
**TEMPO, ESPAÇO E SIMULTANEIDADE: UMA
QUESTÃO PARA OS CIENTISTAS, ARTISTAS, EN-
GENHEIROS E MATEMÁTICOS NO SÉCULO XIX⁺***

Andreia Guerra¹

CEFET-RJ

Teknê

José Claudio Reis

UERJ

Escola Parque

Teknê

Marco Braga¹

CEFET-RJ

Teknê

Rio de Janeiro – RJ

Resumo

A introdução de novos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio é defendida por muitos pesquisadores de ensino de ciências. Nos últimos anos, trabalhos de pesquisa também analisaram e avaliaram práticas pedagógicas que visaram introduzir esses temas no ensino de Física. Este artigo se propõe a trazer subsídios à discussão em torno da introdução de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, ao defender que, no caso específico do estudo da Teoria da Relatividade Restrita, o trabalho em sala de aula deve seguir uma abordagem histórico-filosófica, pois a contextualização desse conhecimento pos-

⁺ Time, space and simultaneity: a question, in the XIX century, for scientists, artists, engineers and mathematicians

* Recebido: maio de 2010.

Aceito: setembro de 2010.

¹ Apoio parcial do CNPq.

sibilitará aos alunos o estudo de um conteúdo que traz questões bem diferentes daquelas por eles aprendidas com o senso comum.

Palavras-chave: *História e Filosofia da Ciência; Teoria da Relatividade; Ensino de Ciências.*

Abstract

The study of Contemporary and Modern Physics in High School is an important proposal for a large number of scientific education researchers. In the past years, various papers discussed and presented results about the introduction of Contemporary and Modern Physics in Science classes. This paper discuss these subjects and propose an historical-philosophical approach for the study of the Special Theory of Relativity, so this way students could understand questions about these subjects which bring different reflections from the common sense students have learned.

Keywords: *History and Philosophy of Science; Special Theory of Relativity; Scientific Education.*

I. Introdução

A introdução de novos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio é defendida por muitos pesquisadores de ensino de ciências. (ARRIASSECQ; GREGA, 2004; OSTERMAN; MOREIRA, 2000; OSTERMANN; RICCI, 2002; TERRAZAN, 1992). Nos últimos anos, vários trabalhos de pesquisa analisaram e avaliaram práticas pedagógicas que visavam a introduzir esses temas no ensino de Física (ARRIASSECQ; GRECA, 2004; GUERRA; BRAGA; REIS, 2007; KARAM; CRUZ; COIMBRA, 2006; KÖHNLEIN; PEDUZZI, 2005; MACHADO; NARDI, 2006; OSTERMAN; MOREIRA, 2001; OSTERMAN; RICCI, 2005). Apesar da abrangência e dos resultados favoráveis, é importante aprofundarmos a discussão em torno do assunto.

Os manuais didáticos brasileiros seguem, em sua maioria, a tradição do ensino de Física originária da França do século XIX. Em fins do século XVIII, a França encontrava-se atrasada em termos industriais em relação à Inglaterra. As lideranças da Revolução Francesa, formadas em sua maioria por homens da ciência, desejavam mudar essa situação e acreditavam que somente por meio de

uma formação científica consistente dos engenheiros seria possível alcançar esse objetivo. Nesse contexto histórico, elaborou-se um projeto de educação científica, que tomou forma no interior da École Polytechnique de Paris. Esse projeto serviu de base para toda a formação dos engenheiros franceses a partir de então. Seu sucesso foi tal que, ao longo do século XIX, foi copiado em diversos países da Europa e tornou-se a base para a educação científica de todos os outros níveis educacionais. As escolas de engenharia brasileiras adotaram esse modelo, e, também, as escolas de formação pré-universitária, respeitando-se apenas a simplificação dos conteúdos (BRAGA, 2000).

A formação científica politécnica era constituída por conteúdos organizados de tal forma, que a ciência deveria ser percebida como um produto acabado e construído sem nenhum embate de ideias. A ênfase não estava no processo de construção das teorias, mas na sua aplicabilidade em problemas concretos ou abstratos (instrumentalidade), tarefa primordial dos engenheiros. Dessa forma, o caminho histórico, repleto de controvérsias e questões metafísicas foi preterido em favor daquilo que foi denominado por Comte (1978) de ensino dogmático. A nova ordem didática passou a ser apresentada em manuais, onde as conquistas do passado fossem apresentadas sem as argumentações filosóficas e metafísicas presentes nas obras científicas originais. (BRAGA; GUERRA; REIS, 2008)

Os objetivos da concepção dogmático-instrumental do ensino, apesar de extremamente útil aos engenheiros, acabaram levando os estudantes a uma visão deturpada da ciência. Naquela ordem “didática”, a ciência deixou de ser vista como parte de um contexto maior, como um conhecimento produzido em meio a diálogos e embates entre diversos coletivos de pensamento (FLECK, 1986).

