

Produtos e Materiais Didáticos

Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem (*Special and general theory of relativity in the high school: a possible approach*)

Andreia Guerra¹, Marco Braga¹ e José Cláudio Reis²

¹*Grupo Teknê, Laboratório de Difusão de Ciência e Tecnologia, Centro Federal de Educação Tecnológica,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

²*Grupo Teknê, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, RJ, Brasil*

Recebido em 7/3/2007; Revisado em 10/9/2007; Aceito em 20/9/2007

Esse artigo pretende contribuir para o debate em torno ao ensino de física, trazendo uma proposta curricular de inserção do estudo das teorias da relatividade restrita e geral na primeira série do ensino médio. Tal proposta foi construída a partir de uma abordagem histórico-filosófica da ciência, onde a relação entre a física com outras produções culturais constituiu-se no viés privilegiado para se trabalhar com os adolescentes as questões científicas respondidas pelos trabalhos de Albert Einstein.

Palavras-chave: ensino de física, teoria da relatividade, história e filosofia da ciência, cultura.

The present article aims to contribute for the debate about the teaching of physics in the first year of high school, as far as the study of the theory of relativity (restrict and general) is concerned. Based on a historical and philosophical approach, it discusses the relationship between science and other cultural productions, in an effort to make students reach a more meaningful understanding of how knowledge is built and therefore, better apprehend the questions and solutions presented by Albert Einstein in his works.

Keywords: physics teaching, theory of relativity, history and philosophical of science, culture.

1. Introdução

A questão do currículo de física para o ensino médio é um tema muito pensado e discutido entre os pesquisadores da área. A publicação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) trouxe contribuições ao debate, apresentando de forma sistematizada as propostas construídas pela comunidade ao longo dos últimos 20 anos, expostas em eventos como o Simpósio Nacional de Ensino de Física. Com o estabelecimento dos parâmetros não se pretendeu a formulação de um currículo pronto e fechado a ser executado por todas as escolas. A idéia era que a partir das orientações de temas e das habilidades específicas a serem desenvolvidas, diferentes propostas curriculares pudessem ser criadas de acordo com a especificidade de cada escola [1].

Nas orientações dos Parâmetros Curriculares está clara a necessidade da abordagem de temas relacionados à física do século XX. Na época da publicação daquele documento, essas questões estavam alijadas do currículo praticado na maioria das escolas brasileiras. A mesma ausência era registrada nos livros didáticos.

Fazendo uma retrospectiva, percebemos que no que

tange ao ensino da física moderna, o cenário nacional não sofreu mudanças significativas após a publicação dos PCNs. O tema continua excluído da maioria dos exames de vestibulares nacionais. Apesar desse não ser o elemento norteador do ensino médio, o privilégio atribuído à física clássica e ao formalismo matemático a ela inerente por parte desses exames reforça a resistência de muitos educadores em ampliar a abordagem da física para além do século XIX.

Em relação aos livros didáticos houve mudanças. As novas edições de algumas coleções [2-5] muito usadas pelos professores de física inseriram no último volume temas de física moderna, como: a física relativística, a física do mundo microscópico e a cosmologia. Na verdade, a mudança não partiu de uma demanda dos professores, mas da exigência do Ministério da Educação da adequação dos livros didáticos às metas anunciadas nos PCNs. Parte dessa tendência se deve ao plano do governo federal de ampliação do programa de aquisição de livros didáticos para as disciplinas científicas.

Apesar da resistência das escolas brasileiras em relação ao ensino da física moderna, estudos foram realizados no intuito de criar bases para uma mudança cur-

¹E-mail: grupo@tekne.pro.br.

ricular [6]. Além disso, nas últimas décadas vários pesquisadores da área de ensino de física têm desenvolvido trabalhos envolvendo construção de materiais didáticos, pesquisas educacionais e projetos de formação de professores que se propõe fornecer a estrutura para que professores possam reconstruir seus currículos, trazendo aos alunos a física do século XX [7-11]. No ano de 2005, comemoramos o centenário do ano miraculoso de Einstein. No mundo inteiro, ocorreram eventos para comemorar a data. Motivados pela comemoração, muitos professores brasileiros realizaram atividades de divulgação em suas escolas da obra de Einstein, mas poucos incluíram essa temática como parte do currículo regular.

Os resultados de várias pesquisas educacionais, o trabalho pontual de alguns professores, a pequena mudança nos livros didáticos e a validade dos PCNs mostram que a introdução de temas de física moderna deve ser objeto de discussão entre aqueles que se dedicam ao ensino médio. Procurando contribuir para o debate o presente artigo centrará atenção numa proposta de inserção da teoria da relatividade, restrita e geral, no ensino médio formal.

