

Física para Estudantes de Ciências Biológicas

I. L. CALDAS, E. OKUNO, C. C. ROBILOTTA

*Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP,
Brasil*

Recebido em 1º de Julho de 1981

In the present paper we describe the reorganization of the theoretical part of the course on Physics (Biophysics), delivered to the students of Biological Sciences by the Institute of Physics of University of São Paulo, during 1980. In this new proposal, great emphasis has been given to topics related to the life sciences. The approach adopted was essentially phenomenological and the selected subjects were discussed as much as possible within a biological or medical framework. The main reasons for these changes were the lack of motivation from the majority of the students and their prejudice against Physics, a very weak and unsatisfactory basis on Mathematics, and the intrinsic difficulty in covering the whole of classical physics and some topics on modern physics in only two academic semesters. A text taking into account the actual background of the students has been especially written. The good acceptance of this text by the students has contributed to their improved performance in this course.

Neste artigo descrevemos a reorganização da parte teórica da disciplina Física (Biofísica), ministrada aos alunos do curso de Ciências Biológicas pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo, durante o ano de 1980. Na nova proposta de curso, foi dada maior ênfase a tópicos relacionados às ciências da vida. A sua abordagem foi essencialmente fenomenológica e, à medida do possível, apresentada num contexto biológico ou médico. As principais razões para essa modificação foram a falta de motivação da maioria dos estudantes e o seu preconceito em relação à Física, a sua formação falha em Matemática, além da dificuldade de cobrir toda a fí-

sica clássica e alguns tópicos da física moderna em apenas dois semestres letivos. Um texto adequado às condições de formação dos estudantes foi escrito especificamente para essa disciplina. A boa aceitação do mesmo pelos alunos contribuiu para uma melhoria no aproveitamento do curso.

1. INTRODUÇÃO

A disciplina de Física (Biofísica) foi introduzida no curso básico de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo em 1971, visando a formação de profissionais nessa área e de professores de Ciências de 1º grau. Ao entrar em vigor a Resolução 30, em 1974, essa disciplina tornou-se obrigatória em todos os cursos de licenciatura curta em Ciência.

O Instituto de Física da USP é, desde a sua implantação, o responsável por essa disciplina. O programa adotado na época, para ser cumprido em dois semestres, constava basicamente de toda a física clássica e de uma introdução à física moderna. Uma consequência deste fato é a necessidade de se reduzir ou o número de tópicos abordados ou a profundidade de abordagem, ou mesmo ambos.

Até 1977, essa disciplina foi dada de maneira bastante semelhante à do curso de Física no que diz respeito à sua abordagem, tendo sido utilizado como texto o livro "Física" de J. Orer. De 1978 a 1979, o livro-texto adotado foi "Physics for the Life Sciences" de A. H. Cromer, com aplicações sucintas da Física em fenômenos das Ciências Biológicas e Médicas. Entretanto, a abordagem ainda não diferia muito daquela oferecida no curso de Física. Isso dificultava aos alunos em visualizar a relação entre a Física e a Biologia. Além disso, esse livro é importado, o que torna o seu custo elevado.

Ministramos aos alunos do Instituto de Biociências, em diferentes ocasiões, cursos semelhantes àquele destinado a estudantes do curso de Física e os resultados obtidos não foram encorajadores. Entre outras, diagnosticamos as seguintes causas possíveis:

- a falta de motivação por parte dos estudantes, que não vêem as relações entre a Física e a Biologia;

- um programa demasiadamente extenso para ser cumprido num curto intervalo de tempo;

- um conteúdo semelhante ao do 2º grau e/ou de cursinhos preparatórios ao vestibular, sem uma abordagem mais profunda no aspecto matemático, devido à formação inadequada nesse sentido de boa parte dos alunos e a falta das disciplinas de cálculo e geometria e vetores em seu currículo;

- para uma fração não desprezível de estudantes, a escolha do curso de Biologia representa um distanciamento das ciências ditas exatas, como a Física e a Matemática. Isso significa que, para esses alunos, existe, além dos fatores citados, uma barreira de preconceitos a ser transposta.

Tendo em vista os objetivos, os problemas e as possíveis causas mencionadas, optamos por um curso que tem como propostas mudar a atitude dos estudantes em relação à Física; introduzir um método de trabalho típico da Física com características diferentes daquelas desenvolvidas nos cursos diretamente ligados às Ciências Biológicas; mostrar várias interligações entre as Ciências Biológicas e Médicas e a Física; introduzir conceitos científicos básicos e informações técnicas que possam auxiliar a compreensão de fenômenos da natureza e do desenvolvimento de pesquisas tecnológicas atuais.