A ordem “didática” imposta pela concepção dogmático-instrumental dá aos alunos uma visão de ciência como verdade inquestionável. Como consequência disso, advém a percepção de que aqueles que possuem tal conhecimento, os especialistas, estão numa condição de superioridade quase religiosa, por serem os detentores da “Verdade”.

... a ciência é vista na sociedade como uma instância absoluta, exatamente como Deus é visto pela Igreja. Assim como diziam os padres que queimavam hereges na Inquisição: ‘não sou eu, é Deus quem quer’; assim nossos tecnocratas, ao tomarem decisões, dizem que não são eles os responsáveis, mas a ciência (THUILLIER, 1989, p. 22).

Esse posicionamento perante os especialistas afasta os alunos do exercício da cidadania. Essa concepção favorece uma postura de transferência de poder, onde os alunos delegam, enquanto cidadãos, o poder de decisão dos problemas que

afetam diretamente seu cotidiano aos especialistas. Vários exemplos históricos mostram que a atuação da sociedade civil é fundamental no encaminhamento de leis e projetos relacionados a assuntos científicos, como: lei de proteção ambiental, uso extensivo de sementes transgênicas, construção de usinas nucleares e hidrelétricas (escolha da principal matriz energética de um país), etc. Assim, percebe-se que o ensino de ciências deve trabalhar os conteúdos científicos de forma a possibilitar aos alunos uma visão não deturpada da ciência. Neste ponto, retornamos ao problema inicial deste artigo no que se refere à introdução de temas de FMC no Ensino Médio. Para que esses temas estejam integrados ao objetivo maior da educação científica básica, é preciso que seja ultrapassado o ensino dogmático-instrumental, onde as teorias científicas são apresentadas sem que as discussões em torno do processo de construção daquele conhecimento sejam apresentadas. É preciso construir um ensino em que os alunos percebam que o conhecimento científico não possui verdades inquestionáveis e que a ciência foi e é construída por homens inseridos num contexto sócio-cultural específico que, ao longo de sua trajetória profissional, dialogam com o mundo em que vivem e que muitas vezes os problemas que se defrontam, assim como as soluções desses mesmos problemas, surgem a partir do diálogo com outras áreas do conhecimento. Enfim, é preciso que o ensino de ciências básico esteja voltado a desenvolver práticas que mostrem que o conhecimento científico é fruto de um entrelaçamento de saberes construído ao longo da história da humanidade. Enfim, a ciência deve ser trabalhada de forma contextualizada. Mas o que significa isso?

Muitos conteúdos de FMC, considerados fundamentais para o Ensino Médio, poderiam ser utilizados para exemplificar o que entendemos por essa visão contextualizada do conhecimento científico. Dentro da possível lista, destacamos o estudo da Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Essa escolha deve-se ao fato de encontrarmos na literatura de Ensino de Ciências um número razoável de pesquisas que, além de apontarem a importância do tema para a Educação Básica, apresentam resultados do desenvolvimento desse assunto em salas de aula de Ensino Médio.

II. A TRR – um conhecimento construído em rede

O artigo de 1905 escrito por Albert Einstein “A Eletrodinâmica dos corpos em movimento” é muitas vezes apresentado como o trabalho que define simultaneidade, espaço e tempo numa perspectiva nova e contrária ao senso comum e à física da época. Esse artigo realmente apresenta discussões em torno desses concei-

tos, porém não podemos afirmar que seu olhar era totalmente estranho ao mundo acadêmico e cultural de sua época. Debates em torno do tempo, do espaço e da simultaneidade ocupavam a mente de muitos homens, em fins do século XIX, nem todos eles cientistas. (GALISON, 2005). Assim, se queremos trabalhar o conhecimento científico de maneira contextualizada nas aulas em que a TRR for abordada, é preciso desnudar aos alunos quais eram as discussões em torno desses conceitos em fins do século XIX.

