

O ESQUEMA DE MOVIMENTO COMO ORGANIZADOR DA AÇÃO EM MECÂNICA CLÁSSICA E RELATIVÍSTICA

Scheme of motion as an action organizer in both classical and relativistic mechanics

Gabriel Dias de Carvalho Junior [gcarvalho@ufv.br]

Departamento de Educação - Universidade Federal de Viçosa

Avenida Purdue, S/N – Campus Universitário

36570-900 – Viçosa - MG

Resumo

O presente trabalho relata a utilização do conceito de esquema como uma das referências para análise do processo de significação do tempo relativo. Ele se coloca dentro de uma perspectiva atual que discute a inclusão de temas de Física Moderna no ensino médio, investigando as condições para que tal inclusão possa ocorrer. Para tanto, foi produzida uma sequência didática apoiada na transição entre os conceitos-chave da Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade, onde um dos pontos centrais era a discussão sobre a influência do referencial no estudo dos movimentos. As atividades de pesquisa duraram 16 horas-aulas em uma escola de terceira série do ensino médio e foram bastante diversificadas. Analisamos, neste trabalho, episódios de interação verbal e atividades escritas dos estudantes ligados ao conceito de referencial e a influência sobre a noção de tempo relativo. Foram identificados diferentes conteúdos epistêmicos nos esquemas de movimento e de tempo dos estudantes. Concluímos nossa pesquisa com a indicação de que pode ocorrer uma assimilação recíproca entre os esquemas de tempo e de movimento.

Palavras-chave: esquema; invariantes operatórios; sujeito em situação; movimento; tempo.

Abstract

This paper reports our appropriation of the concept of scheme as one of the references for the analysis on the relative time process of signification. It has taken place within a current perspective that discusses the inclusion of modern physics in Brazilian high school, by the investigation of what are the conditions for such inclusion may occur. To do this, a didactic sequence was written placed in the transition between key concepts of classical mechanics and the theory of relativity, where one of the central points was the discussion on the influence of a frame of reference in the study of the movements. The research activities lasted 16 hours in a third grade high school and were quite diverse. We analyzed, in this work, episodes of verbal interaction and students written activities related to the concept of frame of reference and its relationship with relative time. It has been identified different epistemic content in the student's scheme of movement. We conclude our research by the indication that there may be a reciprocal assimilation between time and motion schemes.

Keywords: Scheme; operational invariants; subject in action; motion; time.

Introdução

Este trabalho apresenta a utilização do conceito de esquema na análise de episódios de interação entre professor, pesquisador e estudantes. Esses episódios ocorreram ao longo da aplicação de uma sequência de ensino em uma classe da terceira série do Ensino Integrado de um Instituto Federal localizado em uma cidade do interior de Minas Gerais. A sequência de ensino, conduzida durante 16 horas-aula, versava sobre a transição entre a Mecânica Clássica (MC) e a Teoria da Relatividade Restrita (TRR). Ela foi aplicada em uma turma de terceira série do ensino médio integrado com 16 alunos.

Queríamos investigar de que maneira os estudantes constroem significação para o tempo relativo (Einstein, 2011), sendo que o objetivo geral era justamente o de acompanhar as trajetórias cognitivas dos estudantes quando estes estudavam a transição entre os modelos clássicos e relativísticos para a Mecânica.

Nesse sentido, fizemos um levantamento sobre trabalhos que, de alguma maneira, tratavam das noções de tempo e de referencial. O primeiro trabalho a ser considerado foi o realizado por Saltiel e Megrange (1979) que apresenta uma conclusão ligada à escolha de referenciais por parte dos sujeitos para estudar movimentos. Nesse trabalho, as autoras indicam que a Terra funciona, para os sujeitos, como uma espécie de referencial privilegiado, em relação ao qual são definidos os estados de movimento e de repouso.

Em recente trabalho focado sobre a construção de um perfil conceitual para Referencial, Ayala Filho (2010), aborda o deslocamento do perfil de estudantes do ensino médio quando do estudo de mecânica clássica e da relatividade. O autor constrói as diferentes zonas do citado perfil que evoluem desde noções ligadas a uma visão egocêntrica até à visão relativística, além de identificar os pontos que podem ser possíveis obstáculos à compreensão do conceito científico de referencial.

Arrigasecq e Greca (2006, 2012) apresentam resultados da condução de uma sequência de ensino contextualizada baseada na TRR. Para as autoras, as noções de tempo e de espaço são essenciais nesse estudo e devem ser tematizadas no sentido de se evitar a atribuição errônea de seus significados dentro da TRR. A conclusão geral é a de que possível ensinar TRR no ensino médio, o que trás um ganho de compreensão mais profunda para os estudantes em relação não somente da teoria em si, mas da maneira com se produz e valida o conhecimento científico. No entanto, esse tipo de abordagem pode não estar ao alcance de todos os professores por conta de alguns problemas em sua formação inicial.

Uma possível resposta a essa necessidade começou a ser desenhada, em sua tese de doutorado, por Rezende Jr. (2006). O autor explorou a compreensão sobre a TRR em estudantes de licenciatura em Física. Nesse âmbito, Rezende Jr. estuda os elementos essenciais – teóricos e metodológicos – para a formação de professores capazes de apresentar a TRR no ensino médio como um corpo de conhecimentos relevante para o diálogo com os modos de se validar o conhecimento científico.

A partir de um referencial teórico que pretende ressignificar o movimento de mudança conceitual, o trabalho de Levrini e diSessa (2008) procura discutir a apropriação do conceito de tempo próprio por adolescentes. Para isso, ao invés de investir no modelo clássico de mudança conceitual, os autores utilizam o conceito de classes de coordenação para classificar as formas de pensamento e os níveis de apropriação do conceito a partir de atividades de intervenção didática.

Uma abordagem mais geral sobre o tempo como um conceito foi feita por Martins (2007), que pesquisou como se estrutura tal conceito a partir de considerações ligadas à noção bachelardiana de perfil epistemológico. Nessa obra, o autor discute as diversas zonas do perfil de

tempo, desde aquelas mais ligadas a uma noção pessoal de tempo, com forte conotação egocêntrica, até formulações ligadas à noção moderna de tempo, seja na TRR ou na Física Quântica.

