

PROPOSTA DE UMA DISCIPLINA COM ENFOQUE NA METODOLOGIA DA FÍSICA EXPERIMENTAL

P.R.S. GOMES e T.J.P. PENNA

Departamento de Física, Universidade Federal Fluminense*

I. INTRODUÇÃO

Uma das maiores deficiências do bacharelado em Física nas Universidades brasileiras está ligada a disciplinas experimentais de Física Moderna oferecidas nos dois últimos anos do curso. Entre as diversas causas desta deficiência estão os elevados custos dos equipamentos e as características muito específicas dos mesmos. No entanto, mesmo aos alunos formados nas poucas instituições que possuem disciplinas regulares em Física Moderna Experimental, com laboratórios razoavelmente bem equipados, não se consegue transmitir o espírito da metodologia do trabalho em Física Experimental. Os alunos que ingressam num programa de mestrado em Física Experimental, por exemplo, logo se deparam com um grande problema, pois deles se espera conhecimentos, métodos de trabalho e desembaraço no laboratório que não lhes foram ensinados sob forma organizada durante o curso de pós-graduação.

A disciplina de Física Nuclear Experimental, por exemplo, oferecida no último ano do bacharelado, em algumas de nossas Universidades, exige a realização de diversas experiências curtas envolvendo fontes radioativas, detectores e módulos eletrônicos. Estas experiências normalmente possuem a duração de duas a quatro horas, são realizadas semanal ou quinzenalmente, introduzem diversos equipamentos e técnicas aos alunos que, ao final das experiências, fazem os tradicionais relatórios. Por consistir de uma série de pequenas experiências, o curso geralmente não solicita do aluno um estudo prévio e/ou posterior dos fundamentos teóricos do assunto assim como familiarização com os princípios básicos dos equipamentos utilizados, que o ajudariam a capacitar-se a planejar uma experiência específica, como deverá ter que fazer no seu trabalho como Físico. Além disso os curtos e seguidos relatórios não estimulam o aluno a um maior aprofundamento no assunto e dão uma falsa idéia de como se comporta um Físico Experimen

* Ateiro São João Batista, s/nº, Niterói, RJ.

tal em relação às experiências que realiza.

As deficiências de formação ficam bastante claras quando o aluno recém formado ingressa em qualquer laboratório de Física para trabalhar, seja como aluno de pós-graduação ou como pesquisador de Centros de Pesquisa. Estas deficiências ficaram bem evidenciadas aos autores deste artigo, durante as realizações das 1ª e 2ª Escolas de Verão em Física Nuclear Experimental, promovidas pela Sociedade Brasileira de Física nos laboratórios Pelletron da USP (janeiro 1984) e o laboratório do Acelerador Linear da USP (dezembro de 1985), respectivamente. Um dos autores participou das Escolas como instrutor e organizador, enquanto o outro participou como aluno. Estas Escolas de Verão, com duração de duas semanas e 8 horas diárias de trabalho, foram idealizadas para alunos de mestrado em Física Nuclear Experimental, sendo abertas também a alguns estudantes de doutoramento em Física Nuclear Teórica e a alguns alunos em final de bacharelado com projetos de iniciação científica em Física Nuclear. Os programas das escolas consistiram na realização de duas experiências precedidas por apresentações teóricas dos assuntos, discussão dos equipamentos e métodos utilizados. Após a realização das experiências, grande parte do tempo foi dedicada à análise dos dados e discussão dos resultados, envolvendo alunos e instrutores, consultas à biblioteca, tabelas e manuais técnicos, e finalizando com a apresentação de um relatório bastante detalhado.

Baseados nas deficiências apontadas anteriormente, na carência atual de equipamentos para a realização de uma atividade deste tipo na nossa Universidade e na experiência com as Escolas de Verão de Física Nuclear Experimental, elaboramos uma disciplina de Física Nuclear com ênfase em aspectos e metodologia experimentais, que foi oferecida como optativa para o curso de Bacharelado em Física da Universidade Federal Fluminense no primeiro semestre de 1986, sob o título de Instrumentação e Métodos em Física Nuclear. A disciplina proposta neste artigo baseia-se na experiência da UFF, já incluídas as modificações que se mostraram necessárias. O pré-requisito para a mesma é Física Básica e noções de Relatividade e Interação de Radiação com a Matéria, podendo ser assistida por alunos do terceiro ano do bacharelado.

Caso a instituição disponha do equipamento necessário para a realização de experiências em Física Nuclear, esta pode vir a ser uma disciplina alternativa ao "Laboratório de Física Nuclear". No caso

em que a instituição não disponha dos equipamentos necessários, é indispensável uma interação com laboratórios que possuam o equipamento, devendo ser feita uma visita a um laboratório de Física Nuclear pelos alunos e professor para a tomada de dados. Esta visita ocupa somente um dia da instituição anfitriã e causa uma motivação extra aos alunos.

