

“PARTÍCULAS ELEMENTARES E INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS” NO ENSINO MÉDIO DE FÍSICA: UMA EXPERIÊNCIA A PARTIR DO ESTÁGIO DE UM ALUNO DE “PRÁTICA DE ENSINO DE FÍSICA” DA UFRGS

Fernanda Ostermann
Marco Antonio Moreira
Instituto de Física - UFRGS
Caixa Postal 15051
91501-970 Porto Alegre, RS

Resumo

Neste trabalho, descrevemos o processo de introdução de um tópico contemporâneo de Física – partículas elementares e interações fundamentais - em uma escola de Porto Alegre, a partir do estágio de um aluno de “Prática de Ensino de Física” do último semestre do curso de Licenciatura em Física da UFRGS. Apresentamos justificativas para a escolha deste tópico, descrevemos o período de regência na escola, discutimos os resultados obtidos e, finalmente, concluímos pela viabilidade de atualizarmos o currículo de Física se o problema for atacado pela via da formação do professor.

Introdução

Nas últimas quatro décadas, a pesquisa em ensino de Física tem construído um corpo de conhecimento próprio, do qual qualquer tentativa de melhoria do processo ensino-aprendizagem em Física não pode mais prescindir. Inicialmente mais voltada ao aluno (suas concepções alternativas e a busca da mudança conceitual), parece hoje inclinada a atacar o problema da qualidade no ensino através do professor. Aparentemente, há um certo consenso, no momento, que a melhoria da atuação dos professores deverá refletir na aprendizagem dos alunos, contribuindo para aumentar a qualidade do processo como um todo (Porlán e Rivero, 1998). É preciso concentrar esforços em duas frentes: na formação inicial (licenciaturas) e continuada (durante sua atuação profissional), por meio de ações conjuntas entre universidades e escolas. A reestruturação do ensino de Física na escola média passa, portanto, pela incorporação dos resultados da pesquisa em ensino de Física à formação do professor. Estes resultados têm colocado, por exemplo, a necessidade de buscarmos referenciais teóricos para a prática docente e como estes podem explicitar muitas metodologias utilizadas em sala de aula (Duit, 1993). Quanto aos conteúdos curriculares, a partir, aproximadamente, de meados da década de oitenta, uma nova linha de pesquisa na área de ensino de Física – que poderíamos chamar de Física Moderna e Contemporânea (FMC)¹ no ensino médio - começou a questionar os temas de Física tradicionalmente ensinados nas escolas. A pobreza e semelhança dos currículos de Física nas escolas estão refletidas na divisão em blocos tradicionais: mecânica, física térmica, ondas, óptica e eletromagnetismo, que seguem, basicamente, a seqüência dos capítulos nos livros didáticos. Na prática, é comum que a Física se reduza apenas à cinemática (muitas vezes, quase toda a 1ª série do ensino médio é dedicada a ela), leis de Newton, termologia, óptica geométrica, eletricidade e circuitos simples. Dessa forma, toda a Física desenvolvida neste século está excluída. Entretanto, já são muitas as

¹ É possível, sem muito rigor, dividir a Física em: Clássica (até o final do século XIX), Moderna (final do século XIX até a década de 40 do século XX) e Contemporânea (aproximadamente, da década de 40 em diante).

vozes em favor de uma atualização curricular em Física no ensino médio brasileiro, através da inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea nesse currículo (e.g., Terrazzan, 1992; Laburú et al, 1998; Valadares e Moreira, 1998). Muitas justificativas são arroladas; por exemplo, aparelhos e artefatos atuais bem como fenômenos cotidianos somente são compreendidos a partir de conceitos físicos modernos; é a Física atual e não a dos séculos passados que estimula os estudantes a seguirem carreiras científicas e desperta sua curiosidade de maneira geral; uma visão de mundo mais coerente com as idéias dos filósofos da ciência contemporâneos pode ser construída a partir do entendimento de como se faz ciência nos dias de hoje; enfim, vamos ensinar a Física do século XX, antes que ele acabe.

Em vários países desenvolvidos, já foi superada a etapa de “levantamento de justificativas” para a inserção de FMC e seus sistemas escolares contemplam nos currículos, quase sem exceção, o tratamento de tópicos modernos (e.g., Stannard, 1990; Stefanel, 1998; Swinbak, 1990; Gil e Solbes, 1993). Já há algum tempo, vários materiais didático-pedagógicos vêm sendo desenvolvidos sob este enfoque. No Brasil, contudo, apenas se inicia este movimento e se não queremos “reinventar a roda”, é preciso buscar nas propostas vindas do exterior o que nos parecer adequado a nosso contexto. Mas é necessário também avançar em aspectos que representam lacunas mesmo do ponto de vista internacional. Por exemplo, elaborar materiais de FMC acessíveis ao professor e integrá-los aos cursos de formação, testar em sala de aula as propostas, verificando, na prática, sucessos e fracassos das mesmas, representam um núcleo central do presente trabalho. A pesquisa aqui relatada foi desenvolvida ao longo de dois anos e culminou com a introdução de dois tópicos contemporâneos em três escolas de Porto Alegre, a partir do trabalho de doze estagiários da disciplina “Prática de Ensino de Física” do curso de Licenciatura em Física da UFRGS do 2º semestre de 1998. Neste artigo, relatamos a experiência de um destes estagiários que trabalhou com o tema “partículas elementares e interações fundamentais” em uma turma de 25 alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola particular de Porto Alegre. A idéia é estudar, em detalhe, um único caso para, então, levantar algumas questões pertinentes a respeito da problemática da atualização curricular.