No ambiente acadêmico, esses temas estavam relacionados, de certa forma, ao problema do éter e de um referencial absoluto. O éter foi um meio recorrentemente usado ao longo do desenvolvimento científico para dar conta da ação entre dois corpos separados por certa distância. Com a explicação da natureza da luz a partir do modelo ondulatório, considerou-se a existência desse meio para sustentar a propagação das ondas de luz. Apesar da forte aceitação de sua existência, era necessário explicar como o éter interagia com a matéria. Seria ele um meio que penetrava os corpos e era por eles arrastado ao longo de seus movimentos? Ou estaria em repouso absoluto, de forma que os corpos atravessavam o imenso mar de éter? Ou haveria apenas um parcial arrastamento do éter?

O problema do éter foi considerado por vários cientistas do século XIX, dentre eles um merece nossa atenção: Hendrick Lorentz (1853-1928). Ele analisou a questão, considerando que o éter encontrava-se estacionário e em repouso absoluto. Muitos físicos do fim do século XIX acreditavam que, uma vez que o éter tivesse sido compreendido e matematicamente deduzido, haveria uma representação unificada dos fenômenos do calor, da luz, do magnetismo e da eletricidade. Essa unificação era o que consideravam mais importante. Nesse caminho, Lorentz definiu que o éter seria a sede do campo eletromagnético. O átomo era, dentro desse arcabouço teórico, concebido, como alguma modificação do éter onipresente. Essa modificação, entretanto, se propagava de um lugar a outro sem que o meio alterasse sua posição. Os elétrons seriam permeáveis ao éter e cada um se constituía no centro de um campo elétrico e quando em movimento no centro de um campo magnético. O éter penetrava toda a matéria, interagindo eletromagneticamente com ela, dando lugar a fenômenos eletromagnéticos em seu interior. Mas como o éter não se movimentava com a matéria, a velocidade da luz seria independente da velocidade da fonte de luz. Com essa teoria do éter eletromagnético, Lorentz conseguiu explicar fenômenos ópticos e eletromagnéticos até então não relacionados. No trabalho matemático que desenvolveu a respeito do assunto, precisou introduzir uma transformação para o tempo, de forma que este apresentava valor diferente em relação a cada referencial inercial que se movesse relativamente ao éter. Lorentz denominou esse tempo variável de “tempo local” (STACHEL, 2004).

O “tempo local” exposto por Lorentz foi interpretado pelo cientista francês Henri Poincaré (1854-1912) dentro do arcabouço newtoniano, definindo-o como uma medida. O “tempo local” seria aquele marcado por relógios em repouso em relação a referenciais que se encontravam no éter. Esses relógios seriam sincronizados por meio da luz, sem que o movimento do referencial em que se encontrava fosse considerado. (STACHEL, 2004)

III. O tempo em questão

O tempo foi um problema recorrente para Poincaré. Ele estudou na Escola Politécnica de Paris numa época em que a formação dos engenheiros da instituição equilibrava a instrução matemática com a técnico-experimental (tecnológica). Sem abandonar os estudos de matemática, terminou a Escola Politécnica e ingressou na Escola de Minas, em Paris. Seguindo esses passos, Poincaré trabalhou com a matemática enquanto aumentava seu conhecimento sobre as Minas, fazendo com que, em sua trajetória profissional, a abstração da matemática estivesse entrelaçada com problemas concretos de engenharia. Poincaré, ao se referir à Escola Politécnica, dizia que naquela instituição havia um selo de fábrica, os físicos e matemáticos ali formados eram todos um pouco mecânicos. Esse selo de fábrica, definido por Poincaré, o acompanhou durante sua trajetória profissional (GALISON, 2005).

O cientista e filósofo Auguste Calinon (1850-1900) manteve com Poincaré um diálogo em torno das questões científicas e filosóficas da época. Em 1886, Calinon enviou a Poincaré uma cópia de seu trabalho “Estudo Crítico da Mecânica” no qual criticava a ideia de um tempo e espaço absolutos. Para Calinon, o absoluto era inacessível e por isso os homens só poderiam pensar em movimento relativo. Argumentava, ainda, que a própria ideia de tempo era inerente ao modo como nosso cérebro funciona, de forma que a noção de tempo estaria diretamente ligada a mentes, como as dos homens. Poincaré compartilhou de certa forma dessa tese e defendeu que era através das sensações que se constroem as opiniões sobre a simultaneidade ou sobre a sucessividade. Negou, então, qualquer compreensão intuitiva do tempo, da simultaneidade e da duração. Para ele, o conceito de simultaneidade era pura convenção. E, como toda convenção, precisava ser estabelecida e claramente definida. No caso em questão, a definição poderia ser feita, por exemplo, lendo relógios coordenados através da troca de sinais eletromagnéticos.