No caso da UFF foram duas as visitas, uma ao laboratório Van der Graaff da PUC/RJ e uma ao laboratório do Acelerador Linear da USP. As despesas dos alunos foram pagas pela UFF.

II. OBJETIVOS DO CURSO

Procuramos com esta disciplina atingir os objetivos descritos a seguir:

- Familiarização do aluno com diversos conceitos básicos, necessários em quaisquer experiências de Física Nuclear e Atômica. Em linhas gerais estes conceitos estão descritos no programa das aulas expositivas (Seção III a seguir).
- Introduzir a metodologia de Física Experimental não mais como uma "disciplina de laboratório", mas ensinando o aluno a planejar uma experiência após possuir conhecimentos das características de diversos equipamentos, realizando a experiência, explorando todas as informações dela resultantes, analisando os dados, e sendo capaz de apresentar todas as fases da experiência de forma clara num relatório detalhado. Deste modo a ênfase é dada no questionamento sobre "o que medir, para que medir, como medir, o que se aprende medindo".
- Utilização do microcomputador como equipamento rotineiro para trabalhos em disciplinas de um curso de Física e como instrumento associado a diversas etapas, desde o planejamento de uma experiência até a fase final dos dados. Na maioria das instituições, mesmo as que dispõem de microcomputadores para aplicações didáticas, estes são subutilizados.

III. PROGRAMA DA DISCIPLINA

A disciplina com duração de 18 semanas (1 semestre) e carga horária semanal de quatro horas, consiste de aulas expositivas, realização de uma ou duas experiências, trabalhos de computação e aulas de estudo dirigido para análise de dados e confecção do relatório. Supõe-se que o aluno disponha de cerca de quatro horas semanais de dedicação e, devido à especificidade do tema e ausência de livros tex-

tos e roteiros, é necessário também que o professor tenha especial interesse e dedicação para atendimento e acompanhamento dos trabalhos dos alunos.

Esquemáticamente a disciplina consiste das seguintes fases:

- 1) Aulas expositivas (sempre com ênfase nos aspectos experimentais) - 10 semanas;
- 2) Planejamento de experiências com a utilização de um Programa adaptado a um Microcomputador - 1 semana (3 semanas para os alunos);
- 3) Realização de Experiências - 2 semanas;
- 4) Estudo dirigido para análise de Dados e Confecção de Relat6rios - 5 semanas.

Este esquema pode ser seguido por qualquer disciplina que se proponha a desenvolver a metodologia da Física Experimental proposta neste artigo, e não necessariamente uma de Física Nuclear.

A seguir ser6o descritas, a t6tulo de exemplo, as diversas fases da disciplina de Física Nuclear na qual este trabalho se baseia.

1. AULAS EXPOSITIVAS

- I) Noç6es B6sicas de Física Nuclear (4 semanas):
 - Propriedades do N6cleo
 - O Decaimento Nuclear
 - Reaç6es Nucleares(ênfase aos aspectos experimentais, grandezas mensur6veis, arranjos experimentais, etc.).
- II) Interaç6o da Radiaç6o com a Mat6ria (2 semanas):
 - Part6culas carregadas
 - Radiaç6o eletromagn6tica(ênfase na depend6ncia da interaç6o com o n6mero at6mico e energia, conseq6ncias para manuseio de fontes, blindagens, detecç6o, etc.).
- III) Detecç6o de Radiaç6o (2 semanas):
 - Propriedades gerais de detetores
 - Caracterf6sticas de diversos tipos de detetores.
- IV) Eletr6nica e Processamento de Pulsos (2 semanas):
 - Conceitos b6sicos sobre pulsos anal6gicos e digitais
 - Propriedades dos m6dulos eletr6nicos b6sicos
 - Grandezas envolvidas em experi6ncias com analisadores multicanais(incluindo os conceitos de calibraç6o, resoluç6o e efici6ncia).

Além destes assuntos é recomendado o estudo de estatística e erros. A principal referência bibliográfica é o livro "Radiation Detection and Measurement" - G.F. Knoll, mas este tipo de curso depende fortemente das aulas expositivas e experiência do professor na área. Listas de exercícios desempenham um importante papel de sedimentação do aprendizado nesta fase da disciplina.