“Partículas elementares e interações fundamentais” no ensino médio de Física

O tema "partículas elementares" está vinculado a questões mais básicas da Física, ou quem sabe, nos remete a problemas filosóficos como o de buscar a ordem na diversidade. Como funciona o universo é uma pergunta que tem fascinado os cientistas há séculos e também o homem como espécie e é, em certo sentido, a pergunta-chave desta área da Física. O estudo das partículas elementares ilustra também a interação entre o pensar e o fazer, ou entre a teoria e a metodologia, em Física. Por exemplo, muitas previsões teóricas sobre a existência de partículas anteciparam resultados de experimentos (ou seja, confirmaram a crença filosófica contemporânea na inseparabilidade entre pressupostos teóricos e experimentos). A idéia de modelização e busca de simetria é outra faceta da Física que este assunto exemplifica. Em uma certa época, o que se tinha era um catálogo de partículas, mas a busca obstinada de simetrias na natureza, a crença de que esse catálogo poderia ser explicado através de um modelo mais simples levou ao Modelo Padrão. O tópico “partículas elementares” se presta também a apresentar a Física como uma ciência viva, dinâmica. O Modelo Padrão é o modelo que se tem hoje para esta área da Física, mas, é claro, que ele pode mudar. O ensino desse tópico nas escolas foi proposto a partir de uma ênfase que podemos chamar de “informativa”, sem envolver complicações matemáticas, mas, por outro lado, não se exigindo diretamente que muitos princípios físicos tenham sido discutidos na escola, e

fazendo relações com os modelos atômicos discutidos nas aulas de Química. Sem focalizar na memorização de nomes e classificações de partículas, buscamos passar ao aluno a idéia da Física de Partículas como empreendimento humano que busca organizar o entendimento do mundo através dos quarks e léptons e das quatro interações fundamentais. Este tópico (assim como muitos outros contemporâneos) demanda o uso de analogias para o entendimento de alguns de seus aspectos. Por exemplo, as interações, do ponto de vista da Física Moderna e Contemporânea, são entendidas através da troca de uma partícula mediadora. Propusemos, então, aos alunos que buscassem entender esta idéia a partir da analogia com o jogo do bumerangue, no qual dois jogadores (um de costas para o outro) interagem (se atraem) pela troca do bumerangue.

A preparação de materiais

A idéia de trabalhar com o tema “partículas elementares” surgiu, de certa forma, a partir de um curso – Topics in Modern Physics – assistido pelo primeiro dos autores, no ano de 1995, no Fermi National Accelerator Laboratory, Illinois, Estados Unidos. Durante três semanas, professores de Física do ensino médio, de diversas regiões dos Estados Unidos, foram introduzidos, a partir de seminários, palestras, discussões, visitas aos laboratórios, trabalhos em grupo, ao mundo fascinante da Física de Partículas. A partir deste primeiro impulso iniciou-se um trabalho de preparação de materiais que, em um primeiro momento, seria dirigido a professores de nível médio e, posteriormente, adaptados a alunos secundaristas. Apesar de ser ampla a bibliografia em inglês sobre o tema, são extremamente escassos os materiais escritos em língua portuguesa, o que, do ponto de vista do ensino médio, é um forte obstáculo para a atualização curricular. Foi, então, elaborado um texto de 54 páginas (Ostermann, 1998), em português, baseado em várias referências (e.g., Close, 1983; Schwarz, 1992; Fermilab, 1998; Williams, 1992; Physics Education, v. 27, n.2, 1992; Contemporary Physics Education Project, 1998). O texto inclui um breve histórico do desenvolvimento do conceito de átomo, as descobertas do início do século XX, leis de conservação, interações fundamentais, Modelo Padrão atual. Há também duas tabelas que resumem as partículas elementares e as interações fundamentais, exercícios e sugestões de atividades. Como recursos didáticos adicionais, foram elaborados diapositivos, transparências e um pôster colorido com o resumo de toda a informação mais essencial contida no texto: quarks e léptons, partículas mediadoras, interações fundamentais. A elaboração deste pôster colorido foi inspirada em tabelas produzidas por Fermilab (1998) e Contemporary Physics Education Project (1998).