IV. O tempo e o espaço clássicos em desconstrução

As questões de tempo e espaço ocuparam, na segunda metade do século XIX, a mente de vários cientistas, mas não só deles. A invenção da fotografia, em 1826, está associada a profundas mudanças nas formas de representação pictórica das artes plásticas. Com o novo aparato, o papel social dos pintores se esvaziou. Não era mais preciso que eles registrassem pessoas e cenas cotidianas em telas para que estas fossem eternizadas. A fotografia “copiava” a natureza muito melhor que a pintura. Artistas refletiram sobre o papel da pintura. O movimento impressionista trouxe uma resposta ao destacar que a pintura deveria retratar as impressões do momento. Nesse caminho, Claude Monet (1840-1926) produziu representações pictóricas onde as impressões eram obtidas a partir da conexão do tempo com o espaço. Suas séries de quadros Catedral de Rouen (1892-1893) e Montes de Feno (1891) ilustram sua busca em introduzir o tempo como coordenada fundamental para se definir o espaço, e, portanto, representar uma cena pictórica (SCHLAIM, 1991).

Eduard Manet (1832-1883) e Paul Cezanne (1839-1906), também, são exemplos de pintores que trazem reflexões sobre o espaço, ao retratarem cenas pitorescas ou naturezas mortas em que as regras da perspectiva clássica não são obedecidas. Suas pinturas apresentam objetos que deformam o espaço homogêneo e isotrópico dos quadros renascentistas e o tamanho dos objetos não segue mais as regras da perspectiva clássica (SCHLAIM, 1991).

Nesse contexto, matemáticos, também, colocavam em xeque a representação geométrica espacial dada exclusivamente pelos cinco postulados de Euclides e suas derivações. Em 1773, o italiano Girolamo Saccheri (1667-1733) publicou uma abordagem diferente para o quinto postulado de Euclides. Ao analisar os ângulos de um quadrilátero que possui dois ângulos retos entre a base e os lados, demonstrou que os ângulos do topo devem ser iguais entre si, mas não necessariamente retos. Chamou isso de hipótese do ângulo agudo, hipótese do ângulo reto e hipótese do ângulo obtuso. Saccheri não conseguiu desenvolver soluções satisfatórias para o ângulo agudo, deixando em aberto a questão para outros matemáticos.

As tentativas de provar o postulado de Saccheri foram infrutíferas no século XVIII, havia um novo desafio matemático a ser resolvido. A solução do problema surgiu no século XIX, quando três matemáticos, não simultaneamente, se dedicaram à questão. Karl Friedrich Gauss (1777-1855) foi o primeiro a construir novas interpretações para o quinto postulado. Porém, o reconhecimento da solução foi dado a Janos Bolyai (1802-60) e a Nikolai Lobachevski (1793-1856), que independentemente elaboraram respostas para o problema. Eles pressupuseram postu-

lados diferentes dos de Euclides, apresentando elementos de uma geometria não-euclidiana. Em 1854, o matemático Georg Riemann (1826-66) construiu a segunda forma de uma geometria não-euclidiana, onde desconsiderou a infinitude da reta e admitiu ser ela apenas ilimitada. O espaço pensado por Riemann era esférico, finito e ilimitado, um espaço onde se pode caminhar sem encontrar limite, mas que, por ser possível dar uma volta completa nele, apresenta um fim. Rompia-se, assim, a hegemonia da geometria euclidiana, a única representação espacial válida desde os gregos (EVES, 1995).

As novas concepções espaciais foram divulgadas pelos matemáticos dentro e fora do ambiente acadêmico. Elas tornaram-se, assim, objeto de análise para muitos. Haveria uma geometria verdadeira? Alguns cientistas e filósofos viam a existência de uma geometria não-euclidiana como uma mudança radical na própria definição do que era conhecimento científico. Para eles, essa nova possibilidade de representação espacial quebrava com a ideia de que o conhecimento científico era algo inerente à mente humana e, por isso, de alguma forma alicerçado na intuição. Outros receavam que as novas representações trouxessem à ciência a perda da certeza. Existiam, ainda, aqueles que, como Poincaré, tinham uma visão mais pragmática.

Para Poincaré, apesar da escolha da geometria estar de certa forma guiada pelos fatos experimentais, haveria um certo grau de liberdade na escolha de qual geometria se utilizar. Para ele, a geometria de Euclides deveria ser a escolhida quando fosse compensatório seu uso, caso contrário a escolhida deveria ser a geometria não-euclidiana. Após as escolhas feitas haveria sempre as relações que permaneceriam firmes, inalteradas. Essas relações eram, para ele, o conhecimento capaz de resistir ao tempo.