Também explorando o conceito de perfil conceitual, Karan, Cruz e Coimbra (2006), estudam as condições para que seja possível implementar o estudo sobre a TRR no ensino médio brasileiro. Os autores buscam, mesmo que de forma inicial, um diálogo entre a teoria de equilíbrio de Piaget e alguns elementos da psicologia sociocultural de Vigotski para propor que seria interessante do ponto de vista didático que a FMC fosse apresentada ao longo dos três anos do ensino médio para que houvesse uma compreensão mais completa de conceitos-chave da Física.

Köhnlein & Peduzzi (2005) também procuram investigar as possibilidades de intervenção didática ligada à TRR. No entanto, o caminho escolhido foi o de uma discussão ligada à natureza da ciência e ao aspecto histórico ligado ao surgimento da TRR. Nesse sentido, os autores relatam uma interessante experiência de inserção desse campo conceitual em uma classe terminal do Ensino Médio em Santa Catarina a partir de um módulo didático escrito especialmente para esse fim.

Ainda nesse viés didático, Santos (2006) relata uma estratégia de apresentação e de discussão dos fenômenos da dilatação temporal e da contração espacial baseada em diagramas. O autor defende a ideia de que esses fenômenos são de difícil compreensão por parte dos estudantes e que a utilização de diagramas poderia ajuda-los na construção de representações e, com isso, facilitar o aprendizado.

Esses trabalhos, apesar de apresentarem discussões pertinentes para a área, não examinaram de que maneira determinado estudante percebe as alterações do estatuto epistemológico de algumas ideias-chave da Física na fronteira entre dois campos conceituais distintos. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma parte da pesquisa realizada com esse fim.

Tínhamos uma preocupação em discutir se a MC funciona, para os sujeitos, como um patamar necessário para a compreensão da TRR, sem o qual um dado sujeito não reconhece o modelo relativístico como uma possível fonte de desestabilização e, portanto, não conduz ao aprendizado desta. Ou, pelo contrário, se os modelos e conceitos apresentados pela MC competem fortemente com os da TRR a ponto de serem obstáculos ao aprendizado desta.

A TRR é um campo conceitual que rompe com diversos pressupostos da MC, como o caráter absoluto do espaço, do tempo e da massa. A investigação conduzida na fronteira entre esses dois campos pode ser, portanto, frutífera por revelar formas de pensar e de agir dos estudantes em situações que exigem um alto nível de abstração.

Por se tratar de uma teoria complexa e multifacetada, é necessário que se façam recortes no objeto, no sentido de se investigar o aspecto ligado à elaboração do tempo relativo. Esse recorte é possível por diversas razões, dentre as quais se destacam duas. Em primeiro lugar, a construção do tempo relativo no âmbito da TRR é uma previsão teórica conduzida a partir dos postulados e, como tal, possui o mesmo estatuto epistemológico de outros efeitos como a contração espacial. Em segundo lugar, como indica Balibar (2001), a noção de tempo absoluto possui um estatuto ontológico mais forte do que as outras noções tratadas na TRR, uma vez que tal noção é considerada como absoluta em dois sentidos: (1) como uma grandeza que não interage com qualquer outra e (2) como uma grandeza cuja medida não depende do referencial utilizado.

Portanto, a transição entre as noções de tempo físico nos dois campos conceituais fornece mais elementos de análise para esta pesquisa e necessita de uma articulação entre o tempo, espaço e velocidade. Fixando o foco da análise na noção de tempo, pode-se, portanto, construir um instrumento de pesquisa que resgate os conceitos chave da MC ligados ao movimento (referencial, espaço, velocidade) e que parta deles para investigar o papel que cumprem na construção das relações conceituais da TRR.

Um dos passos importantes dessa pesquisa, então, foi a discussão sobre o movimento como uma noção relativa no sentido de se criar condições para a discussão sobre o tempo relativo. Por isso a nossa atenção voltada, no início das atividades de pesquisa, para a discussão acerca do conceito de referencial. Esse será o foco deste trabalho.

A organização da sequência didática utilizada partiu de uma discussão a respeito da influência da escolha de um referencial no estudo do movimento e como tal escolha é arbitrária. Em seguida, o professor apresentou a primeira lei de Newton, que trata de referenciais sem aceleração, como a base para toda a construção da mecânica newtoniana. Após mostrar que as leis da mecânica não se alteram em referenciais sem aceleração, o professor apresentou alguns paradoxos entre a mecânica clássica e o eletromagnetismo. Essas contradições foram o ponto de partida para o estudo da teoria da relatividade e de suas consequências. Foi nesse momento que o professor iniciou a apresentação do conceito de tempo relativo e da relatividade da simultaneidade. Após esse estudo, ainda foram trabalhados as noções de espaço relativo, energia e massa relativística, sem, no entanto, analisarmos as produções dos estudantes do ponto de vista da pesquisa.

A análise aqui apresentada está focada na validade de se utilizar a noção de tempo como um esquema e investigar a assimilação recíproca entre ele e o de movimento, um dos achados de nossa pesquisa. Para isso, apresentaremos o conceito de esquema por nós adotado e faremos a articulação entre tal conceito e os episódios da pesquisa para embasar nossas análises e conclusões.

O conceito de esquema em Piaget

O conceito de esquema que será utilizado para o desenvolvimento deste trabalho está associado àquele apresentado por Piaget em *“Biologie et Connaissance”*. A escolha desse conceito deve-se ao fato de que ele aglutina em si toda a complexidade e operacionalidade do sujeito em situação, nosso foco de estudo.

Tal conceito está assim redigido:

Nos chamaremos de esquemas de ação o que, em uma ação, é transportável, generalizável ou diferenciável de uma situação à seguinte, ou seja, o que há de comum às diversas repetições ou aplicações da mesma ação. (Piaget, 1967b, p. 16)

Na definição apresentada por Piaget, percebem-se três características principais para os esquemas.