“Partículas elementares e interações fundamentais” na “Prática de Ensino de Física”

Tendo em vista o material elaborado, a disciplina "Prática de Ensino de Física" (do último semestre da Licenciatura em Física da UFRGS) foi organizada em três etapas. Ao longo de um mês, os seis estagiários que trabalharam com este tópico assistiram aulas expositivas na universidade baseadas no texto descrito. Estas aulas foram ministradas pela professora de “Prática de Ensino”, que é a primeira autora deste trabalho. A idéia desta primeira etapa era a de que eles aprendessem o conteúdo da forma mais didática possível, através de muitas discussões e que pudessem preencher lacunas conceituais existentes na área de Física de Partículas.

A segunda etapa do trabalho consistiu da preparação do tópico para sua introdução nas escolas. Durante um mês, os estagiários elaboraram um texto ("texto do aluno"), sob supervisão da professora de "Prática", que buscava simplificar e, de certa forma, organizar o assunto para o nível do aluno de ensino médio. Este texto, de aproximadamente 20 páginas, dividia-se em três partes: modelos atômicos (do pudim de ameixas ao átomo atual), partículas elementares (quarks e léptons; hádrons) e as quatro interações fundamentais.

A terceira etapa, foi, então, o período de regência de cada estagiário, no qual foram ministradas, em média, dez aulas sobre o tema, cada uma de 50 minutos. Como, ao todo, eram seis estagiários, foram envolvidos, nesta experiência, 126 alunos. A metodologia empregada foi, basicamente, de aulas expositivas com muitas discussões com os alunos, a partir do uso dos recursos didáticos que haviam sido preparados (diapositivos, transparências, pôster colorido). O "texto do aluno" foi utilizado como bibliografia de consulta e como referência para o aprofundamento da matéria. Sua leitura foi fortemente sugerida, inclusive como preparação para a avaliação.

A avaliação da aprendizagem dos alunos do ensino médio foi feita a partir da aplicação de dois questionários: um ao início das aulas e o outro ao final. O questionário inicial consistia de três perguntas abertas que buscavam evidências da imagem de átomo dos alunos, da noção que tinham das menores porções de matéria no universo e quais os tipos de forças que existem na natureza. O questionário final, além das mesmas três perguntas, apresentava uma pergunta adicional acerca do interesse e curiosidade que o assunto havia despertado. Além disso, havia 24 questões objetivas de escolha simples (cada uma com três alternativas) para serem respondidas sobre todo o conteúdo apresentado. Os resultados desta avaliação foram bastante satisfatórios (Ostermann, 1999), mas fogem à intenção deste trabalho.

A avaliação do trabalho desenvolvido pelos estagiários foi feita a partir da observação da maioria de suas aulas ministradas, dos relatórios finais por eles elaborados e de uma entrevista ao final do semestre, cujo objetivo era evidenciar como perceberam toda esta nova experiência na disciplina.

A seguir, apresentamos a descrição do período de regência de um estagiário como exemplificação da pesquisa desenvolvida.

Descrição do trabalho de um estagiário (FB) da "Prática de Ensino de Física"

Observação do período de regência

▪ 1ª aula (2 períodos): Aplicação das duas primeiras perguntas do questionário inicial. O estagiário FB observa que nenhum aluno desenhou o átomo contendo quarks. Começa, então, a aula falando do histórico do conceito de átomo: Tales de Mileto, Demócrito e Leucipo, Platão e Aristóteles, Dalton, Mendeleiev, Thomson, Rutherford, Bohr. Ao comentar que o atomismo foi combatido na Idade Média, FB mostra uma reportagem na revista *Veja* na qual se explora a idéia de que Galileu teria sido condenado não pelo heliocentrismo que defendia mas pelo atomismo. Os átomos imutáveis estariam em contradição com a eucaristia. A idéia de que a Física trata de modelos da natureza foi ilustrada por FB através de uma caixa forrada e fechada cujo conteúdo quer se conhecer. Os alunos sugeriram sacudi-la para se saber o que há no seu interior, mas FB argumenta que na impossibilidade de se "ver" em Física, há

a necessidade de modelos, que são confirmados ou não pelos experimentos. Fala do pudim de ameixas de Thomson que foi “devorado” por Rutherford e comenta a experiência que detectou um núcleo massivo no átomo. Comenta sobre a repulsão dos prótons no núcleo e que há um “gancho” que os segura. Fala que as órbitas dos elétrons no átomo são quantizadas e relembra uma discussão feita anteriormente sobre o átomo de Bohr e algumas noções de Mecânica Quântica com os alunos antes do período de regência. FB passa à estrutura atômica atual, com quarks “dentro” dos prótons e dos nêutrons. Aparentemente, somente dois alunos haviam ouvido falar de quarks. Um aluno pergunta para que servem os quarks e FB responde que querem entender do que é constituída a matéria. Mostra a composição de quarks do próton e do nêutron e um outro aluno pergunta se são conhecidas suas massas, cargas. FB dá estes dados aos alunos. Um outro aluno pergunta se há órbitas definidas para os elétrons no núcleo e FB comenta muito rapidamente sobre a idéia de nuvem e probabilidade. Esta aula, do ponto de vista da exposição que foi feita sobre o assunto, foi muito boa. No entanto, ao final, dissemos a FB que teria de melhorar no que diz respeito à interação com os alunos, i.é, muitas colocações poderiam ser feitas a partir de perguntas dirigidas à turma e não simplesmente pela via da transmissão do conhecimento.