As novas representações espaciais criadas pela geometria não-euclidiana inquietaram muitos homens. Por exemplo, o escritor russo Dostoyevsky, no período de 1879-1880, escreveu o romance *Os Irmãos Karamazóvi*, no qual traçou um painel da Rússia da época, com seus diferentes homens e mulheres. Numa das passagens desse romance, o autor citou a geometria não euclidiana e sua nova representação espacial como uma das novidades a que o personagem em questão, com a mente mundana, não conseguia compreender. O personagem reflete sobre o assunto:

Ora, existiram e existem ainda geômetras e filósofos, entre os mais notáveis, que duvidam que o universo, ou para falar de modo mais geral, que a realidade esteja submetida inteiramente à geometria euclidiana; ousam até mesmo admitir que duas linhas paralelas (que, segundo Euclides, não po-

dem de maneira nenhuma encontrar-se sobre a Terra) possam se reunir e se reúnam em algum lugar do infinito. Pois eu, paizinho, achei que, se não era capaz de compreender sequer isso, como é que iria compreender Deus? Concordo, humildemente, que não sou capaz de resolver esses problemas; possuindo uma inteligência euclidiana, terrestre, como poderemos resolver o que não pertence a este mundo? (DOSTOIEVSKI, p. 456)

O tempo, o espaço e a simultaneidade ocupavam as mentes de diferentes homens do século XIX. A Europa, na segunda metade desse século, presenciou uma mudança tecnológica tal, que alterou o cotidiano daqueles homens. As comunicações entre as cidades se tornaram mais rápidas, seja pelo advento das ferrovias, seja pelo telégrafo. O trem ganhou grande importância como sistema de transporte entre os locais. Porém, com ele intensificou-se o problema do tempo. Era importante desenvolver técnicas que garantissem o sincronismo das partidas e chegadas dos trens. Para isso, era importante sincronizar os relógios. As cidades possuíam seu tempo local, um tempo próprio. Não havia um tempo universal. Como garantir o movimento dos trens sem esse tempo universal? (GALISON, 2005)

V. A Teoria da Relatividade Restrita no bojo de um cotidiano em transformação

Os cientistas imersos nesse mundo em transformação defrontavam-se com as questões empíricas e teóricas próprias de seus trabalhos. A teoria do éter estacionário apresentada por Lorentz supunha que esse meio preenchia todo o Universo, estando suas diferentes partes em repouso umas em relação a outras. O éter era, assim, o referencial absoluto para a velocidade das ondas eletromagnéticas. Dessa forma, um observador em movimento com velocidade v em relação ao éter mediria como velocidade da luz o valor $v' = c \pm v$ em função de seu movimento em relação ao éter.

No caso de corpos em repouso em relação à Terra, esse cálculo de velocidade relativa também seria válido, pois a Terra atravessava o éter, ou seja, ela encontrava-se em movimento em relação a ele. Essas considerações indicavam ser possível, num experimento realizado na Terra, detectar um “vento de éter”. Esse “vento” apresentaria velocidade v que seria medida a partir da comparação do valor da velocidade da luz detectado na Terra em diferentes direções com o valor c . Assumindo que v é a velocidade orbital da Terra a razão v/c indicava a precisão do experimento realizado.

Experimentos para detectar o éter foram realizados, sendo que, até 1887, os que tinham precisão de primeira ordem (v/c) não haviam conseguido detectar o “vento de éter”. Lorentz, analisando o caso, mostrou que esse tipo de experimento não era apropriado para detectar o éter. Era necessário precisão de segunda ordem (GIANETO, 2007).

Em 1887, Albert Michelson (1852-1931) junto com Edward Morley (1838-1923) haviam realizado um experimento com a precisão de segunda ordem. Como seus resultados eram confiáveis e o “vento de éter” não foi detectado, Lorentz não pôde defender sua teoria sem considerar esse resultado experimental.