Para o implemento desta proposta de curso, foi elaborado, durante o ano letivo de 1980, um texto cuja abordagem é basicamente fenomenológica. A maioria dos exemplos e aplicações é essencialmente biológica e médica, sendo desenvolvidos, em apêndices, alguns cálculos diferenciais e integrais simples.

A seguir será descrito o curso desenvolvido, bem como o texto escrito para a disciplina Física (Biofísica) na USP, durante 1980.

2. DESCRIÇÃO DO CURSO

2.a. Organização

A parte teórica do curso de Física para Ciências Biológicas, em 1980 na USP, constou de:

- a) aulas expositivas (4 horas semanais);
- b) estudos dirigidos (2 horas em semanas alternadas);
- c) algumas palestras proferidas por pesquisadores sobre diversos assuntos abordados no decorrer do curso.

A disciplina, contou, ainda, com aulas práticas de laboratório (4 horas em semanas alternadas) que seguiram uma programação independente das aulas teóricas.

Sempre que possível, foram feitas demonstrações ou projetados filmes e "loops" nas aulas expositivas. Para isso foi usado a infraestrutura e o material da Prateleira de Demonstrações existentes no Instituto de Física da USP.

Nos estudos dirigidos foram seguidos guias de estudo, que introduziam alguns conceitos básicos sobre um tópico e continham uma série de questões para serem resolvidas e discutidas em grupo. As questões visavam não só a obtenção de uma resposta exata ou correta, mas também a formulação do raciocínio, uma explanação verbal coerente das justificativas, argumentos e conclusões apresentadas.

Além dos exercícios discutidos e propostos durante as aulas, foram distribuídas listas de exercícios, sem obrigatoriedade de entrega, e que eram corrigidas por uma monitora de pós-graduação.

Fora do horário normal de aulas, havia também os horários de atendimento individual, que os estudantes utilizavam para esclarecimento de dúvidas e discussões com os professores.

Todo o material exposto e discutido nas aulas teóricas foi especialmente escrito para a disciplina, fornecido aos alunos na forma de apostilas impressas em "off-set" pela gráfica do IFUSP, totalizando cerca de 600 páginas datilografadas, divididas em seis volumes (três por semestre).

2.b. Tópicos abordados

O programa, resumido no quadro 1, constou de física da radiação e energia, no 1º semestre, e de fenômenos ondulatórios, de transporte e elétricos, no 2º semestre. Os guias de estudo versaram sobre relatividade especial, vôo de animais e escala biológica, no 1º semestre, e sobre relatividade especial, forças atuando sobre o corpo humano e o olho humano, no 2º semestre.

A introdução da física da radiação antes da física clássica teve como justificativa principal o grande número de aplicações da primeira na Biologia e Medicina. Num curso tradicional, esse assunto só é abordado no final do 2º semestre, quando o tempo disponível é, em geral, insuficiente. Uma outra razão foi o aspecto não repetitivo, isto é, para a maioria dos alunos esse tópico não fora abordado no 2º grau. Além disso, a introdução fenomenológica dos conceitos básicos sobre a radiação e dos modelos atômicos requer apenas, por parte dos estudantes, noções elementares de física clássica. O conceito fundamental envolvido é o de energia, que foi apresentado concomitantemente, de maneira ampla.

A energia foi o outro tema abordado no 1º semestre. Na sua elaboração, além dos conceitos físicos como o de energia mecânica e conservação da energia, foram incluídas as formas de energia na natureza e no corpo humano e diversos processos convencionais e não convencionais de conversão de energia.

A abordagem dos fenômenos ondulatórios e elétricos, durante o 2º semestre, foi feita baseando-se nos fenômenos biológicos de visão, audição, fonação, potenciais de repouso e de ação nas membranas celulares. Isso significa que, sempre que possível, um fenômeno biológico foi introduzido e, a partir do mesmo, identificado; os conceitos físicos. Essa ordem de análise teve a vantagem de mostrar mais claramente como a física pode ser usada para interpretar os fenômenos biológicos. Na parte de fenômenos elétricos foi mostrada a necessidade do potencial de repouso para a manutenção das diferenças entre as concentrações iônicas celulares e meio externo, e o papel desempenhado pelo potencial de ação na comunicação entre as diferentes partes de um organismo. Foi ainda elaborado um capítulo sobre aplicação do ultra-som à medicina.

Na seção relativa aos fenômenos de transporte, foram introduzidos alguns conceitos básicos da mecânica dos fluidos, com a finalidade de possibilitar aos alunos a compreensão dos mecanismos de circulação e respiração dos seres vivos.