2. PLANEJAMENTO DE EXPERIÊNCIAS COM A UTILIZAÇÃO DE MICROCOMPUTADORES

Após a quarta semana os alunos tomam contato com um programa de computador sobre Cinemática de Reações, com o qual trabalharão durante quatro semanas: a primeira, durante o horário de aula com o professor, as demais, durante o horário de estudo, resolvendo as reações propostas e planejando arranjos experimentais.

O programa é bastante simples, podendo ser usado em qualquer microcomputador de 8 bits e baseia-se somente nos princípios de conservação de energia e momento e do conceito de "Q de reação". É distribuído um roteiro aos alunos solicitando a solução de diversas questões relacionadas à cinemática de uma reação do tipo $M_2(M_1, M_3)M_4$. Cada aluno dispõe de um conjunto de reações para analisar e tirar conclusões; posteriormente eles devem observar os resultados obtidos com outras reações pelos colegas, tendo então condições de tirar conclusões mais fundamentadas; finalmente é solicitado ao aluno o planejamento do arranjo experimental de uma determinada reação (do ponto de vista de geometria e posicionamento de detectores), envolvendo os conhecimentos adquiridos e conclusões resultantes do trabalho com o programa.

Verificamos que este assunto motiva bastante o aluno que, mesmo sem conhecimentos profundos de Mecânica Quântica e Física Nuclear, sente-se capaz de "entender e planejar uma experiência de Física Nuclear". A utilização do microcomputador como equipamento rotineiro e a necessidade de discussão e intercâmbio de dados com os demais colegas mostram-se também bastante motivadores.

3. REALIZAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS

Após a exposição dos assuntos relacionados no item (1), o aluno está preparado para a realização das experiências em um laboratório de Física Nuclear. Foram realizadas duas experiências, com espectroscopia alfa e gama, nos laboratórios do Acelerador Van der Graaff da PUC/RJ e do Acelerador Linear da USP. Pode ser conveniente a realização de apenas uma experiência, para não sobrecarregar a disciplina e o trabalho dos alunos; neste caso, sugerimos a experiência de es

pectroscopia gama por envolver um arranjo experimental mais simples e ser muito rica em termos de exploração dos resultados. Estas experiências, tradicionais em cursos de Física Nuclear, podem ser modificadas por cada professor; não temos a intenção, neste trabalho, de descrevê-las em detalhes. Creemos que nossa maior contribuição ao tema não é a proposta das experiências em si, mas a forma de abordá-las previamente e posteriormente.

A título de informação citamos que foram realizadas medidas de espectros de radiação gama de fontes calibradas de ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{22}Na , ^{241}Am e ^{152}Eu , além de acumulados pulsos provenientes de um gerador de pulsos. Durante a experiência os alunos observaram num osciloscópio as formas e amplitudes de pulsos de saída do pré-amplificador e amplificador e mediram o ângulo sólido fonte-detetor. Com estas medidas simples e rápidas eles obtiveram curvas de calibração em energias, eficiências do detetor, descobriram a origem de uma "fonte desconhecida" e sua atividade, analisaram a resolução do detetor com as contribuições de diversas origens e discutiram as funções dos diversos módulos eletrônicos. Na experiência de espectroscopia alfa, com uma fonte de ^{241}Am , foram acumulados espectros com e sem absorvedor entre a fonte e o detetor de silício, e analisados os níveis de energia do ^{237}Np e efeitos de perda de energia e straggling.

Na semana anterior à experiência devem ser discutidos detalhes sobre a mesma, visando dar maior clareza do que irá ser medido no laboratório, inclusive ouvindo sugestões dos alunos. Esta etapa, que geralmente não existe nas atividades tradicionais de laboratório, tem por objetivo ensinar ao aluno o planejamento de experiências e aumentar a eficiência de utilização do laboratório.

Os equipamentos necessários e o arranjo experimental para ambas as experiências são bastante tradicionais e do conhecimento de qualquer professor familiarizado com a área de Física Nuclear. Não temos, portanto, a intenção de descrevê-los em detalhes mas chamamos a atenção de que a utilização de um analisador multicanal é fundamental para a obtenção de grande quantidade de informações que podem ser extraídas destas experiências simples e que são essenciais para dar consistência a este tipo de atividade. Cada experiência pode ser realizada num período de duas a quatro horas, dependendo do número e tipos de medidas realizadas. É conveniente que o número de alunos em cada grupo não ultrapasse a quatro, a fim de que todos possam efetivamente participar da experiência.