O experimento de Michelson e Morley tornou-se um problema para todos aqueles que trabalhavam com o eletromagnetismo, considerando a existência do éter eletromagnético. O físico irlandês George Francis FitzGerald (1851-1901) foi um dos que se dedicou a interpretar os dados experimentais relativos à não detecção do “vento de éter”. Suas análises matemáticas e teóricas o levaram a concluir que o “vento de éter” não era detectável, porque o comprimento do interferômetro sofrera modificação na direção em que tivera movimento relativo ao éter estacionário. Essa modificação indicava, segundo ele, que as forças moleculares eram afetadas pelo movimento do interferômetro em relação ao éter. Construiu equações matemáticas capazes de calcular a contração obtida pelo movimento do corpo em relação ao éter.

Lorentz tomou como certa sua proposta unificadora e a teoria do éter estacionário. Com essas pressuposições, admitiu, independentemente de FitzGerald, que o braço do interferômetro utilizado por Michelson-Morley sofrera uma contração devido ao movimento da Terra através do éter. Essa suposição aparecia em conjunto com as novas transformações para coordenadas espaciais em um referencial em movimento. Elas se diferenciam daquelas propostas por Galileu para a mecânica, mas permitiam conciliar o experimento de Michelson e Morley com a teoria (MARTINS, 2005).

A contração espacial suposta por Lorentz foi apresentada, em 1904, como algo previsto em sua teoria sobre o éter eletromagnético. Para Lorentz, as forças moleculares se transmitiam através do éter, assim como as forças elétricas e magnéticas, de forma que o movimento de translação no éter alterava a ação entre duas moléculas ou dois átomos.

O éter eletromagnético não seria observável e o “vento de éter” não era detectável. Dentro de um contexto cultural em ebulição e de debates científicos em torno da eletrodinâmica dos corpos em movimento, Albert Einstein (1879-1955) discutia problemas da Física.

Para Einstein, a tese de que as ondas eletromagnéticas movimentavam-se num éter em repouso absoluto trazia consigo uma assimetria. A partir dessa teoria, considerava-se que no caso dos fenômenos de indução, a explicação para a produção da corrente elétrica a partir do movimento do fio condutor em relação ao ímã era diferente daquela em que tal produção ocorria a partir do movimento do ímã em relação ao fio condutor. Ou seja, a dois efeitos similares eram atribuídas causas distintas. Uma assimetria parecia estar presente nessa explicação (ARRUDA; VILLANI, 1996).

Albert Einstein, em 1905, encontrava-se fora do ambiente acadêmico, mas nem por isso distante de suas discussões. Como um homem do século XX e funcionário de um instituto de patentes conhecia os problemas técnicos advindos dos novos meios de transporte e comunicação e as novidades das representações pictóricas. Albert Einstein, físico, sabia dos problemas com os quais a Física se defrontava, e, também, das soluções até então apresentadas. Conhecia a proposta de Lorentz, o trabalho de Planck a respeito do corpo negro, o problema experimental referente ao efeito fotoelétrico. Analisando esses problemas, extrapolou para toda a Física o Princípio da Relatividade de Galileu e reconheceu que a assimetria das explicações de indução eletromagnética era oriunda da consideração da existência do éter (PAIS, 1993)

Na mesma época, estudou com mais cuidado o efeito fotoelétrico. O fenômeno em si era conhecido, porém faltava uma teoria que explicasse porque havia uma ddp de corte que dependia da frequência da luz incidente na placa do ânodo. Einstein, utilizando-se da tese de Planck do quanta de ação, conseguiu construir uma explicação coerente para o fenômeno. Ele supôs que a luz era absorvida na placa do ânodo do experimento descontinuamente, de forma que o pacote mais energético seria aquele correspondente à luz de maior frequência. Essa explicação levava-o a considerar uma natureza corpuscular para a luz, um modelo em que o éter não era uma contingência necessária (ARRUDA; VILLANI, 1996).

Todas essas questões eram por ele consideradas fundamentais quando propôs uma nova análise para a eletrodinâmica dos corpos em movimento em que a presença do éter era descartada. Admitiu, então, que o princípio da Relatividade de Galileu deveria ser estendido a todas as leis da Física. Considerou, ainda, ser a velocidade da luz um absoluto e que as medidas do valor dessa velocidade dariam sempre o mesmo valor, independentemente do referencial (EINSTEIN, 1905).

Einstein, ao admitir tais pressupostos, precisou considerar que o espaço e o tempo eram relativos e que as equações de transformação de Galileu, para mudança de referencial, deveriam ser modificadas para serem válidas para toda a Física. As equações de Lorentz eram as mais adequadas para avaliar as

transformações de tempo e de espaço de um referencial para o outro. Nesse caminho, toda a dinâmica newtoniana precisou ser revista.