2. Por que tratar de um tema desenvolvido há cem anos como a teoria da relatividade restrita?

Nas reflexões voltadas para a busca da identidade do ensino de física, fica claro que esse ensino precisa preocupar-se em construir caminhos que facilitem a formação da cidadania dos envolvidos no processo educacional. Nesse sentido, é importante que ao longo de toda a sua formação, o aluno seja instigado a refletir sobre a ciência, pensando sobre os limites e as possibilidades desse conhecimento [13].

Mas em que a física moderna, e, mais particularmente, o estudo da relatividade restrita e da geral podem contribuir à reflexão dos limites e possibilidades da ciência?

A resposta a essa questão será construída a partir da reflexão sobre uma proposta de introdução do tema na primeira série do ensino médio. Essa inserção não é algo inédito. Alguns pesquisadores/educadores já propuseram ser este um caminho para que a física relativística esteja presente nos cursos de física [14,15].

3. Relatividade restrita - uma breve passagem

Einstein no artigo de 1905 “A eletrodinâmica dos corpos em movimento” solucionou, a partir de dois postulados, problemas que alguns físicos de fins do século XIX estavam se defrontando. Dentre essas questões, podemos destacar: a não validade do princípio da relatividade galileana para o eletromagnetismo. Nesse con-

texto, deve-se acrescentar o caráter absoluto atribuído ao éter, meio que sustentava a propagação das ondas eletromagnéticas.

Algumas dessas questões já haviam perturbado a mente de outros cientistas, como Lorentz e Poincaré, mas os caminhos construídos para respondê-las foram menos revolucionários e ao mesmo tempo mais tortuosos do que os de Einstein [16,17].

Einstein, como um homem de seu tempo, confrontou-se com a ciência de sua época. Nesse processo, defendeu que o princípio da relatividade estabelecido por Galileu deveria ser mais abrangente, ou melhor, válido para todas as leis da física, e não apenas para as da mecânica. Paralelamente a isso, rejeitou o éter, a complexidade e a estranheza física desse meio impulsionou-o a considerar supérfluo assumir um meio material que sustentasse a propagação das ondas eletromagnéticas. Estabeleceu, ainda, que o conceito de repouso absoluto não correspondia a nenhuma propriedade dos fenômenos mecânicos ou eletrodinâmicos, e que as leis de Maxwell eram aquelas que deveriam ser vistas como verdadeiras [18].

Ao assumir essas considerações dentro de sua ciência, Einstein precisou alterar conceitos estabelecidos e vivenciados no senso comum como os de tempo e espaço. Esse breve levantamento das idéias defendidas pelo físico alemão não pretende explicar o seu trabalho, mas fazer uma rápida descrição dos problemas que a relatividade restrita resolveu e alguns dos que ela apresentou. Isto porque foi tomando esse eixo de centralidade que a proposta curricular a ser apresentada possibilitou a discussão da ciência, de seu papel e de seus limites na sociedade contemporânea, de modo a tornar esse estudo algo integrado ao currículo do ensino médio.

4. Construindo uma proposta curricular

Nessa sessão, será descrito um estudo de caso, uma proposta curricular preliminar aplicada em uma escola da rede federal. Esse trabalho partiu do pressuposto que o ensino de física deve ter por objetivo apresentar as teorias da física dentro de seu contexto de produção, de forma a possibilitar em sala de aula um debate em torno à ciência, seus limites e possibilidades [19].

O tema central do trabalho foi a mecânica, sendo a cinemática dos movimentos o primeiro assunto abordado. Não se pretendeu com esse estudo analisar exaustivamente as funções matemáticas capazes de descrever os movimentos retilíneos uniforme e uniformemente variados. Rompendo com o formalismo matemático, abordou-se o tema numa perspectiva histórico-filosófica, enfatizando a obra de Galileu Galilei no que se refere às suas contribuições para o estudo da cinemática, e o contexto cultural em que a mesma foi produzida [20]. Dessa forma, o conceito de referen-

cial e as grandezas posição, deslocamento, velocidade e aceleração foram definidas, enfatizando-se as transformações de Galileu.

Para desenvolver a discussão histórica fez-se uso do filme *O Nome da Rosa* dirigido por Jean-Jacques Annaud no ano de 1986, baseado na obra homônima de Umberto Eco. A projeção e o debate do filme foi o caminho encontrado para envolver os alunos com o tema nascimento da ciência moderna, e, assim, situar a obra e vida de Galileu Galilei. Cabe aqui destacar que o professor que aplicou a proposta esteve diretamente envolvido na construção e avaliação da mesma. Assim, ele, enquanto professor/pesquisador preocupou-se a cada aula em registrar suas impressões a respeito de como os alunos envolviam-se com o curso. Nessa primeira parte, os registros foram anotações escritas a respeito das falas dos alunos durante as aulas e, mais particularmente, ao longo do debate em torno ao filme.