▪ 2ª aula (2 períodos): Aplicação da última pergunta do questionário inicial. O estagiário começa a aula retomando a pergunta de um aluno na aula anterior: “para que servem os quarks, no átomo?” FB explica que a estabilidade do núcleo se deve aos quarks e à ligação que existe entre eles. Parte, então, para o assunto planejado: “partículas elementares”. Fala de Dirac e sua previsão do pósitron. Um aluno pergunta como ele descobriu esta partícula e FB diz que foi teoricamente, sendo que mais tarde ocorreu sua detecção experimental. FB coloca à turma: se há um “antielétron”, o que se poderia deduzir? Uma aluna diz: deve haver um antipróton e um antinêutron. FB comenta as descobertas da década de 50 e os aceleradores de partículas que permitiram grandes avanços a partir desta década. Outra aluna pergunta para que serve o pósitron e FB fica um pouco confuso (Pode-se observar que os alunos parecem sentir necessidade de atribuir utilidade a tudo que aprendem.) Aqui, então, a professora-orientadora de “Prática” interferiu, colocando que com o estudo dos decaimentos esta pergunta pode ser retomada. FB fala do nêutron e de seu tempo de vida fora do núcleo. Um aluno lembra da fissão nuclear que ocorre com o bombardeamento de nêutrons. O estagiário pergunta o que ocorre quando um nêutron “morre”? E (surpreendentemente) um aluno responde que ele se transforma em um elétron e um próton. FB escreve no quadro o decaimento beta do nêutron, apresentando aos alunos o neutrino. FB comenta sobre a conservação de carga e de energia neste processo e uma aluna pergunta se a massa se conserva. FB escreve $E = mc^2$, uma expressão conhecida dos alunos pelo desenho “Animaniacs” (obviamente que não das aulas de Física). Uma aluna conclui então que a massa vai se conservar. FB pergunta: se existe neutrino, o que também pode existir? Uma aluna diz: o “posineutrino”. E o estagiário introduz os três neutrinos e seus respectivos antineutrinos. E lembra que agora os alunos conhecem 8 partículas, portanto, deveriam parar de falar só em elétron, próton e nêutron. Os alunos brincam com o prefixo “anti”: antinota, antiPT.... FB fala do pión, outra partícula proposta teoricamente (por Yukawa) e descoberta por Cesar Lattes. Quando FB diz que Lattes é brasileiro, muitos querem saber mais detalhes desta descoberta. FB dá algumas informações. Apresenta alguns decaimentos dos píons para introduzir o múon e dizer que realmente há mais de um tipo de neutrino. Recapitulando as partículas introduzidas até aqui, FB apresenta o tau e seu respectivo neutrino e propõe a classificação dos léptons e dos antiléptons, escrevendo seus nomes no quadro. Ao colocar o elétron na lista, uma aluna se confunde e diz que “dentro” do elétron há quarks. Então, FB retoma os léptons como partículas sem estrutura interna e solicita que os alunos digam os nomes dos neutrinos. Uma aluna sabia o de todos. Uma outra aluna diz que o pión não é um

lépton porque decai. Um aluno pergunta se todas as partículas conhecidas são léptons e FB o questiona perguntando se o próton, por exemplo, está na lista escrita no quadro. A partir desta colocação, FB introduz os hádrons e sua divisão em bárions e mésons e dá alguns exemplos. Uma aluna pergunta pelos quarks: eles não são partículas? Então por que não foram classificadas? FB diz que os hádrons são feitos de quarks. Um aluno pergunta se o antipróton e o antinêutron também têm quarks. FB responde que, na verdade, são formados por antiquarks. A partir daí, o estagiário explica sobre a estrutura de quarks dos bárions e dos mésons. A dez minutos do término da aula, FB introduz os tipos de quarks e fala que, por simetria com o grupo dos léptons, eles também são seis. Uma aluna pergunta porque os quarks não são léptons, já que também não têm estrutura interna. FB diz que, mais adiante, ao estudar-se a força forte, a diferença entre eles seria esclarecida. Neste momento, alguns alunos reclamam pelo excesso de informação da aula. Por outro lado, uma outra aluna, bastante interessada, questiona como é possível diferenciar um quark do outro se eles não têm estrutura interna. FB diz que isto se deve a suas diferentes propriedades. A aula é concluída com a afirmação: toda a matéria do universo é constituída por quarks e léptons. Sem dúvida, foi uma aula bastante densa, mas, a interação estabelecida com os alunos mostrou que, com algum esforço, podiam acompanhar as explicações. Por outro lado, o desfecho de toda a informação foi, de certa forma, bastante sintético.