O entrelaçamento de saberes em torno ao trabalho “A eletrodinâmica dos corpos em movimento” evidencia o quanto problemas não empíricos trazem questões aos cientistas. Questões essas que, muitas vezes, o levam a seguir determinada trajetória na análise dos problemas científicos. Einstein, ao trabalhar no Instituto de Patentes de Berna, conheceu vários aparelhos eletromecânicos criados com o propósito de resolver o problema do sincronismo. O trabalho no Instituto de Patentes o deixou perto dos problemas técnicos de seu tempo, além de fornecer uma linguagem diferente daquela apreendida na academia (GALISON, 2005).

Einstein vivia num ambiente cultural em transformação. As consequências de sua Teoria da Relatividade Restrita impunham um questionamento às concepções de tempo, espaço e simultaneidade do senso comum, mas não estavam desconectadas daquele mundo em ebulição.

Os trabalhos de Einstein e Lorentz destacam-se, assim, dentro de um universo cultural em transformação, onde o cotidiano estava sendo permanentemente modificado por novas obras de arte, motores, geradores e transmissores eletromagnéticos. Nesse contexto, assumir que há problemas na teoria de explicação dos fenômenos eletromagnéticos e resolvê-los sem destruir as equações que lhe dão sustento é algo desejável, mesmo que para isso ideias já estabelecidas como as de tempo e espaço absolutos tenham que cair por terra.

Na contextualização aqui proposta, é possível perceber que Einstein e Lorentz não foram gênios isolados a pensar sobre a ciência. Eles estão inseridos num tempo e espaço específicos e por isso refletem questões colocadas por seu contexto cultural. A ciência que eles produziram não está sendo influenciada pela arte ou pela técnica. As relações entre ciência, arte e técnica são tais que não cabe julgá-las a partir de uma relação estrita de causa e efeito, mas sim como forma de construir um panorama cultural amplo, que ajuda a compreensão dos conhecimentos científicos.

VI. Comentários finais

A discussão contextual relaciona-se ao ensino de ciências ao considerarmos que a conclusão da educação básica deve permitir ao jovem, e, também, ao adulto a compreensão do mundo em que vive, no sentido de reconhecer os problemas de seu tempo e os caminhos já trilhados para solucioná-los. Assim, a introdução de temas de FMC no currículo deve ser feita de forma que

o estudo realizado contribua para o entendimento da cultura do século XX, valorizando o conhecimento científico como forma de compreensão mais profunda da realidade histórica.

Esse olhar para a educação básica mostra que a escolha dos temas de FMC a serem introduzidos na sala de aula de ciências devem tangenciar a preocupação com a compreensão por parte dos alunos da cultura do século XX. Nesse sentido, defendemos que o ensino da TRR é fundamental para a formação básica do jovem. Isso porque o estudo possibilita ao aluno compreender um assunto muito divulgado na mídia e presente, portanto, no imaginário de todos. Em geral, quando estudam TRR, os alunos ficam encantados com o tema em si, mas também espantados com as conclusões finais do assunto. Muitos deles, após o estudo formal, compreendem a necessidade de se construir novas equações de transformações para o tempo e o espaço. Porém, manifestam que a ideia de que tempo e espaço são apenas leituras de relógios e réguas não é algo real. Para eles, aquelas conclusões são fruto da imaginação, pois tudo acontece como estão acostumados, não há mudanças de leituras de relógios e réguas com a mudança de referencial. Acrescentam a isso que Einstein era um lunático, alguém que não tinha o que fazer para pensar naquelas coisas. Enfim, o encantamento que o tema provoca fica no mundo do fantástico.

Essas considerações reforçam nossa tese de que é preciso que o tratamento da TRR se dê a partir de uma abordagem histórico-filosófica contextual, de forma a ultrapassar apresentação matemático-formal do tema. O trabalho contextualizado é uma ferramenta muito importante para que os alunos tenham abertura para o estudo de um conteúdo que traz questões bem diferentes daquelas por eles aprendidas com o senso comum.