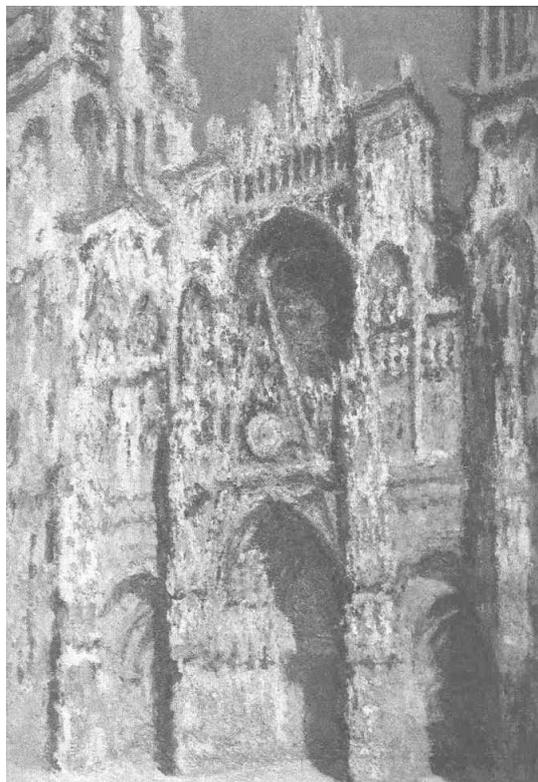
A projeção e discussão do filme *O Nome da Rosa* já havia sido realizada em outros cursos de mecânica, em que a teoria da relatividade restrita não fora discutida. Nessas outras experiências educacionais, o trabalho com o filme foi realizado em conjunto com professores de história. Observou-se que nessas oportunidades os alunos utilizaram ao longo do debate um número maior de exemplos e associações históricas. E que tais associações também se fizeram presente em outros momentos do curso. Assim, acreditamos que a atividade teria sido mais rica se desenvolvida com outros professores de forma a explorar melhor seu potencial interdisciplinar. Porém a organização dos tempos regulares das disciplinas, na escola em que esse trabalho foi aplicado, impediu esta integração.

O estudo dos movimentos constituiu-se na porta de entrada para a relatividade restrita, pois os alunos puderam ser defrontados com os seguintes problemas: o princípio da equivalência e as transformações de Galileu possuem limites, ou são válidas para quaisquer casos?

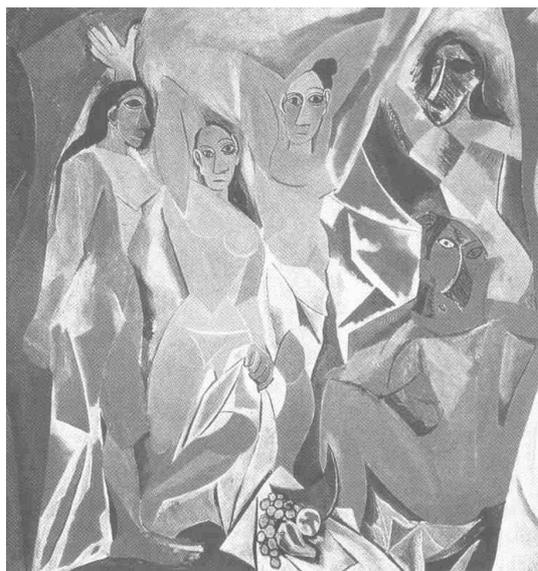
Nesse momento, os alunos foram divididos em grupos, que tinham por função responder à pergunta, através de exemplos concretos. Ao final, cada grupo apresentava suas conclusões para o restante da turma. O professor durante esse processo ficou atento para encaminhar a discussão em torno aos limites e possibilidades de uma teoria científica. Dentro dessa abordagem, os conceitos de espaço e tempo foram priorizados. Para trabalhar esses conceitos muitos caminhos poderiam ser trilhados, um dos encontrados foi trazer à sala de aula um diálogo entre física e arte.

O objetivo dessa parte do curso era fazer os alunos refletirem sobre as diferentes concepções de tempo e espaço construídas pelos homens ao longo da história. [21] Para que o propósito se cumprisse não foram suficientes exposições orais do professor. Isto porque durante as exposições a dispersão foi grande e o envolvimento com o assunto limitado. Por isso, o professor propôs às turmas um trabalho que se iniciou com a

apresentação de uma seleção de imagens contendo afrescos e pinturas produzidas por artistas da Idade Média até o século XX. Cinco obras de arte foram escolhidas para a construção desse painel: *Entrada em Jerusalém*, 1308/11 de Duccio de Sienna, *A Madona do Chanceler Rolin*, 1435 de Jan Van Eyck, *Piquenique sobre a relva*, 1863, de Édouard Manet, *A Catedral de Rouen*, 1892-94, de Claude Monet, *As moças de Avignon*, 1907, de Pablo Picasso.



A catedral de Rouen, de Claude Monet.



As moças de Avignon, de Pablo Picasso.



Entrada em Jerusalém, de Duccio de Sienna.



