENEINE, 2000). A Equação de Bernoulli explica a pressão de colapso causada pelo fluxo aéreo rápido dentro do pulmão emfisematoso (GARCIA, 1998; SLOVAK, 2001). A Equação de Gauss permite calcular a correção dióptrica de pacientes portadores de miopia e hipermetropia (OKUNO, 1986).

A Lei de Laplace demonstra por que os alvéolos maiores são insuflados preferencialmente que os menores, quando há deficiência de surfactante (GARCIA, 1998; HENEINE, 2000). Através da Equação de Nerst pode-se calcular a variação de voltagem em fibras cardíacas de pacientes com hipercalemia, o que explica a grave

toxicidade cardíaca causada pelo excesso de potássio nesses pacientes (GARCIA, 1998; GUYTON, 1998).

A Biofísica e a Radiologia

A biofísica das radiações correlaciona-se diretamente à medicina nuclear e à radiologia clínica, pois ambas utilizam a radiação como instrumento diagnóstico (ROCHA, 1979; GARCIA, 1998; THRALL, 2003). A biofísica das radiações ionizantes depende inequivocamente dos fundamentos da física quântica. De fato, as noções de atomística são imprescindíveis na compreensão da radioatividade, visto que a radiação tem origem atômica, seja nuclear, seja orbital. Ademais, as lesões radioativas biomoleculares são iniciadas no nível atômico através dos processos de excitação e de ionização (OKUNO, 1998; THRALL, 2003).

O estudo biofísico das radiações justifica-se pela ampla utilização das radiações no diagnóstico por imagem (radiação-X), em técnicas diagnósticas (radioimunoensaio, cintilografia), e no tratamento de doenças (radioterapia de tumores). Além disso, o conhecimento biofísico das radiações é essencial para os procedimentos de radioproteção, tanto dos profissionais expostos ocupacionalmente, como dos pacientes expostos eventualmente (ROCHA, 1979; GARCIA, 1998; HENEINE, 2000).

A Biofísica e a Genética

A biofísica está intimamente intrincada à genética quando investiga os efeitos genéticos das radiações ionizante e excitante. Essa correlação originou uma nova especialidade interdisciplinar chamada de radiogenética. A radiação ionizante é particularmente deletéria ao DNA, produzindo vários tipos de lesões que podem resultar no desenvolvimento de tumores e mutações. Também é sabidamente um fator de risco teratogênico, capaz de produzir malformações congênitas, esterilidade e abortos espontâneos (OKUNO, 1986; GARCIA, 1998).

Outras Áreas de Investigação Biofísica

Crítérios variados de classificação são utilizados por diferentes autores para ordenar os conteúdos da biofísica. Contudo, esse ordenamento é meramente didático, e pouco afeta os objetivos da abordagem biofísica. O termo bioacústica é reservado ao estudo físico dos sons com aplicação na biologia e na medicina. Assim, a bioacústica estuda os fenômenos físicos relacionados à fonação, audição e técnicas baseadas em emissões sonoras: estetoscópio; ultra-sonografia diagnóstica e terapêutica, fonocardiograma, audio-grama, etc. (GARCIA, 1998).

A biofísica molecular está relacionada ao estudo físico de macromoléculas e partículas envolvidas em processos biológicos. Essa área de pesquisa requer o uso de certas ferramentas físicas relativamente modernas, a exemplo da microscopia eletrônica, ultracentrifugação e câmara de difração de raios-X. Essas metodologias permitiram um avanço substancial na pesquisa biofísica, favorecendo a investigação de temas especialmente relevantes para a medicina (McGRAW-HILL, 2005).

A biomecânica está diretamente relacionada à mecânica clássica, pois investiga o estudo das forças de tração, compressão, torque e equilíbrio estático aplicados ao corpo humano (OKUNO, 1986; HENEINE, 2000). Trata-se de uma área bastante relevante para fisiatras, ortopedistas e fisioterapeutas, uma vez que esses profissionais utilizam movimentos, alavancas e polias no tratamento de pacientes. A biotermologia apresenta intersecções óbvias com a física da termologia. Dedicase aos fenômenos relacionados à produção e troca de calor corporal. Esta área inclui temas como o controle da temperatura corporal, umidade relativa do ar, fatores que alteram a temperatura, termômetros, febre, etc. (GARCIA, 1998).

A biofísica também estuda o fluxo de energia na biosfera, o que requer a aplicação dos princípios da termodinâmica. Ela investiga como a energia solar é convertida em energia química; como a energia é transferida através da cadeia alimentar e utilizada nos processos fisiológicos. Essas etapas envolvem a conversão de forma de energia em outra, porém, de forma incom-

pleta. Conseqüentemente, parte da energia é dissipada ou perdida na forma de calor, o que aumenta a entropia do ambiente - 2ª lei termodinâmica (OKUNO, 1986).