Quanto à mecânica clássica, ela foi abordada parcialmente nos guias de estudo sobre vôo de animais e forças atuando sobre o corpo humano, e na parte referente à energia já mencionada. A razão principal dessa opção foi a dificuldade de se abordar a mecânica de maneira diferente em relação ao 2º grau, sem o uso de cálculo diferencial e integral. Assim, a revisão dos sistemas referenciais, das leis de Newton, dos tipos de movimentos etc., foi feita analisando-se os vários modos de vôo possíveis e as forças que atuam sobre as diversas partes do corpo humano.

A introdução de alguns conceitos cientificamente importantes, como a relatividade especial, foi feita nos guias de estudo, sem, contudo, exibir uma aplicação direta à Biologia. Nesses guias, foram abordados o conceito de velocidade limite e a medida do tempo e do espaço, a partir de relatos de duas experiências cujos resultados discordavam das previsões da mecânica clássica. Foram enfatizados ainda a formulação e o julgamento de hipóteses, através da análise conceitual dos resultados obtidos. Portanto, esses guias tinham um enfoque forte sobre uma metodologia de trabalho.

O guia de estudos sobre a escala biológica procurou alertar os estudantes sobre os problemas que envolvem a comparação da fisiologia de animais de formas semelhantes, e a extensão dos resultados a outros animais, mesmo de tipos e tamanhos diferentes.

O último guia de estudo versou sobre o funcionamento do olho humano, os defeitos da visão e seus corretivos. Isso foi feito baseando-se nos conceitos introduzidos sobre fenômenos ondulatórios e na análise das lentes delgadas.

No final de cada capítulo do texto e dos guias de estudo, foram apresentadas listas de referências e bibliografia relacionadas ao assunto abordado, onde poderiam ser obtidos detalhes que não foram aprofundados, bem como outros aspectos não citados.

3. RESULTADOS

No primeiro semestre de 1980, 64 alunos se matricularam no período diurno e 62 no noturno, na disciplina Física (Biofísica) 1. No segundo semestre, em Física (Biofísica) 2, o número de alunos matriculados foi de 36 no diurno, e 43 no noturno. Os alunos eram predominantemente calouros, havendo, contudo, alguns veteranos. Considerando-se apenas os alunos que fizeram 3 provas (num total de 4), os índices de aprovação foram:

- em Física (Biofísica) 1 - 73% no diurno,
- 53% no noturno;
- em Física (Biofísica) 2 - 82% no diurno,
- 67% no noturno.

Os alunos que não fizeram 3 provas foram considerados desistentes e se distribuíram nas seguintes proporções:

- no 1º semestre - 25% no diurno,
- 37% no noturno;
- no 2º semestre - 8% no diurno,
- 51% no noturno.

A partir da interação com os alunos e da análise de um teste efetuado no início do ano, foi possível verificar que as classes eram bastante heterogêneas quanto à formação e ao nível de conhecimento. Foi possível também constatar que o aproveitamento dos alunos nas aulas teóricas expositivas era baixo no período diurno e bom no período noturno. Uma possível explicação para isso é o fato de que mais de 50% dos estudantes no período noturno trabalham durante o dia, o que tornava necessário um maior aproveitamento nas aulas teóricas. Quanto às aulas com guias de estudo, pôde-se verificar que a participação era boa em ambos os períodos. Os temas sugeridos incentivaram bastante as discussões em grupo. Ficou clara a heterogeneidade da formação dos estudantes pelas perguntas suscitadas e pelo tempo gasto pelos grupos para a solução das questões propostas.

No final de cada semestre, foram respondidos pelos alunos questionários sobre o curso, as apostilas, os tópicos abordados e suas ex-

pectativas. Em ambos os semestres, as apostilas distribuídas foram consideradas muito boas, de fácil compreensão e com bom número de exemplos e aplicações em Biologia e Medicina. Da análise do segundo questionário, pôde-se extrair quantitativamente o seguinte:

1) para 72% dos alunos do período diurno e 92% dos do período noturno, conceitos básicos de Física, que não haviam sido introduzidos ou aprendidos adequadamente no secundário, foram desenvolvidos e/ou esclarecidos;

2) esse curso aumentou o interesse de 72% (diurno) e 85% (noturno) dos alunos pelos fenômenos da natureza;

3) o curso colaborou para uma melhor compreensão dos fenômenos biológicos para 79% (diurno) e 85% (noturno) dos alunos;

4) o aproveitamento dos alunos nas aulas teóricas expositivas foi bom para somente 24% (diurno) e 77% (noturno) dos alunos;

5) as aulas de discussão, com os guias de estudo, foram consideradas boas por 69% e 62% dos alunos do diurno e do noturno, respectivamente;

6) as listas de exercícios foram consideradas convenientes como uma orientação de estudo e no preparo às provas por 55% dos alunos do diurno e por apenas 23% dos do noturno.