Em primeiro lugar, um esquema é orientado a uma classe de situações mais ou menos semelhantes pois, somente dessa maneira, será possível generalizar alguma ação. Não haveria esquema sem a existência de situações para dar conta delas. Ou, dizendo de outra maneira, os processos filogenético e ontogenético de constituição dos esquemas pressupõem a interação sujeito-objeto, ou esquema-situação, como defendem Vergnaud & Récopé (2010).

Em segundo lugar, os esquemas estão ligados ao que se repete na aplicação da ação. Antes de se referir a um automatismo, essa afirmação está ligada à ideia de que o exercício da assimilação (e, portanto, a maneira mesmo como um sujeito conhece os objetos, interpretando-os) só é possível a partir da existência de regularidades na ação. Nesse sentido, não é a ação em si que deve ser considerada como sempre a mesma como pode, às vezes, sugerir a ideia de repetição. Piaget dizia, nesse sentido, que “os esquemas são como um sumário das ações susceptíveis de serem repetidas ativamente” (1947, p. 28). A ideia da repetição é a da maneira pela qual o sujeito prepara a ação, não da ação propriamente dita.

Por fim e por causa das duas outras características já citadas, os esquemas são processos que possuem uma organização interna, própria para cada um deles. Esse processo deve possuir,

então, determinada sequência de passos que caracteriza cada tipo de esquema e um conteúdo que dá o contexto para o desenrolar da ação.

As ações se generalizam sob a forma de 'esquemas' cuja organização se cristaliza sob forma relativamente constante, e esta constância relativa dos esquemas se traduz pela construção de invariantes sobre o real, como o esquema do objeto permanente, que postula a existência de substâncias sob os quadros perceptivos. (Piaget, 1967b, p. 176)

O fato de haver um processo organizado que caracteriza o esquema não deve, como muito bem sinaliza Cellérier (1979, p. 108), ser um indicativo de uma redução deste a um mero procedimento ou a um algoritmo. O esquema pode se adaptar às contingências das situações a partir da dupla dialética de assimilação e acomodação e pode, como assinala Vergnaud (2012), se orientar para a construção de inferências.

O conceito de esquema em Vergnaud

Em Vergnaud, esquema é visto como uma organização invariante da atividade para uma dada classe de situações. Assim, ele deve ser entendido, na Teoria dos Campos Conceituais (TCC), como uma totalidade dinâmica e funcional, em que seus elementos constituintes trabalham sempre de forma solidária. Dessa definição, resulta uma importante relação: a construção e o desenvolvimento de esquemas é um processo profundamente dependente das situações.

Assim, é possível perceber a filiação de Vergnaud às ideias de Piaget, uma vez que o conceito de esquema continua a apresentar as características de um processo orientado às situações e que possui uma organização interna específica. No entanto, em Piaget, a dimensão conceitual não era tematizada, apesar de ser essencial. Nesse aspecto, pode-se entender que Vergnaud avança ao propor que há uma base conceitual implícita – os Invariantes Operatórios – em toda ação inteligente do sujeito.

Mais precisamente, <o esquema> é uma organização invariante da atividade para uma classe de situações definida. A invariância caracteriza a organização, não a atividade; o esquema não é um estereótipo; ele permite, ao contrário, tratar as contingências e as novidades, o que não seria o caso se se tratasse de um estereótipo. Se endereçando a uma classe de situações, é um universal. Para estudar a atividade dos indivíduos é, então, necessário identificar as diferentes categorias de situações com as quais eles são confrontados. (Vergnaud, 2012).

Vergnaud retoma uma importante tese piagetiana segundo a qual o conhecimento (ou a inteligência) é adaptação. Essa importante ideia necessita, no entanto, de maior aprofundamento no sentido de torná-la operacional. Nesse sentido, há duas perguntas centrais que devem ser respondidas: quem é que se adapta? E se adapta a que?

A resposta mais imediata poderia ser “o sujeito se adapta ao objeto e este àquele”, como ocorre em Piaget. Mas, há, ainda, a necessidade de saber o que do sujeito e do objeto que se adaptam. Vergnaud indica, nesse contexto, que são os esquemas que se adaptam às situações. Nesse sentido, a interação sujeito-objeto passa a ser indicada, no âmbito da TCC, como sendo uma interação esquema-situação.

Como um esquema é voltado para uma classe de situações, é possível que, ao abordar determinado problema, o sujeito tenha que adaptá-lo às características encontradas. Isso provoca não somente uma alteração estrutural no esquema, mas também modificações no objeto assimilado. Por isso, a interação esquema-situação fornece a base para múltiplas influências entre o sujeito e o objeto.

Na obra de Vergnaud, os esquemas, como a base do funcionamento cognitivo do sujeito psicológico, devem abarcar, entre outras características, os invariantes operatórios, algo que, se não é negado por Piaget, também não é tematizado. Somente dessa forma, o ciclo das ações do sujeito

pode comportar uma dimensão conceitual que o permitirá reconhecer os elementos pertinentes e operar com eles em ação. Além disso, essa necessidade da inserção de elementos conceituais ao conceito de esquema ajuda a explicar o fato de que, quanto mais avançados no processo de desenvolvimento cognitivo, maior é a diversidade entre os esquemas encontrados e as maneiras pelas quais determinado sujeito age em situação.

Por se tratar de uma teoria que se volta para o sujeito em ação, a TCC – modelo teórico proposto por Vergnaud para explicar o sujeito em situação – procura entender as maneiras que permitem a abordagem e o manejo satisfatório de situações.

A tese central aqui é a de que cada situação incita, no aprendiz, a utilização de um conjunto próprio de esquemas e de conhecimentos e que, portanto, possibilita o desenvolvimento de novos esquemas, de habilidades e de novos conceitos que estão contidos em um determinado campo conceitual. Nesse sentido, é necessário que os sujeitos reconheçam nas situações algo passível de ser manejado e que eles possam estabelecer “pontes” ou construir relações com os conceitos provisoriamente estabilizados.