Piquenique sobre a relva, de Édouard Manet.



A Madona do Chanceler Rolin, de JanVan Eyck.

Essa primeira apresentação foi bastante simples e rápida. O propósito era que os alunos selecionassem uma das imagens para trabalhar. Eles deveriam, então, realizar uma pesquisa com o propósito de responder as seguintes questões:

- Como as pessoas e os objetos eram retratados na imagem?
- Outras obras do pintor escolhido seguiam o mesmo padrão de representação?
- Outros pintores da época seguiam o mesmo caminho de representação?
- Quais eram as teorias científicas mais importantes da época para explicar os movimentos celestes e os terrestres?

Exigiu-se dos alunos que as respostas fossem apresentadas por meio de um painel, a ser exposto à turma, contendo imagens e pequenos textos, de forma que as primeiras prevalecessem em relação ao texto. O professor recebeu o projeto dos painéis com antecedência, o que possibilitou criar estratégias de trabalho em sala para que ao final da apresentação de cada grupo, os aspectos, a seguir relatados, de espaço e tempo de cada pintura pudessem ser enfatizados.

A primeira pintura, por ter sido construída dentro do período medieval, destaca um espaço hierarquizado. O tamanho das pessoas retratadas corresponde à posição social que elas ocupam naquele contexto cultural. Existe uma clara distinção entre céu e Terra. O primeiro sendo representado como uma

imagem uniforme, monótona e de cor dourada e o segundo compondo as suas diversidades. Essa, como muitas outras obras pictóricas do medievo, ilustra a concepção espacial do homem europeu daquela época. O espaço era percebido como algo heterogêneo. Cada elemento daquele universo possuía seu lugar natural, estando ao céu reservado o movimento perpétuo e a imutabilidade.

A segunda por ser uma representação pictórica do século XV, não mais apresenta o espaço hierarquizado do medievo. Céu e Terra formam um todo. O céu não é o local da permanência. Assim como a Terra, ele apresenta fenômenos efêmeros. O tamanho atribuído às pessoas, às árvores, às montanhas é calculado pela técnica da pintura em perspectiva. É o ponto de fuga que determina como a imagem é representada. O espaço não tem mais um limite claro, o infinito pode ali ser contemplado. Essa é uma percepção espacial presente no mundo de Isaac Newton, onde os fenômenos celestes, assim como os terrestres apresentam um início, um meio e um fim. Não há lugares privilegiados. O espaço é homogêneo e isotrópico, a presença de objetos não o altera.

A terceira pintura não mais coloca a homogeneidade espacial da anterior. As regras da perspectiva clássica não estão plenamente respeitadas. Há uma mulher na pintura retratada com um tamanho que não corresponde a sua posição espacial. A pintura de Manet do século XIX mostra de certa forma uma integração entre objeto e espaço. A retirada de objetos daquela imagem altera a representação ali disposta [22].

O quadro de Monet faz parte de uma série de pinturas sobre a mesma catedral. Apesar dessa particularidade, em cada quadro Monet representou-a com impressões bem distintas, ao retratá-la em diferentes tempos. O momento registrado alterava aquele espaço.

Por último a pintura de Picasso e com ela um espaço distorcido, em que as regras da perspectiva não mais se fazem presentes. Vários ângulos de uma mesma figura são representados num mesmo plano. Não há o espaço fechado e hierarquizado do medievo, mas também não encontramos o espaço homogêneo e isotrópico da época de Galileu [23].

O que esse trabalho com as imagens proporcionaram às aulas de física?

Na aplicação e avaliação dessa proposta não houve uma preocupação em realizar uma pesquisa quantitativa capaz de tabular a mudança de concepção dos alunos. Acreditou-se naquele momento, que o caminho mais eficaz para avaliar o processo seria, através da imersão direta na realidade, registrar por escrito diariamente as impressões do trabalho. Dessa forma, o professor construiu um escrito antropológico daquela realidade [24]. Esse trabalho mostrou que o trabalho realizado pelos alunos e as discussões de espaço e tempo desenvolvidas a partir das pinturas permitiram a compreensão de que toda concepção espacial é histórica e

faz parte da cultura dos homens. A seguir destacamos recortes dos textos apresentados pelos alunos, durante a apresentação do painel, que ilustram o resultado de seus trabalhos:

Grupo A – turma 1 “O céu amarelo e superior, bem destacado, pois já que o céu era a morada de Deus, e a morada de Deus é feita de ouro e pedras preciosas, o céu deveria ser também dourado.

“O mesmo pintor e outros pintores da época seguiam o mesmo caminho, pois a influência religiosa era muito grande e os pintores queriam retratar a sua realidade.”

Grupo A – turma 2 “O céu é retratado dourado por ser considerado como perfeito, a morada de Deus. As figuras do quadro estão extremamente separadas do céu retratado. E as pessoas são retratadas por sua importância, quanto maior sua importância, maior seu tamanho (no quadro).