4. CONCLUSÕES

Tendo em vista a falta de motivação, em relação à Física, da maioria dos estudantes do curso de Ciências Biológicas, o seu preconceito em relação a essa matéria e a sua formação falha em Matemática, além de um programa adotado demasiadamente extenso para ser cumprido em dois semestres letivos, resolvemos modificar a abordagem e reduzir o programa da disciplina de Física (Biofísica), ministrada durante o ano letivo de 1980.

A abordagem não convencional adotada então contornou a incompatibilidade de se ministrar um curso baseado essencialmente em cálculo,

geometria e vetores, a um grupo de estudantes cujo objetivo final não é um uso intensivo da Física. Este fato não descaracteriza, de maneira nenhuma, o ensino de Física. Pelo contrário, essa mudança foi feita atendendo à realidade dos alunos, optando-se então por um tratamento fenomenológico dos tópicos mencionados, a maioria num contexto biológico. O resultado foi um aumento significativo do interesse dos estudantes pela matéria. Para um grande número deles, ficou clara a importância do conhecimento de Física para uma melhor compreensão e investigação dos fenômenos biológicos. No que tange à formação de professores de Ciências, essa mudança de postura dos alunos em relação à Física traz a perspectiva de que a barreira de preconceitos dos futuros estudantes seja menor.

As alterações efetuadas no programa, isto é, a escolha de alguns tópicos específicos em vez de um programa amplo tornou possível uma discussão mais profunda dos mesmos e, também a apresentação de várias pesquisas ou aplicações tecnológicas recentes, ou mesmo em desenvolvimento, principalmente nas universidades brasileiras.

O texto especialmente preparado para esse curso teve uma aceitação muito boa por parte dos alunos, o que contribuiu, decisivamente, para uma melhoria no seu aproveitamento em relação aos anos anteriores.

O curso aqui relatado está sendo repetido durante o ano de 1981, aumentando-se as discussões nas aulas teóricas. As aulas de laboratório também estão sendo reformuladas, adotando-se os mesmos critérios utilizados na parte teórica.

Os autores agradecem à Maria Regina pela indispensável ajuda na preparação do curso e do texto; ao Manoel e à Marina pela leitura e discussões do presente artigo; e à Comissão de Ensino de Graduação do IFUSP pelo apoio dado à implantação do curso proposto.

QUADRO 1 - Principais itens dos tópicos abordados

Física da Radiação	Conceitos básicos e tipos de radiação, aplicações das radiações, proteção radiológica, modelos atômicos, desintegração nuclear, produção e atenuação dos raios-X, efeitos biológicos da radiação.
Energia	Trabalho, energia, conservação e transformação de energia, energias química e biológica, energia e o corpo humano, fontes de energia convencionais e não-convencionais.
Fenômenos Ondulatórios	Tipos e equação da onda, princípio da superposição, ondas estacionárias, som, sistemas vibrantes, fonação, ouvido humano, ultra-som e suas aplicações, conceitos básicos de óptica, olho composto.
Fenômenos Elétricos	Conceitos básicos de eletricidade, potencial de repouso de uma célula, equilíbrio de Donnan, bomba de sódio-potássio, condutância elétrica da membrana celular, potencial de ação de uma célula nervosa, propagação do potencial de ação ao longo de um axônio, condutância elétrica da membrana de um neurônio.
Fenômenos de Transporte	Conceitos básicos da estática de fluidos, efeitos fisiológicos devido à variação de pressão de fluidos, escoamento de fluidos ideais e reais, difusão e osmose, tensão superficial e capilaridade, aplicações biológicas.
Relatividade Especial	A velocidade limite, expressões relativísticas de K e p , a medida do tempo, a dilatação do tempo, o paradoxo dos gêmeos.

(continuação)

QUADRO 1 - Principais itens dos tópicos abordados

Vôo dos animais	Paraquedismo, planeio e vôos propulsionados, forças atuando em cada tipo de vôo, potências mecânicas do vôo próprio.
Forças atuando sobre o corpo	Conceitos básicos de estática, tipo de forças, momento de força, equilíbrio estático, cálculo de forças atuando sobre várias partes do corpo.
Escala biológica	Proporções existentes entre formas semelhantes de vida com tamanhos diferentes, considerações matemáticas, lei das escalas nos esqueletos, força muscular e relativa, velocidade de caminhada de animais, taxa metabólica, batidas cardíacas.
O Olho Humano	Elementos do olho, suas funções e características, lentes delgadas, convergência do sistema córnea-cristalino de um olho normal, defeitos visuais e óculos corretivos.