- 3ª aula (1 período): (Não assistida) Retomada da classificação das partículas. Segundo relato de FB, os alunos também quiseram conversar sobre fissão e fusão nuclear, estrelas, bomba atômica.

- 4ª aula (1 período): (Não assistida) Exercícios sobre as “partículas elementares”. Segundo FB relatou, foi aplicado um teste, sem consulta, sobre “partículas elementares”.

- 5ª aula (2 períodos): Desenvolvimento da terceira parte do “texto do aluno”: “forças fundamentais”. FB começa a aula perguntando o que é força. Um aluno fala em esforço muscular; outro em gasto de energia. FB lembra que na força gravitacional não há esforço muscular da Terra. Fala dos ímãs atraindo ferro. Escreve no quadro: “força é responsável pela mudança de estado de repouso ou movimento...” Pergunta pela 3ª Lei de Newton e três alunos sabiam defini-la. Pede, então, que um aluno vá à frente de outro para simularem dois patinadores se empurrando. FB pergunta se precisa haver contato para haver força entre dois corpos e lembra de duas cargas iguais que se repelem sem haver contato. Jogando uma caixa ao aluno, FB representa a repulsão entre dois corpos pela troca de uma partícula. De costas um para o outro, simulam o jogo do bumerangue, onde agora há uma atração pela troca de partículas. Define partícula mediadora e pede aos alunos citarem forças por eles conhecidas. Os alunos citam de tudo: gravitacional, magnética, centrípeta, atrito, elétrica, mecânica, normal, tensão, empuxo. FB coloca, então, que, na natureza, só há quatro tipos de forças, mas que, no ensino médio, só são estudadas a gravitacional (1º ano) e a eletromagnética (3º ano). Procura, então, relacionar a lista dada pelos alunos às poucas forças que realmente existem. Um aluno pergunta como os físicos chegaram a esta classificação. FB diz que à medida em que forem discutidas as forças, esta pergunta poderá ser retomada. Começa, então, falando da força eletromagnética e de sua partícula mediadora – o fóton. Um aluno disse: o fóton é um pacote de energia. Discutindo a força gravitacional, FB, ao contrário de associá-la somente ao peso na Terra, procurou mostrar que sempre entre duas massas há esta força, por pequena que ela possa ser. Faz a analogia da Lei de Coulomb com a Lei da Gravitação Universal. FB pergunta, então, que seguindo-se a analogia com a eletromagnética o que faltaria nesta interação? Uma aluna responde: uma partícula mediadora. FB fala do gráviton, que nunca foi detectado experimentalmente. Passa à força nuclear forte, desenhando um núcleo de hélio.

Pergunta se estão presentes as duas forças já discutidas. Os alunos dizem que não há gravitacional, mas uma enorme repulsão coulombiana. FB explica que existe gravitacional também mas ela é extremamente pequena. Mas, por outro lado pela repulsão, como explicar um núcleo estável? Um aluno diz que é devido ao nêutron. Outro fala da grande energia envolvida na separação de um núcleo. FB aproveita esta idéia e diz que há uma força muito maior que a repulsão e desenha ganchos unindo os núcleons. Faz a distinção entre forte residual e fundamental e coloca as partículas mediadoras de cada uma. Retoma os sabores de quarks, perguntando quais são (cinco alunos, prontamente respondem) e explica a propriedade cor que eles apresentam. Um aluno diz que o quark é tricolor e FB comenta que esta propriedade nada tem a ver com seu sentido cotidiano. FB define as três cores de quarks e faz uma analogia com as cargas elétricas: cores iguais se repelem e diferentes se atraem. Fala da partícula Ω^- , que não existiria se não fosse a propriedade das cores e a desenha com seus três quarks s com cores diferentes. Explica que os quarks trocam de cor constantemente pela troca de glúons e que é a força forte responsável pela troca de cores dos quarks. Uma aluna pergunta como foi descoberta a cor e FB diz que, inicialmente foi uma hipótese que, mais tarde, foi confirmada em experimentos. Para encerrar a aula, FB mostra o pôster aos alunos, discutindo seu lado esquerdo referente às partículas elementares.