O céu era imutável e perfeito, seguindo a teoria de Aristóteles. A Terra ficava imóvel no centro do Universo, e os planetas, a Lua e o Sol giravam em volta da Terra.”

Grupo B – turma 2 “A pintura medieval, sem perspectiva, corresponde a uma visão de mundo aristotélica, geocêntrica, explicada pela Bíblia; a perspectiva surge com o Renascimento, rompendo com as explicações religiosas para os fenômenos e buscando explicações racionais, que correspondessem à realidade da natureza...

“Quando se começa a mudar a mentalidade em relação à natureza, descobrem-se várias concepções reais da verdade que quebram a hierarquia da Igreja. Essas mudanças refletem sobre a pintura fazendo surgir uma maior noção de profundidade, proporção perspectiva e tridimensionalidade.”

Grupo C – turma 1 “No quadro tem dois homens e duas mulheres, sendo que uma mulher que se encontra bem atrás tem o mesmo tamanho que as outras três pessoas. No quadro, o espaço é representado não na forma como nós vemos, onde a mulher que está atrás seria desenhada menor do que as outras para dar a impressão de proporção, mas sim da forma como nós sentimos, como nós sabemos que é; que a mulher de trás é do mesmo tamanho das pessoas da frente. Como na época a fotografia já tinha sido inventada, os pintores não queriam mais retratar a realidade, mas sim impressionar, impactar as pessoas que vêem o quadro, para dar uma noção de espaço.

Com a invenção da fotografia, os pintores não se preocupavam mais em transmitir a realidade, diminuindo a perspectiva e a perfeição. Esta imagem pertence a era do impressionismo fazendo uso a sensualidade.”

Grupo D – turma 1 “Nesse quadro ainda pode-se notar a presença da perspectiva. Entretanto já mostra-se bem menos preso à realidade do que as do Renascimento. Isto ocorria porque nessa época a fotografia foi inventada e os pintores não importavam tanto com

a perspectiva.”

Grupo E – turma 1 “A arte do início do século XX era extremamente revolucionária, já que quebrava a percepção espacial imediata dos corpos, dando-lhes novos contornos e nuances, numa visão “além” que menosprezava a perspectiva (as três dimensões). Os fenômenos não são apenas aqueles que o olho humano pode presenciar e identificar no dia a dia.”

Interessante que esse grupo, referiu-se à teoria da relatividade. Apesar deles, ainda não terem estudado o assunto, sabiam que esse era o tema do curso.

– “A relatividade modificou as velhas concepções da época em que exerceu “grande influência”: sobre os ramos do conhecimento das ciências às artes. O início do século XX foi marcado pela “procura” de se criar novas concepções através do questionamento das velhas concepções”.

Cabe ainda destacar que se percebeu a formação de dois grupos em sala de aula. Um que, muito preocupado com os resultados das avaliações, empenhava-se para realizar o painel solicitado, porém se dispersava muito facilmente durante as discussões. Era como se tivessem a certeza de que aquilo não seria assunto de prova e, portanto, poderia ser desconsiderado. O outro grupo envolveu-se muito com o debate ocorrido durante a apresentação dos painéis. Nem sempre os trabalhos construídos por eles eram os melhores, mas ao longo das aulas estavam atentos, trazendo aspectos novos para o debate. Muitos alunos se remeteram às discussões realizadas em torno ao nascimento da ciência moderna. Concretizada essa etapa, partiu-se para uma viagem histórica aos fins do século XIX, ressaltando a situação da física naquele contexto. Devido ao objetivo do trabalho, apresentaram-se experimentos simples de indução eletromagnética para discutir do que trata o eletromagnetismo. Esse foi o início da discussão em torno às novidades trazidas por essa área de conhecimento e aos problemas científicos derivados daquele desenvolvimento. Nesse ponto foi explorado o significado das ondas eletromagnéticas e, mais, particularmente, o fato da luz ser uma onda eletromagnética. A profundidade desse debate variou com a maturidade do grupo de alunos que se estava trabalhando e também do tempo disponível para o tema. Porém experimentos simples com molas e cordas foram úteis para se discutir o que vem a ser uma onda e a questão da necessidade ou não de um meio como suporte à sua propagação.

Após o breve panorama da física dos fins do século XIX, Albert Einstein e sua teoria da relatividade restrita e geral foram os assuntos tratados. Os registros da pesquisa sobre a concepção espacial indicaram que um bom recurso para explorar essa parte do curso seria propor aos alunos um trabalho em grupo, cada um escolheria um tema para trabalhar. Em todos os casos o grupo precisava abordar no mínimo os itens a respeito do assunto destacado pelo professor.

Tema 1: Albert Einstein antes de 1905.