Por isso, sujeitos devem compartilhar algo com a esfera social dos conceitos em um dado campo conceitual, de modo a ser iniciado em suas práticas. Essas construções pessoais são utilizadas em ação pelo sujeito e devem estar, também, disponíveis no domínio cultural como uma série de proposições, relações e significados. Elas são considerados como a ligação entre os domínios subjetivo e cultural pois tanto o sujeito está imerso no domínio cultural quanto a cultura está “encarnada” nos sujeitos. Na TCC, essas formulações recebem o nome de Invariantes Operatórios (IO) e possuem duas categorias: os conceitos-em-ação (CEA) e os teoremas-em-ação (TEA)¹.

Essas duas categorias dos IO somente são bem diferenciadas em relação ao papel que cumprem no processo de conceitualização a partir da análise de duas instâncias: a pertinência e a veracidade. Em primeiro lugar, é importante frisar que, na TCC, o processo de conceitualização é ativado pela interação com os elementos das situações e os sujeitos são ativos em seu reconhecimento e operação. Nas palavras de Vergnaud (2013), “o processo de conceitualização é profundamente oportunista porque ele se vale de todas as situações para ocorrer” .

Nesse processo, há duas instâncias que se combinam na ação dos sujeitos. O primeiro pertence ao domínio relacional e pode ser considerado como verdadeiro ou falso a partir da comparação com algum quadro teórico; o segundo nunca poderá ser considerado verdadeiro ou falso, visto que não se vale de proposições ou relações sobre o mundo físico, possuindo, portanto, o estatuto de pertinente ou não-pertinente para a situação que está sendo proposta². Os conceitos tidos como pertinentes pelo sujeito em ação são chamados de conceitos-em-ação e, portanto, não possuem o estatuto de “falso” ou “verdadeiro”, mas de “pertinente” ou “não pertinente”. As proposições construídas com os conceitos e que são tidas como verdadeiras pelo sujeito em ação são chamadas de teoremas-em-ação. Essas duas categorias variam entre os sujeitos e, para um mesmo sujeito, variam de uma ação à outra, em função do que é tomado como pertinente ou verdadeiro.

Percebe-se, portanto, que a maneira pela qual Vergnaud apresenta e utiliza o conceito de esquema guarda semelhanças com a concepção de Piaget. Em primeiro lugar, em ambos os autores percebe-se a ideia de que há algo, no funcionamento cognitivo do sujeito, responsável pela

¹ Em alguns dos escritos de Vergnaud, o autor utiliza o termo “conhecimentos-em-ação” como sinônimo de invariantes operatórios.

² Essas ideias de pertinência e correção são inspiradas no trabalho do lógico Bertrand Russel sobre funções proposicionais e proposições. RUSSELL, B. *Introduction à la philosophie mathématique*. Paris : Payot. 1991.

organização da atividade. Isso significa dizer que, em todos os níveis do desenvolvimento, há uma regulação da ação dos sujeitos.

Outra característica em comum entre os dois autores diz respeito ao fato de que os esquemas possuem uma orientação específica a uma classe de situações, mesmo que o termo “classe de situações” possa ser algo que possua uma elasticidade suficiente para se adequar à descrição dos esquemas que cada autor queira. Essa orientação às situações revela-se, principalmente, pela repetição de certa sequência de ações a elas adaptadas.

No entanto, Piaget se interessou mais na construção de um modelo de desenvolvimento para os esquemas, sobretudo no que diz respeito aos primeiros anos de vida dos sujeitos. Nesse momento, a dimensão conceitual não é tematizada por Piaget, tampouco a capacidade de gerar inferências, mesmo sabendo que o autor não exclui essas possibilidades. Por exemplo, no esquema de objeto permanente, percebe-se a inferência sobre a existência dos objetos, mesmo que estes estejam fora do campo perceptual da criança.

O esquema de Vergnaud é uma peça central da ação do sujeito. As características de organização da ação e de ser um ciclo de transformações são claramente derivadas da noção piagetiana. Por outro lado, o maior detalhamento das dimensões que compõem um esquema e a atenção aos domínios conceituais específicos representam uma diferença fundamental entre os dois autores.

Nesse sentido, o domínio dos invariantes operatórios, utilizado por Vergnaud em sua análise sobre os esquemas revela, na nossa avaliação, a maior diferença em relação a Piaget, sem, no entanto, romper com a tradição piagetiana. É possível dizer que a descrição dos invariantes operatórios e o estabelecimento de seu mecanismo de ação representa o que Vergnaud mais avança em relação à análise mais específica da atividade do sujeito em domínios específicos do saber.

Trabalhos importantes sobre a formação da noção de tempo

a. A noção de tempo como um esquema

A primeira das posições teóricas está relacionada com a produção da escola de Genebra sobre a noção de tempo. São várias as obras que exploram essa noção e diversos os aspectos estudados. Três obras, em particular, apresentam elementos importantes para o interesse aqui em foco.

A primeira obra foi a pesquisa realizada por Piaget, a partir de uma sugestão de Einstein, que está sintetizada em “*Le développement de la notion de temps chez l’enfant*” (Piaget, 1973/1946). A segunda obra representa a consolidação de um conjunto de pesquisas sobre o tempo sob os números XX e XXI do anuário dos estudos sobre epistemologia genética, que receberam, respectivamente, os nomes de “*L’épistémologie du temps*” (Piaget, 1966) e “*Perception et notion de temps*” (Piaget, 1967c). A terceira, bem mais recente, foi um estudo sobre a correlação entre a noção de tempo e a causalidade em crianças, conduzida por Ducret, Saada e Janet (2008). Esse trabalho possui uma orientação fortemente piagetiana, e foi realizada no âmbito do departamento de instrução de Genebra - Suíça e apresenta conclusões muito próximas dos estudos realizados por Piaget.

A questão central do primeiro trabalho é a investigação se “a intuição subjetiva do tempo é primitiva ou derivada e, desde a partida, solidária ou não à de velocidade” (Piaget, 1973/1946, p. 2). Assim, Piaget pretende investigar se a noção de tempo é uma entidade própria, independente dos conceitos de espaço e velocidade e, de certa forma, blindada de influências culturais. Ou, se ao contrário, essa noção é construída em coordenação com as noções de espaço e/ou velocidade.