4. ANÁLISE DE DADOS E CONFECCÃO DE RELATÓRIO

Já de volta à Universidade de origem os alunos iniciam a fase de análise de dados e exploração das informações contidas nos mesmos. Este processo é feito através de discussões com os colegas e com o professor (em sala de aula e em horário de atendimento), consultas a livros e à tabela de isótopos. No caso das duas experiências que estão servindo de exemplo, haverá apenas um relatório, pois as mesmas são consideradas como partes de uma única experiência de espectroscopia com o uso de fontes radioativas, onde as semelhanças e diferenças entre experiências com partículas alfa e radiação gama ficam, desta forma, mais evidenciadas. Não existe um roteiro rígido de tarefas a serem seguidas pelos alunos, visando a permitir que cada um se aprofunde mais nos tópicos que mais o interesse, como de fato ocorre com trabalhos de pesquisa em Física. No entanto existem alguns aspectos e temas que devem necessariamente ser explorados pelo aluno; estes pontos são explicitados pelo professor através de um esboço de roteiro a ser seguido.

É impressionante a quantidade de informações e a variedade de temas que podem ser explorados com uma experiência simples como a de espectroscopia gama. Colocamo-nos à disposição de interessados para remeter nossos esboços de roteiros, arranjos experimentais e descrição mais detalhada de todo o curso. Como já mencionamos antes, foge dos objetivos deste artigo esta descrição detalhada.

O relatório final das experiências é feito apoiado em discussões com o professor, que procura ensinar ao aluno como descrever de forma organizada e detalhada sua experiência, com descrição de objetivos, montagem experimental, análise de dados, comparações com a teoria, conclusões, enfim preparando o aluno para escrever uma pequena "tese" e/ou artigo científico. Com a liberdade dada ao aluno para aprofundar-se nos aspectos que mais lhe agradam na análise dos resultados e confecção do relatório, é possível perceber suas inclinações e deficiências possibilitando uma posterior orientação e ajudando-o a encaminhar-se profissionalmente.

IV. CONCLUSÕES

O tipo de atividade descrita neste artigo, e por nós introduzida na UFF, tem por objetivo principal dar ao aluno do curso de Bacharelado uma visão mais real do que seja um trabalho experimental em Física, onde a realização de uma única experiência requer um grande esforço prévio de estudo e planejamento e posterior exploração de todas as informações disponíveis. Isto visa ensinar o aluno a opti-

mizar o tempo de realização da parte experimental num laboratório de pesquisa, como realmente é necessário quando se trabalha em laboratórios de porte, como, por exemplo com aceleradores. Todas as etapas deste processo são sintetizadas na apresentação, não de um simples relatório, mas de uma "mini-tese", em cuja elaboração o aluno se prepara para este tipo de pesquisa e propicia ao professor e a si mesmo verificar suas inclinações para certos tipos de interesses dentro do assunto pesquisado. Uma das vantagens da disciplina é que ela pode ser oferecida por instituições que não disponham de equipamentos necessários para uma disciplina regular de Física Experimental, bastando para tal a concordância de um laboratório de pesquisa de outra instituição para a realização da parte experimental; esta visita de um dia de uma turma é bastante motivante para os alunos e tem diversos aspectos positivos também para a instituição anfitriã, como por exemplo, a divulgação de seus programas de pesquisa e de pós-graduação.

A disciplina aqui apresentada pode ser oferecida a estudantes do terceiro ano de bacharelado em Física. É importante ressaltar que a programação não precisa ser necessariamente a apresentada neste artigo, havendo bastante espaço para programações alternativas e/ou melhores que esta. O importante é a filosofia deste tipo de atividade, que não está restrita à área de Física Nuclear, podendo ser utilizada em diversas áreas de Física Experimental.

O número de alunos que pode participar nesta disciplina é maior que o número médio de alunos em disciplinas do curso profissional de Física da maioria das Universidades brasileiras. Como mencionado no texto é importante que o número de estudantes em um mesmo grupo, durante os experimentos, seja no máximo quatro, mas como as experiências não precisam ser muito longas, é possível realizar até três experiências por dia, o que permite acomodar até 24 estudantes em dois dias de experiências.

Finalizando, parece-nos que os objetivos foram alcançados, pois pudemos acompanhar o desempenho da maioria dos alunos após a conclusão dos trabalhos. Tanto do ponto de vista do conteúdo quanto, e principalmente, da assimilação do método experimental e motivação para trabalhos em Física Experimental, a avaliação geral é bastante boa. Atualmente esta é uma disciplina bastante procurada por alunos com inclinações para atividades experimentais ligadas a diversas áreas da Física, e não somente à Física Nuclear.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar os mais sinceros agradecimentos ao Laboratório Van der Graaff do Departamento de Física da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em particular ao Prof. Fernando Lázaro Freire Jr. e ao Laboratório do Acelerador Linear do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, em particular ao Prof. Marcos N. Martins, pela boa vontade e dedicação demonstradas nas visitas de nossos alunos a esses laboratórios.