- A vida de Einstein antes de 1905, enfatizando sua formação acadêmica.
- O ambiente sócio-cultural em que Einstein vivia.
- As incoerências entre o eletromagnetismo e a mecânica.
- As soluções propostas pelos físicos Poincaré e Lorentz.

Tema 2: Reflexões sobre o tempo e espaço em fins do século XIX e início do XX.

- A máquina do tempo de H.G. Wells.
- O impressionismo.
- O cubismo.
- Um problema técnico: a sincronia dos relógios.

Tema 3: A relatividade restrita.

- A proposta de Einstein para resolver o problema da incoerência entre o eletromagnetismo e a mecânica.
- As inspirações para resolver o problema.
- As implicações do fato de se considerar a velocidade da luz constante.
- $E = m.c^2$.
- O impacto no meio acadêmico e na sociedade da teoria da relatividade.

Tema 4: O efeito fotoelétrico.

- O quanta de Planck.
- O efeito fotoelétrico
- Implicações da explicação do efeito fotoelétrico para explicar fenômenos como a fotossíntese.

Tema 5: A relatividade geral.

- A proposta de Einstein para explicar os efeitos gravitacionais.
- A curvatura espaço-tempo.
- Buraco negro.
- O eclipse de Sobral.

Tema 6: Albert Einstein após 1905.

- A vida de Einstein após 1905, o que mudou imediatamente com a publicação dos artigos de 1905.
- O ambiente sócio-cultural em que Einstein vivia.
- Os motivos que o levaram a morar nos Estados Unidos.

Tema 7: Einstein e a bomba atômica.

- Princípios básicos do funcionamento da bomba atômica.
- Relações entre teoria da relatividade e a bomba atômica.

Como o registro do professor apontou alguma dispersão dos alunos durante a apresentação dos trabalhos sobre as pinturas do medievo ao século XX, buscou-se desenvolver atividades capazes de solucionar o problema. Por isso propôs-se que cada grupo escolhesse uma forma diferente para expor seus resultados. Ninguém poderia optar apenas por apresentações orais, era preciso encontrar caminhos alternativos, como: esquetes de teatro, filmagens, poesia etc.

As apresentações foram divididas ao longo do curso de modo que após cada uma delas o professor, através de aulas expositivas, pudesse aprofundar o assunto abordado. Cabe destacar que a criatividade dos alunos para construir seus modos de exposição foi surpreendente.

Um grupo montou um esquete de teatro para apresentar o tema 2. Eles construíram cenário com sucatas, figurino e até trilha sonora. A estória girava em torno a um grupo de alunos que precisava desenvolver uma pesquisa para a aula de física sobre “Einstein e seu tempo”. O grupo necessitava tirar uma nota alta no trabalho, devido aos resultados das provas anteriores. Eles dividiram as tarefas, mas o tempo passava e nenhum deles conseguia realizar sua parte. Depois de muitas brigas e confusões, um aluno sonhou com Albert Einstein. O cientista lhe guiou a uma viagem ao fim século XIX e início do século XX, que permitiu ao aluno no dia seguinte apresentar a seu grupo todo o trabalho pronto. Para narrar o sonho, um dos alunos se vestiu de Einstein e através de projeção de fotos, textos e pinturas apresentou as conclusões da pesquisa que haviam realizado. Esse grupo em particular era composto por alunos muito integrados. Como o trabalho foi proposto antes do período das férias de inverno e a entrega apenas ocorreu em final de agosto, eles se reuniram várias vezes nas férias para trabalhar.

Outro grupo que apresentou o tema 3 envolveu familiares na execução da atividade. Eles montaram e filmaram um documentário fictício sobre Albert Einstein para tratar do terceiro tema, e tomaram o avô de um dos componentes do grupo, para representar o cientista. O avô estudou um texto construído pelo grupo, proporcionando um resultado muito interessante.

As falas do Einstein entrevistado e do apresentador eram grandes e didáticas. Para tornar o vídeo “mais legal”, como declarou uma das alunas, o grupo bolou a inserção de intervalos comerciais. Elas criaram, então, vários produtos fictícios para brincar com a turma.

Concluída a relatividade restrita, o curso voltou-se para o estudo da dinâmica e mais particularmente das

leis de Newton. Nesse momento, apenas os grupos que se dedicaram aos temas 1, 2 e 3 haviam concluído suas apresentações. Aqui foram analisados aspectos experimentais e teóricos do tema, que visavam ultrapassar a análise estritamente matemática comum no ensino médio, capaz de restringir o estudo das leis de Newton à resolução de problemas numéricos envolvendo bloquinhos. Com a perspectiva de que esse estudo enriquecesse a discussão em torno à ciência, aulas expositivas foram utilizadas para apresentar o legado de Newton, de forma a destacar o contexto cultural da Europa, e mais especificamente da Inglaterra de fins do século XVII e início do século XVIII. Em termos teóricos as três leis de Newton e a lei da gravitação universal foram enfocadas simultaneamente. Dessa forma, foram exploradas as questões da ciência do século XVII respondidas por Newton, as controvérsias em torno ao seu trabalho, os debates com seus contemporâneos, as questões deixadas em aberto, os problemas suscitados e por fim como essa obra foi absorvida pelos cientistas e também por outros homens ao longo do século XVIII [25].