Nesse sentido, Piaget já apresenta, desde o início da obra, sua posição acerca dessa pergunta, afirmando que

“O tempo é a coordenação dos movimentos: que se trate de deslocamentos clássicos ou movimentos no espaço, ou dos movimentos internos que são as ações simplesmente esboçadas, antecipadas ou reconstituídas pela memória, mas às quais o resultado é também espacial, o tempo desempenha da sua parte a mesma função que o espaço com relação aos objetos imóveis.” (Piaget, 1973/1946, p. 2)

Para Piaget, as operações temporais derivam das condutas pré-operatórias e o tempo não é outra coisa que a organização desse conjunto de operações. Mas o tempo não se reduz a uma relação simples. Ele mostra uma multiplicidade de funções progressivamente coordenadas e engloba, pouco a pouco, a velocidade como função inversa, no sentido de que quanto mais rápido um movimento, menor o tempo necessário para que ele ocorra (Piaget, 1966, p. 55)³.

As conclusões mais significativas desses trabalhos apontam para o fato de que não se pode falar sobre uma noção de tempo como dissociada das situações e de outros conceitos, principalmente do conceito de velocidade. Piaget afirma haver um tempo operatório, associado aos intervalos de tempo e à noção de sucessão. Esse tempo desenvolve-se de maneira análoga às operações lógicas e está em estreita conexão com a noção de velocidade. Sobre essa relação entre tempo e velocidade, o autor ainda afirma que

A construção do tempo começa quando diferentes velocidades são comparadas entre elas, velocidades das atividades humanas como movimentos materiais, e tal construção termina com a coordenação dessas velocidades: a noção de tempo e de velocidade são, então, correlatas. (Piaget, 1973/1946, p. 269)

Ao afirmar isso, Piaget conduz sua argumentação para concluir que o tempo é um esquema, que vai se formando e se diferenciando ao longo do desenvolvimento do sujeito a partir do enfrentamento das diversas situações a que um sujeito fica exposto. Essa é uma posição que confere ao tempo uma natureza operatória de grande relevância, pois abriga sobre ela um conjunto de conceitos, de relações e de modos de ação para a classe de situações que envolvem noções temporais.

Dessa forma, Piaget conclui sua pesquisa dizendo que o tempo não pertence à categoria das “formas a priori da sensibilidade” como pensava Kant. Pelo contrário, é necessário, como ocorre na constituição de todo esquema, que se desenvolvam as estruturas de reversibilidade para que ele possa agir em plenitude.

Por fim, Piaget discute brevemente a possibilidade de ampliar suas conclusões para o domínio relativístico. Nesse sentido, ele afirma que

O tempo relativístico é, somente, a extensão a grandes velocidades de um princípio válido desde os estados os primitivos da formação do tempo físico e psicológico, a partir da gênese do tempo em crianças pequenas. (Piaget, 1973/1946, p. 298)

As críticas existentes atualmente sobre esse trabalho de Piaget são colocadas em diversos pontos e foram muito bem sumarizadas por Roazzi & Castro Filho (2001). É possível perceber, nessas críticas, tanto posicionamentos contrários ao método experimental utilizado por Piaget quanto questionamentos sobre a generalidade das conclusões. Mas, em nenhum dos trabalhos citados pelos autores houve o questionamento da noção de tempo como um esquema.

³ Nos dois volumes citados, a interpretação das pesquisas conduzidas em crianças muito jovens revela que a primeira relação estabelecida entre tempo e velocidade é direta, ou seja, crianças no período pré-operatório tendem a estabelecer a noção de que quanto mais rápido, maior o tempo gasto.

b. A noção de tempo como um conceito

Em seu trabalho sobre a constituição do tempo físico, Martins (2007) considerou o tempo como um conceito e teve como objetivo compreender como os estudantes dos ensinos fundamental e médio constroem tal conceito. O contexto da pesquisa de Martins é mais restrito do que o que fez a escola de Genebra, uma vez que ele investigou somente a construção do conceito de tempo físico.

A referência teórica do trabalho foi a Epistemologia de Bachelard, onde o autor aprofunda a noção de Perfil Epistemológico para o tempo. A pesquisa de Martins é notável no que diz respeito à profundidade da abordagem conceitual e da análise histórica das noções de tempo. Nesse sentido, o autor estabeleceu uma cronologia das concepções sobre o tempo desde os gregos até os estudos sobre a teoria da relatividade e a Física quântica no sentido de se identificar as zonas do perfil epistemológico para o conceito considerado.

A proposta de Martins era estabelecer tal perfil epistemológico e ele o fez apoiando-se em quatro diferentes zonas, que são, grosso modo, tanto as categorias que podem acessar os sujeitos quando da resolução de problemas quanto categorias indicativas de um paradigma do pensamento científico em diversas eras da história das ciências. Essas categorias são: o realismo ingênuo (noção subjetiva de tempo e marcada pelo egocentrismo), o empirismo (o tempo como uma grandeza passível de medição de forma unívoca), o racionalismo tradicional (o tempo como um parâmetro matemático abstrato) e o surracionalismo (a visão moderna sobre o tempo).

Um dos pontos que o trabalho de Martins acrescenta à discussão sobre o tempo é a possibilidade de se estabelecerem paralelos entre o desenvolvimento histórico e pessoal das concepções sobre o tempo (Martins, 2007, p. 246). Nesse sentido, o autor trabalha com o conceito de tempo em uma perspectiva cultural que Piaget e a escola de Genebra não haviam feito.

Algumas das conclusões desse trabalho se aproximam daquelas obtidas por Piaget nos trabalhos citados anteriormente. Ou seja, há uma rota genética para a construção da noção de tempo que se faz pela coordenação entre as outras noções importantes de espaço e velocidade. Além disso, as categorias apresentadas por Martins revelam um crescimento progressivo no nível de abstração, em que cada categoria, de certa forma, engloba a(s) anterior(es) em um processo recursivo de significação.