Um campo biofísico pouco conhecido é o da biofísica teórica, também chamada de biofísica matemática. Esta área procura antever o comportamento dos organismos e dos processos vitais através de modelos físicos e matemáticos. Os fenômenos biológicos são interpretados através da termodinâmica, da hidrodinâmica e da mecânica estatística. Modelos matemáticos são propostos e testados, procurando-se determinar o quanto esses modelos matemáticos descrevem um processo biológico natural ou pelo menos se aproximam do fenômeno real (McGRAW-HILL, 2005).

Outros exemplos não exaustivos de temas de interesse biofísico, incluem: a mecânica do vôo animal, mergulho subaquático; locomoção animal, biônica, radiometria, espectroscopia, espirometria, eletroforese, cristalografia, cromatografia, ressonância magnética nuclear, tomografia, etc. (CEREJIDO, 1972; OKUNO, 1986; GARCIA, 1998; HENEINE, 2000).

Abrangência da Biofísica

Há uma percepção equivocada de que a biofísica representa o uso de aparelhos sofisticados em medicina e biologia.

A existência da biofísica não depende da complexidade de nenhum aparelho. Um espectrofotômetro é tão biofísico quanto uma simples balança. O que determinará se a abordagem é autenticamente biofísica será a maneira de utilizar a informação obtida (CEREJIDO, 1972).

É relativamente difícil demarcar os limites de alcance da biofísica (LAUFFER, 1990). Esses limites parecem afastar-se mútua e progressivamente na medida em que avança o conhecimento científico. A biofísica cresce com a evolução das outras ciências e com a evolução da própria biofísica. Complementa, interpreta, lança novas hipóteses, corrobora teorias, confirma inferências e refuta resultados.

Fenômenos recém-descobertos podem ser perscrutados com uma visão biofísica. Enfim, pode-se concluir que qualquer fenômeno biótico pode apresentar variáveis passíveis de serem investigadas com um enfoque físico. Por conseguinte, pode ser alvo de um exame ou interpretação biofísica.

REFERÊNCIAS

- CEREJIDO, M. Que és la Biofísica. **Ciencia Nueva**, n.14, p.28-33, 1972.
 GARCIA, E.A.C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 1998.
 GUYTON, A.C, HALL, J.E. **Fisiologia humana e mecanismos das doenças**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
 HENEINE, I.F. **Biofísica básica**. São Paulo:

METHODOLOGICAL CONTRIBUTION OF THE BIOPHYSICS FOR THE BIOMEDICAL SCIENCES

ABSTRACT

The biophysics is a new, hybrid and multidisciplinary science that investigate the biological processes by means of physical methods. The biophysics does not add new knowledge to physics. Instead, it increases the knowledge of the biotic sciences. This argument would justify the categorization of the biophysics like biological science among the factual sciences. It is widely correlated to the other biological sciences, especially to the physiology and its many specialties. The biophysics mainly dedicate to biophysical study of membranes, biophysics of physiological systems and biophysics of the ionizing and exciting radiation. Other fields of biophysical investigation are introduced, as well the contribution of the biophysics to biotic and medical sciences.

Keywords: Methodology. Biophysics. Science.

Atheneu, 2000.

JIMÉNEZ, E.G., POLTEV, V.I. La biofísica: ¿ciencia básica o aplicada? **Elementos**, v.12, n.57, p.47-49, 2005.

LAUFFER, M.A. The definition of biophysics. **Biophysical Journal**, v.58, n.6, p.1343, 1990.

LODISH, H. et al. **Molecular cell biology**. New York: Scientific American Books, 1995.

McGRAW-HILL. Encyclopedia of Science and Technology. Conteúdo enciclopédico. **Biophysics (2005)**. Disponível em <<http://www.answers.com/topic/biophysics>>. Acesso em: 17 abr 2007.

MONTOREANO, R. **Manual de fisiología y biofísica para estudiantes de medicina**. Universidad de Carabobo - Dirección de Medios, Publicaciones y RRPP: Valencia, 1995.

MOREIRA, D.A. **O método fenomenológico na pesquisa**. São Paulo: Thompson Pioneira, 2002.

OKUNO, E., CALDAS, I., CHOW, W. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra, 1986.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Harbra, 1998.

ROCHA, A.F.G., CHARLES, J. **Bases da medicina nuclear**. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, 1979.

RODRIGUES, L.D. **Questões e textos de metodologia da pesquisa científica e metodologia do ensino superior**. João Pessoa: Idéia, 2001.

SCHRÖDINGER, ERWIN. **O que é vida? O aspecto físico da célula viva seguido de mente**. São Paulo: UNESP, 1997.

SLOVAK, R. Fundamentos de presión y flujo - 2ª parte: presión dinámica. **Agua latinoamérica**, v. 1, n. 2, 2001, p. 17-21.

THRALL, J.H., ZIESSMAN, H.A. **Medicina nuclear**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