▪ 6ª aula (1 período): FB distribui fotocópias do “texto do aluno”. Retoma os três tipos de força discutidos na aula anterior e passa à força fraca. Diz que o exemplo clássico desta força é o decaimento beta e escreve no quadro o decaimento do nêutron. Lembra a composição de quarks do nêutron e do próton e mostra como a soma das cargas dos quarks dá suas cargas totais. Pergunta o que a interação forte faz. Um aluno disse: age sobre os quarks e outra aluna: troca sua cor. FB coloca, então, que, como os léptons não têm cor, eles não podem interagir via força forte. O que estaria envolvido na força fraca? FB comenta que se aparecem o elétron e o antineutrino do elétron, não pode estar envolvida a força forte e pergunta se pode ser eletromagnética. Uma aluna diz que o antineutrino não têm carga, o que excluiria esta força também. A mesma aluna pergunta se o elétron não tem cor e FB diz que se trata de um sistema branco. Um outro aluno brincando diz que ele é um sistema branco também. Neste momento todos riem, quando percebem que não passamos de quarks **u** e **d** e de elétrons. FB retoma a pergunta: o que faz a força fraca? Dois alunos, percebendo o decaimento no quadro, respondem: troca o sabor dos quarks. Uma aluna questiona para que serve esta interação e FB comenta sobre a transmutação de elementos. FB não faz referência aos seus bósons mediadores. Passa, então, à unificação das forças, referindo-se a figuras no “texto do aluno”. Figuras que mostram os objetos e as forças envolvidos no Modelo Padrão são discutidas e FB pergunta porque os léptons não estão ligados à força forte e três alunas prontamente respondem: porque não têm cor. A aula se encerra com a discussão do pôster.

▪ 7ª aula (2 períodos): Aplicação do questionário final.

Relatório final

Deste trabalho bastante completo redigido por FB merecem destaque algumas de suas colocações feitas na conclusão. FB considerou que a escolha do assunto “partículas elementares” na regência teve êxito por dois motivos. O primeiro é dar o privilégio a muitos alunos da graduação de aprender um assunto tão interessante que, certamente, seria visto muito superficialmente em alguma disciplina não específica. O segundo é inserir assuntos atuais no currículo do ensino médio. Em particular, o tema abordado, segundo FB, agradou muito os alunos por ser totalmente conceitual. Alguns diziam: não tem nenhuma fórmula para

decorar neste bimestre? Que ótimo! Quando analisa os resultados de aprendizagem obtidos, verifica que, por exemplo, a média das questões objetivas finais foi de 19 acertos, em um total de 24 questões. Além disso, constatou que 68% dos seus alunos viram com simpatia e interesse o assunto estudado. Sugere, ao final do trabalho, que tópicos contemporâneos devam continuar sendo explorados no ensino médio.

Entrevista

Ao final do semestre, cada estagiário foi entrevistado pela professora de “Prática de Ensino de Física”. As entrevistas foram todas gravadas e tiveram, em média, uma duração de 15 minutos. Basicamente, foram feitas as seguintes perguntas, a cada estagiário: ■ Que valor atribuiu à inserção de FMC no ensino médio? ■ Quais as dificuldades encontradas para ensinar tópicos contemporâneos? Vantagens e desvantagens? Valeu a pena? Por quê? ■ Como professor da rede, tu repetirias esta proposta de introdução de tópicos de FMC no ensino médio? ■ Que importância teve para tua formação esta experiência na “Prática de Ensino”? ■ Quanto à estrutura da disciplina, te pareceu boa? O que deve ser mudado? É possível resumir a entrevista de FB, destacando alguns de seus aspectos mais gerais:

- FB não tinha pensado ainda no problema da atualização curricular. Afirmou que havia se acostumado com o quanto nosso ensino é arcaico: “um currículo muito antigo, baseado nas Leis de Newton”. Por outro lado, colocou que inserir um conteúdo contemporâneo seria mais facilitado, se houvesse uma abertura no vestibular, no programa proposto pela universidade, que incluísse esses assuntos. Na prática, a matéria ensinada é a que vai cair no vestibular, com equações, envolvendo Matemática, que os alunos, em geral, não gostam.
- Quanto à experiência com o ensino de um tópico contemporâneo, através de seu estágio, FB considerou-a muito boa, porque foi um assunto mais teórico, qualitativo que despertou muito interesse nos alunos. Afirmou que todo o trabalho foi muito válido, e espera que outros assuntos modernos sejam abordados.
- Quanto às dificuldades encontradas na inserção deste tópico nas aulas de ensino médio, FB colocou que o assunto foi simples de inserir para os alunos pois não exigiu grandes pré-requisitos. Segundo FB, foi um assunto que desmistificou muita coisa, porque o aluno tinha uma idéia limitada do que era o átomo: o átomo era aquela bolinha; para alguns era o modelo de Rutherford, com prótons no núcleo e elétrons “girando ao redor”. Uns dois ou três alunos sabiam que há constituintes ainda menores no átomo, mas não sabiam o que eram. FB enfatizou, em vários momentos, que não teve maiores dificuldades quanto à inserção do assunto. As vantagens foram grandes, segundo ele, pois despertou o interesse de muitos alunos para a ciência. Muitos alunos fizeram perguntas além da matéria, por exemplo, sobre buracos negros, galáxias, energia nuclear, fissão e fusão, bombas atômicas.
- Como futuro professor da rede, FB colocou que procuraria inserir tópicos novos, buscando continuar, de alguma maneira, o que foi feito na “Prática de Ensino”. Assinala, novamente, que a única limitação que existe para a atualização curricular é a imposta pela escola sob pressão do vestibular.
- Do ponto de vista de sua formação como aluno da Licenciatura em Física, FB destacou que nunca havia estudado o assunto “partículas elementares e interações fundamentais” em outra disciplina do curso. Considerou o tópico muito interessante e mostrou-se muito

empolgado em aprender Física de Partículas. Comentou que, no curso inteiro de Física, foi o primeiro contato que teve com esta área da Física. Se não fosse na “Prática de Ensino” nunca a teria estudado. Foi um assunto do qual FB gostou muito e destacou a importância que a aprendizagem deste tema teve em sua formação (mesmo que no último semestre da Licenciatura).