Em outro trabalho, Silva Junior, Tenório e Bastos (2007) também utilizaram o referencial bachelardiano dos perfis epistemológicos para caracterizar o conceito de tempo. No entanto, o foco do trabalho desses autores difere daquele apresentado por Martins. Para esses autores, a preocupação era a de estudar o tempo dentro de um contexto ligado às representações sociais, ligado ao trabalho de Serge Moscovici e, portanto, um pouco mais afastado do interesse em se estudar o tempo como variável física ligada aos movimentos.

O tempo físico como um conceito ainda foi estudado em Balibar (1988), Einstein (2009), Einstein & Infeld (2008), Menezes (2005) e Whitrow (1993). Nessas obras, há uma discussão centrada no tempo físico como uma variável ligada ao movimento. Nesse sentido, é possível estabelecer a forma como ocorreu a mudança de estatuto epistemológico para o tempo da MC para a TRR.

Consideramos que a relevância dessas pesquisas está em abordar, do ponto de vista da construção de conceitos, as formas de compreensão sobre o tempo. O estudo realizado por Martins com várias faixas etárias distintas permite não só a identificação das zonas do perfil epistemológico de cada estudante, mas também a análise de um desenvolvimento ontogenético e filogenético da noção de tempo.

Defendemos a ideia de que as duas concepções podem ser compatibilizadas a partir do conceito de esquema em Vergnaud. A existência de um esquema de tempo, associado a um conjunto de situações (avaliação de velocidades, distâncias, durações, por exemplo) e conceitos (frequência, durações de eventos, instante, velocidade, por exemplo) se coloca a partir da necessidade de uma organização das ações nessa área.

Esse esquema de tempo possui diferentes conjuntos de conteúdos epistêmicos em cada sujeito que podem ser utilizados a partir daquilo que cada um percebe como pertinente na situação enfrentada. Esses conjuntos de conteúdos epistêmicos – os invariantes operatórios – são a base pessoal para que Martins identificou como as zonas do perfil epistemológico de tempo.

Nesse sentido, a utilização do tempo como um esquema que organiza as ações do sujeito e que funciona de maneira solidária ao esquema de movimento nos pareceu mais adequada para a análise do sujeito em situação e, também por isso, ocorreu nossa filiação à TCC como referencial teórico para a pesquisa.

Metodologia de pesquisa

c. Local e sujeitos da pesquisa

A pesquisa foi realizada em setembro de 2011 com estudantes da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública federal do interior do estado de Minas Gerais. Por se tratar de uma escola pública federal única na região, há uma grande concorrência nos exames de seleção. No início do Ensino Médio, as turmas estão sempre cheias, com mais do que a capacidade das salas de aula (40 alunos). Por causa de reprovações e de abandonos, as turmas da terceira série são muito mais vazias. A turma acompanhada nesta pesquisa tinha, quando da realização da pesquisa, 12 alunos, dos quais apenas 9 eram regularmente frequentes.

Os alunos que participaram dessa pesquisa, quando cursavam a primeira série do ensino médio, estudaram Mecânica a partir de uma sequência de trabalho pouco convencional. A abordagem feita privilegiava a discussão dos pontos centrais de cada modelo teórico em detrimento de um estudo exaustivo dos conceitos considerados mais “periféricos” e de suas formulações matemáticas.

Dessa forma, a Cinemática não foi ensinada separadamente, como é comum nas escolas brasileiras, mas seus elementos centrais foram ensinados ao longo do trabalho com a mecânica clássica. Por exemplo, o conceito de aceleração só foi trabalhado dentro do contexto da segunda Lei de Newton. Assim, garantiu-se que os elementos-chave da Mecânica, tais como os conceitos de força, energia ou velocidade fossem discutidos em conjunto, em pleno acordo com o que Vergnaud diz sobre a necessidade de diversos conceitos para abordar uma situação e do caráter relacional dos conceitos.

Naquele momento, o estudo da mecânica foi iniciado pela discussão da relatividade galileana e da necessidade da adoção de um referencial para o estudo dos movimentos e para a medição das velocidades. Nessa linha de raciocínio, o princípio da Inércia e a primeira lei de Newton foram discutidos como as pedras angulares de toda a lógica da MC. Isso serviu de ponto de partida para a discussão sobre os limites de validade de uma determinada teoria científica e sobre o papel que cumprem seus modelos explicativos. Em seguida, a partir das limitações da MC, foram apresentadas os postulados de Einstein para a TRR como uma maneira possível de contornar as limitações de então. Como exercício teórico, foram feitas incursões sobre algumas consequências dos postulados da relatividade sobre as noções de tempo e de espaço relativos.

Os alunos que fizeram parte da pesquisa, portanto, já tinham estudado, de forma breve, alguns tópicos da TRR durante o estudo da Mecânica. Além dos postulados da relatividade restrita,

foram ensinados a dilatação do tempo e a contração do espaço (na sequência didática indicada no parágrafo anterior) e a relação massa-energia (quando do estudo dos conceitos de trabalho e energia). Esse estudo havia ocorrido cerca de dois anos e meio antes da aplicação desta pesquisa. No ano seguinte, eles já haviam estudado alguns conceitos de eletromagnetismo e de óptica. Dessa forma, era de se esperar que as situações e os conceitos apresentados ao longo da pesquisa não fossem entendidos da mesma maneira que antes.

Esse movimento didático recursivo nunca representa uma repetição simples para o sujeito que aprende, uma vez que seu repertório cognitivo, seus esquemas, seus conhecimentos-em-ação são diferentes do que eram no passado. Pelo contrário, é uma maneira de contribuir para que as situações possam dar sentido aos conceitos em atividades cada vez mais complexas e ricas. Por isso, a crença de que os estudantes poderiam, mesmo que forma inconsciente, utilizar as formulações da TRR quando da resolução de situações-problema.

Concluindo, a escolha desses alunos para a aplicação da pesquisa deveu-se, em grande parte, à possibilidade de investigar, após um longo tempo, quais foram as modificações nas formas de pensar e de conceber uma teoria Física por parte dos estudantes.

d. Planejamento das atividades

A metodologia de trabalho foi planejada em conjunto com o professor e o pesquisador. Tal metodologia de trabalho, respeitando o estilo do professor, seus interesses e sua forma de abordagem da Física, deu suporte à construção dos dados necessários à pesquisa.