A problematização das ideias do senso comum pode ser realizada no momento em que se discute o contexto sócio-cultural da construção da TRR. Isso porque os alunos acabam por perceber que o tempo, o espaço e a simultaneidade eram problemas dos homens que viviam na época de Einstein e que vários personagens antes dele colocaram esses conceitos em xeque e se permitiram pensar em relações para o tempo, espaço e simultaneidade diferentes tanto daquelas classicamente aceitas pelos cientistas, quanto das apontadas pelo senso comum. E que assim Einstein foi um homem de seu tempo e não um gênio louco com ideias mirabolantes. Naquele contexto, encarar que o tempo e o espaço não eram absolutos era uma reivindicação do mundo das artes, da técnica e, também, da ciência. Assim, discutindo o entrelaçamento de saberes em torno da TRR, os alunos percebem que Albert Einstein não construiu uma matemática nova para as relações de tempo e espaço; esta já havia sido reconstruída por homens como Fitzgerald e Lorentz. Mas que, mesmo sem construir as novas equações, ele teve a

sabedoria de estudar os problemas de seu contexto e não se prender a soluções e teorias passadas para construir as respostas às demandas da Física de sua época.

É importante ainda salientar que a defesa de um ensino de ciências contextualizado não pode ser desvinculada da dificuldade em trazermos a discussão do processo de construção do conhecimento científico para a sala de aula. Para que essa abordagem ocorra sem simplificações indevidas, o professor precisa discutir com seus alunos diferentes saberes, tangenciar diferentes áreas do conhecimento. Ou seja, esse professor precisa não apenas possuir um conhecimento profundo dos entrelaçamentos de saberes, como tempo para desenvolver e trabalhar em sala de aula a ciência de forma contextualizada. A formação do professor e a relação tempo x conteúdo no Ensino Médio dificulta esse processo, mas não o inviabiliza.

A contextualização desejada às aulas de ciências pode ser conseguida a partir do efetivo diálogo com as outras áreas do conhecimento. Os professores de ciências, em parceria com os de Filosofia, Artes, História, Literatura podem construir uma rede capaz de trazer ao ensino de ciências um olhar mais abrangente e catalisador para o conhecimento. E, assim, proporcionar uma educação científica que ultrapasse a resolução de algoritmos e ganhe significado na formação cultural desse aluno.

Referências

ARRIASSECQ, I.; GRECA, I. Enseñanza de la teoría de la relatividad especial em el ciclo polimodal: dificultades manifestadas por los docentes y textos de uso habitual. **Revista Electronica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 3, n. 2, 2004.

ARRUDA, S. M.; VILLANI, A. Sobre as Origens da Relatividade Especial: relações entre quanta e relatividade em 1905. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 13, n. 1, p. 32-47, abr. 1996.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogmática-instrumental do ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 507-522, dez. 2008.

BRAGA, M. A **Nova Paidéia**. Rio de Janeiro: e-papers Editora, 2000. 143 p.

DOSTOIEVSKI, F. M. **Os Irmãos Karamázovi**. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1955. 1352 p.

EINSTEIN, A. Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento. In: **Textos Fundamentais da Física Moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1989. 279 p.

EVES, H. **Introdução à História da Matemática**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1995. 843 p.

FLECK, L. **La génesis y el desarrollo de um hecho científico**: introducción a la teoría del estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento. Madrid: Alianza Editorial, 1986. 200p.

GALISON, P. **Os relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré** – impérios do tempo. Lisboa: Gradiva, 2005. 397 p.

GIANETTO, E. R. A. The electromagnetic conception of nature at the root of the special and general relativity theories and its revolutionary meaning. **Science&Education**, v. 18, n. 6-7, p. 765-781, jun 2009.

GUERRA, A.; Braga, M. A.; REIS, J. C. Teoria da Relatividade restrita e Geral no programa de mecânica do Ensino Médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 575-583, dez. 2007.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA D. Tempo relativístico no início do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 373-386, set. 2006.

KÖHNLEIN, J. F. K.; PEDUZZI, L. O. Q. Uma discussão sobre a natureza da ciência no Ensino Médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 36-70, abr. 2005.

MACHADO, D. J. E.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 473-485, dez. 2006.

MARTINS, R. A Dinâmica antes de Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 11-26, 2005.

OSTERMAN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 23-48, jan. 2000.

_____ Atualização do currículo de Física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, ago. 2001.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade Restrita no Ensino Médio: contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, 2002.

_____ Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 9-35, 2005.

PAIS, A. **Subtil é o Senhor** – vida e pensamento de Albert Einstein. Lisboa: Gradiva, 1993. 655 p.

SHLAIN, L. **Art & Physics: Parallel Visions in Space, Time & Light**. New York: Quill William Morrow, 1991. 480p.

STACHEL, J. 1905 e tudo o mais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 5-9, mar. 2005.

THUILLIER, P. O Contexto Cultural da Ciência. **Ciência Hoje**. Rio de Janeiro, v. 9, n. 50, p. 18-23.

TERRAZAN, E. 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.