- FB concluiu sua entrevista, ressaltando a importância do trabalho desenvolvido. Para ele, a idéia de inserir conteúdos novos é muito boa e é até revolucionária para currículos de ensino médio, pois pretende introduzir Física Moderna e Contemporânea nas escolas. Salientou que quem prepara o vestibular nas universidades deve começar a se preocupar com esse tipo de inovação. Para FB, o vestibular está tendo uma tendência de ser cada vez mais teórico, e a Física Moderna e Contemporânea explora muito este aspecto do conhecimento físico. No ensino médio, a Física deve ser mais conceitual, pois, segundo FB, nenhum aluno deixa de gostar de uma Física com menos Matemática. Segundo FB, é possível descrever a natureza conceitualmente. Pode-se explicar qualquer assunto sem equação nenhuma, só com conceitos. Falar de estrelas, galáxias, como é que as coisas são feitas, como o universo funciona, é uma forma de fazer a Física bem mais atraente aos alunos do que ela tem sido.

Discussão dos resultados

A inserção do tópico “partículas elementares e interações fundamentais” a partir do trabalho de um estagiário na 3ª série do ensino médio de uma escola particular nos permitiu levantar algumas questões acerca do ensino de conceitos modernos e contemporâneos de Física. Em primeiro lugar, é preciso uma boa preparação em conteúdo para que o professor tenha segurança em explorar as perguntas dos alunos, já que foi possível constatar na prática que tais assuntos despertam muitas curiosidades nos adolescentes. Claramente, o gancho que podemos fazer para introduzir este tema está nos modelos atômicos ensinados nas aulas de Química. Ao proporcionar uma visão mais moderna de átomo, estaremos tentando romper com o freqüente modelo planetário apresentado, muitas vezes, pelo professor de Química. Apesar de aparentemente denso, cheio de nomes e classificações, o tópico “partículas” acaba culminando em uma síntese que organiza de forma extraordinária o entendimento de todo o universo. Os alunos, então, podem perceber, que, ao contrário da visão corrente da Física como um catálogo de fatos, há a possibilidade de estruturar este conhecimento de forma organizada e resumida, recorrendo-se, por exemplo, a algumas poucas leis de conservação. A idéia de que existem apenas quatro interações fundamentais na natureza, também auxilia os alunos a reconhecer a Física não como uma colcha de retalhos, mas como um conhecimento bastante unificado. É claro que é fundamental auxiliá-los a classificar todas as forças que conhecem nos quatro tipos existentes. As interações gravitacional e eletromagnética são de certa forma familiares aos estudantes. Por outro lado, a interação forte pode ser entendida como necessária para explicarmos a estabilidade do núcleo atômico. Este parece ser um argumento inteligível a eles. No entanto, a força fraca pareceu ser a de maior dificuldade de compreensão. Talvez isto se deva ao fato de ser bastante evidente que os alunos têm necessidade de buscar atribuir explicações funcionais aos fenômenos estudados (uma visão de mundo um tanto pragmática). Chamou atenção também quantas coisas os alunos sabiam previamente ou simplesmente haviam ouvido falar sobre tópicos de FMC. Por exemplo, a fissão e a fusão nuclear ou a relação de equivalência massa-energia de Einstein. O que é lamentável é que, provavelmente, entraram em contato com estes temas através dos meios de comunicação, e não em aulas de Física. Por isso mesmo, tais tópicos despertam tanto interesse. Outro ponto que merece ser ressaltado é a dificuldade ou a confusão que causa aos

alunos associar significados científicos a conceitos que tenham correlatos cotidianos. Por exemplo, o conceito de cor mostrou-se um tanto difícil de ser compreendido. Tal problema deve ser contornado buscando-se associar a cor a mais uma propriedade que as partículas podem possuir (assim como massa, spin, carga elétrica) sem referências ao seu sentido do dia-a-dia. Finalmente, é significativa a importância de que se revestem as analogias para a discussão desse tópico contemporâneo. As interações via troca de partículas mediadoras foram possíveis de serem compreendidas uma vez que se recorreu ao jogo do bumerangue (para explicar a atração) e o jogo de vôlei para ilustrar a repulsão por troca de uma partícula. Além disso, uma vertente mais conceitual do ensino de Física também foi possível de ser resgatada, em contraposição a tão difundida visão formulística dessa ciência, o que acabou por agradar a muitos alunos. Na realidade, ao introduzirmos um tópico contemporâneo no currículo de uma escola, várias outras questões vieram à tona. Ensinar temas mais atuais de Física no ensino médio implica rever os conteúdos usualmente ensinados, enxugando e mesmo eliminando conteúdos clássicos abordados. A questão da FMC no ensino médio explicita o quanto os conteúdos de Física não seguem uma estrutura hierárquica de construção desta própria ciência. Os grandes pilares da Física – como as leis de conservação – são pouco explorados e colocados, muitas vezes, a reboque de conceitos que, na verdade, se subordinam a elas. Provavelmente, ainda é preciso defender que um bom ensino de Física passa pelo rompimento da visão enciclopédica e superficial com que muitos conteúdos têm sido tratados. Uma abordagem profunda e rigorosa de um número limitado de tópicos é mais eficiente do que uma introdução enciclopédica de um assunto amplo.