A identificação de esquemas e de IO exige que se verifiquem diversos registros de atividades dos sujeitos, uma vez que, por não estarem explícitos, eles devem ser inferidos. Nesse sentido, qualquer atividade de pesquisa que se proponha a alcançar tal objetivo deve, possibilitar que os sujeitos sejam confrontados com situações para as quais não possuem, ainda, respostas já consolidadas. Por isso, nosso desenho para a pesquisa foi organizado a partir de momentos em que (1) os estudantes resolviam problemas conceituais escritos, (2) discutiam em pequenos grupos problemas abertos, (3) interagiam com o professor em discussões conceituais e (4) assistiam a vídeos e animações sobre os conceitos que estavam sendo estudados.

Organizamos as atividades de pesquisa a partir de quatro eixos, partindo da retomada dos conceitos ligados à MC até o estudo das consequências dos postulados da TRR. Discutimos os quatro momentos a seguir.

I) Apresentação dos fundamentos da Mecânica: As pesquisas realizadas por Saltiel e Megrange (1979) nos indica um problema central na utilização do conceito de referencial. Ora, a discussão sobre a relatividade do tempo passa, naturalmente, pela utilização, em ação de tal conceito. Dessa forma, nos era essencial retomar esse conceito e colocá-lo em uma perspectiva central para o estudo dos movimentos. Daí nossa necessidade de começar a sequência didática a partir desse conceito. Queríamos, portanto, resgatar algumas noções como movimento, repouso, trajetória, velocidade, aceleração e força para apresentar os princípios da relatividade de Galileu e da Inércia. Dessa forma, seria possível justificar, para os estudantes, a necessidade da emergência de um novo modelo conceitual como foi a TRR.

II) Identificação dos pontos de tensão entre os campos conceituais da Mecânica Clássica e do Eletromagnetismo: Para que a TRR pudesse ser frutífera como um modelo coerente para os estudantes, entendemos que poderíamos tentar explorar os limites do modelo clássico e identificar suas fragilidades. Essa forma de abordagem tem sido identificada na literatura como uma das estratégias na organização das narrativas de ensino (OSTERMAN e MOREIRA, 2001). Assim, organizamos a discussão a partir de duas situações importantes (inconsistência da equivalência entre referenciais inerciais no eletromagnetismo e a aplicação de forças magnéticas por um fio

condutor percorrido por corrente elétrica) para mostrar que resultados previstos pela MC são inconsistentes com o Eletromagnetismo. Era nesse momento em que poderíamos discutir a pertinência de um novo modelo conceitual.

III) Apresentação dos postulados da TRR como uma possível resolução dos problemas anteriormente discutidos: Em resposta ao problema da incompatibilidade entre MC e Eletromagnetismo, apresentar os postulados da relatividade e explicar o significado de cada um. O ponto central que queríamos atingir é o de mostrar que o modelo conceitual proposto pela TRR seria uma forma de resolver os problemas levantados anteriormente. No entanto, resolver as inconsistências apresentadas exigia uma mudança nos estatutos epistemológicos de grandezas chave da Física como o tempo. Seguindo Vergnaud (2007), essa forma de abordagem nos permitia criar um contexto no qual os estudantes pudessem utilizar seus esquemas no sentido de construir novas significações para o tempo.

IV) Discussão sobre as consequências dos postulados da TRR : Para que fosse possível avaliar as possíveis alterações nos invariantes operatórios dos sujeitos, era necessário a utilização das noções estudadas em contextos novos, como os fornecidos pela TRR. Assim, esta última parte da atividade de pesquisa demandava dos estudantes a utilização dos esquemas de movimento e tempo em situações em que era necessária introduzir os postulados da TRR.

Um resumo das atividades realizadas e suas respectivas durações pode ser visto no quadro a seguir.

Aula número	Duração	Descrição	Objetivos
1	100 min	Apresentação dos conceitos-chave de referencial, partícula, movimento, repouso e trajetória.	Fornecer o contexto para as discussões que serão conduzidas a seguir; apresentar situações nas quais é necessário o uso do conceito de relatividade do movimento.
2	50 min	Resolução individual da Primeira atividade de classe	Investigar os conhecimentos-em-ação utilizados pelos estudantes frente a situações em que a noção de relatividade do movimento é necessária; analisar, com a ajuda dos episódios da primeira aula, as representações já construídas e aquelas em construção sobre o conceito de referencial.
3	50 min	Apresentação de 3 vídeos que exploram, a partir de pontos de vista distintos, o conceito de referencial; Resolução individual da Segunda atividade de classe, que explora a relatividade do movimento.	Apresentar diversas situações e representações nas quais o conceito de referencial pode ser explorado; investigar como os estudantes organizam seus esquemas e suas representações para reconhecer o conceito de referencial em situações e como resolvem tais situações.
4	100 min	Apresentação e discussão do conceito de força e inércia. Aplicação do princípio da inércia como um elemento central da lógica da Mecânica Clássica.	Discutir a indistinguibilidade, na MC, entre o repouso e o movimento retilíneo uniforme; aplicar essa noção para reconhecer alguns dos limites da MC; iniciar a discussão sobre a emergência da TRR.
5	50 min	Debate entre professor, pesquisador e estudantes; Tratamento de várias situações, desde a concepção dos estudantes sobre o que seria o trabalho de um cientista até as representações sobre os assuntos já estudados.	Sistematizar os conceitos estudados em um quadro mais amplo, capaz de permitir a análise de novas situações mais complexas; analisar as representações dos estudantes sobre o funcionamento da ciência e como os cientistas produzem conhecimento.
6	50 min	Resolução, em trios, da Terceira atividade de sala. Essa atividade apresenta situações nas quais o modelo da MC não é mais satisfatório.	Analisar os argumentos utilizados pelos estudantes na construção de explicações sobre situações que demandam o modelo da TRR; analisar os conceitos-em-ação que os estudantes lançam mão para resolver situações complexas.
7	100 min	Apresentação e explicação dos postulados da TRR; Resolução	Discutir a forma como Einstein formulou seu modelo explicativo para a inconsistência entre a MC e o