O término desse estudo foi o aporte para a última fase do curso, ou seja, o estudo da relatividade geral. O trabalho com a relatividade geral requisitou um pouco mais de cuidado, devido à complexidade matemática do tema. Escolheu-se discutir questões importantes dessa teoria sem avançar nos aspectos mais distantes dos alunos, como a geometria do espaço curvo. Os grupos responsáveis pelos temas 4 e 5 apresentaram suas pesquisas. O tema 4 por estar mais desconectado do curso não foi muito aproveitado nas aulas seguintes. Porém na apresentação do tema 5 os alunos utilizaram muitas imagens que foram, ao longo do estudo da relatividade geral, exploradas pelo professor.

Trabalhar o legado de Newton ultrapassando o formalismo matemático comum aos livros didáticos propicia discutir a visão mecanicista de natureza fortemente presente no século XVIII. Fora isso podem ser exploradas as controvérsias em torno à obra de Newton e ao modo de propagação da ação gravitacional, a possibilidade de se pensar num meio especial e o éter, como um caminho para responder a ação a distância entre corpos de massas diferentes de zero. Além dessas, outra questão que se destaca é o limite das leis de Newton, ou melhor, o caso dos referenciais não-inerciais. Esses aspectos da obra de Newton além de possibilitarem uma reflexão sobre a ciência e seu modo de produção permitiram problematizar com os alunos a obviedade da sentença: a pedra cai, pois a Terra a atrai. O enfrentamento aos problemas em torno a essa questão permitiu discutir que o modo de propagação gravitacional foi um problema em aberto por muitos anos. Assim, por mais nova que fosse a idéia de um espaço curvo, ela respondia de alguma forma a uma questão filosófica e científica que ficou adormecida por muito tempo.

Mas o que focar da teoria da relatividade geral, se os alunos não têm o suporte matemático necessário

à exploração do tema?

O princípio da equivalência e a nova concepção espaço-temporal foram os temas estudados nessa etapa final do curso. Com o primeiro assunto, pôde-se discutir o que a teoria da relatividade geral ampliou tanto em relação ao princípio da equivalência galileano, quanto à teoria da relatividade restrita. Essas abordagens foram desenvolvidas sem as ferramentas matemáticas indisponíveis aos alunos do ensino médio. Durante as aulas, foi retomada a mudança de representação espacial dos pintores renascentistas para a dos que viveram no início do século XX, como a dos representantes do cubismo. Esse paralelismo foi importantíssimo, uma vez que permitiu ao aluno mergulhar no ambiente cultural em que a teoria analisada se construiu. Assim, os possíveis obscurantismos ligados ao olhar do senso comum puderam ser confrontados com a cultura da época, de forma a ressaltar que tanto as questões quanto as respostas estavam ligadas ao ambiente científico e cultural em que o cientista ou grupo de cientistas que a enfrentou encontrava-se inserido.

Algumas das falas dos alunos resgatadas pelo professor durante as aulas reforçam essa análise.

Aluno 1 - "Analisando atenciosamente a obra artística contemporânea à formulação da teoria relativística pode-se notar seu esforço na tentativa de romper com as antigas relações de espaço e tempo do século XIX, baseada na tese newtoniana com suporte na geometria euclidiana. A deformidade espaço-temporal proposta por Einstein, bem representada na pintura cubista, caracterizada pela múltipla percepção dos objetos, enxergados de variadas angulações e posições, eliminando a perspectiva renascentista que encerrava emancipadamente os conceitos de massa, tempo e espaço".

Aluno 2 - "Havia um conflito naquela época: o de se "quebrar" com as concepções antigas. Com isso, Einstein ao tentar solucionar as inconsistências da física clássica, recorreu a concepções de realidade que "parecem" absurdas para as nossas noções cotidianas. Assim como os artistas desta época, ele substituiu conceitos até então inquestionáveis".

Aluno 3 - "... o conhecimento da arte delinea o contexto em que as mudanças aconteceram, o ambiente e o momento que as possibilitaram. ... o conhecimento da arte em si permite que nos livremos dos conceitos já estabelecidos de espaço e tempo; da forma mecanicista de enxergar o mundo".

5. Conclusão

A proposta curricular que aqui apresentamos foi efetivada, como já salientamos, em uma escola da rede federal de ensino. Não se pretende que ela seja um exemplo a seguir, a especificidade dos professores, da escola e até mesmo das turmas, faz com que sejam necessárias diferentes metodologias de trabalho. Porém o registro de trabalhos, mesmo que pontuais, é fundamental para que os autores do processo educacional tenham subsídios para reinventar suas práticas.