Conclusão

Esta pesquisa, ao introduzir o tópico “partículas elementares e interações fundamentais” na formação do professor e em escolas de nível médio, permitiu explicitar problemas que o ensino de Física enfrenta em nossas escolas. Ao não desenvolver aspectos conceituais da Física, recai-se em uma ênfase excessiva nas fórmulas e em problemas de simples aplicação das mesmas. Enquanto se dedica um bimestre ou mais para o estudo da cinemática, pouco se discute dos “pilares da Física” – por exemplo, as leis de conservação. Com isso, o entendimento de tópicos mais atuais acaba sendo dificultado. Por outro lado, ao buscarmos ensinar temas mais modernos, certamente, teremos que resgatar no ensino de Física uma abordagem menos matematizada. É viável ensinar Física Contemporânea no ensino médio, tanto do ponto de vista do ensino de atitudes quanto de conceitos. É um engano dizer que os alunos não têm capacidade para aprender tópicos atuais. A questão é como abordar tais tópicos. Neste sentido, obtivemos resultados promissores. Analogias são importantes, vínculos com conteúdos já existentes no currículo são convenientes e avançar em pontos mais modernos é possível se a ênfase dada for no aspecto mais conceitual da Física. Em outros tópicos talvez não se deva usar analogias ou a própria Física Clássica, mas, mesmo assim, cremos que é plenamente viável abordar tópicos de FMC no ensino médio. Sem dúvida, foi possível verificar-se, na prática, muito do que se fala na literatura: tópicos de FMC despertam a curiosidade científica dos alunos, os motivam para aprender Física. Mas é também fundamental investir na produção de materiais didáticos sobre temas de FMC acessíveis aos professores e aos alunos de nível médio. Neste trabalho, produzimos recursos que mostraram-se essenciais para a viabilidade da proposta. É preciso formar professores bem preparados em termos de conteúdos científicos e críticos em relação ao currículo de Física e com ferramentas que possibilitem o enfrentamento da questão da atualização curricular.

Referências bibliográficas

CLOSE, F. *The cosmic onion: quarks and the nature of the universe*. London: Heinemann Educational Books, 1983.

CONTEMPORARY PHYSICS EDUCATION PROJECT. Disponível na Internet. <http://www-pdg.lbl.gov/cpep.html>. 23 dez.1998.

DUIT, R. Research on student's conceptions-developments and trends. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON MISCONCEPTIONS AND EDUCATIONAL STRATEGIES IN SCIENCE AND MATHEMATICS, 3., 1993, Ithaca. Atas. Ithaca: Cornell University, 1993. 32p.[Oral Communications].

FERMILAB. Discovering the nature of nature. Disponível na Internet. <http://www.fnal.gov/Fermilab>. 23 dez. 1998.

GIL, D. P., SOLBES, J. The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science. *International Journal of Science Education*, London, v. 15, n. 3, p. 255-260, May/June 1993.

LABURÚ, C. E., SIMÕES, A. M., URBANO, A. A. Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino de Física contemporânea tendo como pano de fundo a física do cotidiano). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 192-202, ago. 1998.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. Aceito para publicação na *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 1998.

OSTERMANN, F. Tópicos de Física Contemporânea no ensino médio e na formação de professores. Tese de Doutorado em andamento. Instituto de Física, UFRGS, 1999.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. *El conocimiento de los profesores: una propuesta en el área de ciencias*. Sevilla: Diáda, 1998.

SCHWARZ, C. *A tour of the subatomic zoo: a guide to particle physics*. New York: American Institute of Physics, 1992.

STANNARD, R. Modern physics for the young. *Physics Education*, Bristol, v. 25, n. 3, p. 133, May 1990.

STEFANEL, A. Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, Rosário, v. 11, n. 2, p. 35-44, nov. 1998.

SWINBANK, E. Particle Physics: a new course for schools and colleges. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 87-91, Mar. 1992.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

VALADARES, E. C., MOREIRA, A. M. Ensinando física moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 121-135, ago. 1998.

WILLIAMS, W. S. C. *Nuclear and particle physics*. New York: Oxford University Press, 1992.