Não realizamos ao longo de nosso trabalho uma pesquisa quantitativa para medir o quanto o grupo de alunos apreendeu dos conteúdos abordados. Privilegiamos uma pesquisa qualitativa, onde o professor a partir de uma proposta curricular entrou em sala de aula como um ator-espectador, registrando diariamente suas impressões do trabalho desenvolvido. O professor, nessa posição, tinha sempre atenção ao comportamento dos alunos, ao tipo de questões que eles lhe colocavam e ao desempenho das atividades. Os registros do professor mostraram que a integração da teoria da relatividade restrita e geral ao currículo, de forma que esses assuntos não fossem percebidos pelos alunos como um apêndice aos conteúdos importantes da série, é um caminho para trazer esses temas ao ensino médio. Para superar os supostos problemas dos pré-requisitos, sugere-se um trabalho interdisciplinar, em que as produções culturais, diferentes da científica, sejam discutidas. Fora isso uma proposta curricular centrada numa abordagem histórico-filosófica, em que as questões enfrentadas pelos cientistas, as controvérsias que se envolveram, o ambiente científico cultural de seu trabalho sejam assuntos privilegiados, é um caminho viável para o estudo das teorias da relatividade restrita e geral no ensino médio.

As conclusões da implementação da proposta indicaram, também, caminhos a serem seguidos num trabalho de pesquisa futuro. De um modo geral, os alunos estavam predispostos a estudar o tema. Eles manifestavam interesse em conhecer algo que lhes parecia mágico e poderoso. Essa percepção inicial encaminhou uma pesquisa, que está sendo desenvolvida ao longo de 2007, sobre fatores que levam os alunos a terem um interesse especial em estudar relatividade. A importância de uma pesquisa como essa se deve a necessidade de construir materiais capazes de trazer aos educadores ferramentas para conhecerem melhor sua realidade e a partir disso melhor interferirem nela.

Referências

- [1] Brasil, *Bases Legais – Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio* (Ministério da Educação, Brasília, 1999).
- [2] A. Máximo e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Editora Scipione, São Paulo, 2006).

- [3] A. Gaspar, *Física* (Editora Atual, São Paulo, 2001).
- [4] F. Ramalho, N.G. Ferraro e P.A. Toledo, *Fundamentos da Física* (Editora Moderna, São Paulo, 2003).
- [5] J.B. Gualter, V.B. Newton e R. Helou, *Tópicos da Física* (Editora Saraiva, São Paulo, 2001).
- [6] F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, 1 (2000).
- [7] A. Hellstrand e A. Ott, *Physics Education* **30**, 5 (1995).
- [8] J.F.K. Köhnlein e L.O.Q. Peduzzi, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, 36 (2005).
- [9] A. Medeiros e C.F. de Medeiros, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, 299 (2005).
- [10] F. Ostermann e T.F. Ricci, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 176 (2002).
- [11] F. Ostermann e T. F. Ricci, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **21**, 83 (2004).
- [12] M. Braga, *A Nova Paidéia* (E-papers, Rio de Janeiro, 2001).
- [13] A. Guerra, M. Braga e J.C.O. Reis, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **22**, 224 (2004).
- [14] R.A.S. Karam, S.M.S.C. de Souza Cruz e D. Coimbra, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 373 (2006).
- [15] R.A.S. Karam, S.M.S.C. de Souza Cruz e D. Coimbra, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **29**, 105 (2007).
- [16] J.M. Sanches Ron, *el Origen y Desarrollo de la Relatividad* (Alianza Universidad, Madrid, 1983).
- [17] G. Holton and Y. Elkana, *Albert Einstein Historical and Cultural Perspectives* (Dover Publications, Nova York, 1997).
- [18] A. Einstein, *A Teoria da Relatividade Especial e Geral* (Contraponto, Rio de Janeiro, 1999).
- [19] A. Guerra, M. Braga, J.C.O. Reis e J. Freitas, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **15**, 32 (1998).
- [20] A. Guerra, J. Freitas, J.C. Reis e M. Braga, *Galileu e o Nascimento da Ciência Moderna* (Editora Atual, São Paulo, 1997).
- [21] S.Y. Edgerton Jr., *The Heritage of Giotto's Geometry: Art and Science on the Eve of the Scientific Revolution* (Cornell University Press, Nova York, 1993).
- [22] A.I. Miller, *Insights of Genius: Imaginary and Creativity in Science and Art* (Copernicus, Nova York, 1996).
- [23] A.I. Miller, *Einstein, Picasso: Space, Time, and Beauty that Causes Havoc* (Basic Books, Nova York, 2001).
- [24] C. Geertz, *A Interpretação das Culturas* (Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1978).
- [25] M. Braga, A. Guerra, J. Freitas, J.C. Reis, *Newton e o Triunfo do Mecanicismo* (Editora Atual, São Paulo, 1999).