		individual da Quarta atividade de classe, que explora aplicações diretas dos postulados da TRR.	Eletromagnetismo; explicar os postulados da TRR; investigar a adesão dos estudantes a esse modelo; analisar os conhecimentos-em-ação mobilizados pelos estudantes frente às situações em que a validade do modelo clássico é posta em questão.
8	100 min	Exibição de vídeos sobre uma das noções mais importantes da TRR, o conceito de simultaneidade. Resolução, em trios, da quinta atividade escrita.	Investigar como os estudantes organizam seus conhecimentos-em-ação para resolver problemas envolvendo, indiretamente, a relatividade do tempo; analisar o estatuto epistemológico dos argumentos utilizados pelos estudantes para justificar a relatividade da simultaneidade.
9	100 min	Dedução da dilatação temporal a partir do segundo postulado da TRR; aplicação dessa consequência para o estudo de alguns casos exemplares, como o paradoxo dos gêmeos.	Apresentar novas situações para dar sentido ao conceito de tempo relativo; discutir a necessidade de se utilizar tal conceito em situações cotidianas; analisar formulações conceituais construídas a partir de postulados.
10	50 min	Resolução, individual, da sexta atividade de sala nos primeiros 50 minutos;	Investigar os conceitos-em-ação utilizados pelos estudantes para abordar situações que envolvem o conceito de tempo.
11	50 min	Resolução, individual, de uma questão sobre a dilatação do tempo	Avaliar, após algum tempo, os conhecimentos-em-ação mobilizados pelos sujeitos

Quadro 1: Resumo das atividades realizadas na pesquisa.

e. Construção dos dados e metodologia de análise

Os problemas propostos aos estudantes eram recolhidos para avaliação inicial sobre os possíveis modelos por eles utilizados. Em um primeiro momento, foram construídas trajetórias cognitivas para cada um dos estudantes por meio dos registros escritos. Nessas trajetórias estavam registradas as respostas por eles apresentadas e algumas possíveis interpretações realizadas pelo pesquisador.

As atividades escritas eram catalogadas e cada estudante recebia um código distinto para cada questão. As análises das respostas eram transcritas para uma tabela onde só constavam os códigos. Após a realização das análises, os nomes dos estudantes eram, então, revelados para a construção de uma primeira versão das suas trajetórias cognitivas em conjunto com os episódios de interação com o professor e entre os colegas. Nesse sentido, buscamos nas atividades realizadas em grupo e nas interações com o professor, novas ações que pudessem corroborar as análises realizadas ou refutá-las.

Por fim, procuramos agrupar os estudantes a partir da semelhança com que abordavam e resolviam os problemas no sentido de verificar a consistência dos invariantes operatórios e dos esquemas que havíamos inferido. Todo esse movimento nos permitiu verificar de que maneira os estudantes progrediram à medida que as atividades didáticas eram desenvolvidas pelo professor.

Com essa primeira versão das trajetórias cognitivas em mãos, fizemos a submissão à análise de outros pesquisadores. Em primeiro lugar, a apresentação foi feita ao orientador do trabalho, que fazia a leitura dos dados após a minha análise inicial. Esse olhar foi essencial para avaliar a existência de uma linha lógica entre as propostas das atividades e as respostas dos alunos. Em seguida, foram apresentados alguns tópicos dessas análises em Encontros e Congressos nacionais (Carvalho Jr, Aguiar Jr e Bruno, 2013; Carvalho Jr e Parrat-Dayana, 2013).

A outra interlocução ocorreu ao longo do estágio de doutoramento sanduíche realizado em Genebra e Paris. A apresentação das produções escritas e dos registros em vídeo das aulas e das interações entre os estudantes foi feita ao grupo dos professores Gérard Vergnaud que, com a experiência em análises ligadas à psicologia cognitiva, sobretudo no que diz respeito à TCC,

mostraram possíveis interpretações que eram por vezes distintas daquelas que eu havia feito. Além da análise das enunciações dos estudantes, essa interação auxiliou no estabelecimento de relações entre os dados e o referencial teórico, a TCC.

A realização da pesquisa – descrição e análise de resultados

A partir desse momento, passamos a descrever as primeiras cinco aulas da atividade de pesquisa, que foram, exatamente, aquelas que trataram do resgate da noção de referencial e da característica relativa do movimento. Em cada uma delas, apresentamos a que esperávamos verificar, justificando, assim, a razão da escolha das tarefas indicadas aos estudantes. Realizamos, também, a explicitação dos episódios e das produções dos estudantes que nos foram mais importantes no estabelecimento de suas trajetórias cognitivas.

Ao final, há a apresentação da décima aula que representou uma atividade de resolução individual de tarefas (problemas teóricos) por parte dos estudantes.

Ao longo dessa seção, alternamos toda a apresentação citada no parágrafo anterior com as análises realizadas por acreditarmos que essa proximidade entre explicitação de dados e construção das análises contribui para lançar luz sobre nossas escolhas metodológicas e interpretações sobre as ações dos sujeitos. No entanto, nossa análise completa das trajetórias cognitivas levaram em consideração muito mais elementos dos que os que foram aqui explicitados. O recorte apresentado neste artigo foi o de trabalhar, somente, com a fase da pesquisa em investigamos a noção de referencial e os fundamentos da Mecânica Clássica⁴.

f. 1ª aula :

Essa primeira aula foi dedicada à apresentação do conceito de referencial e sua influência no estudo dos movimentos dos corpos. A noção de sistema de referência é essencial para todo o estudo, tanto da MC, quanto para a TRR. Por isso, o interesse pedagógico do professor em iniciar os trabalhos a partir de um conceito-chave que está presente nos dois campos conceituais.

A interação inicial entre professor e estudantes foi conduzida no sentido de resgatar situações que já teriam sido enfrentadas para que os próximos conceitos discutidos pudessem encontrar eco. Essa postura do professor se mostrou recorrente ao longo das aulas em que os assuntos já eram do conhecimento dos estudantes. Já nas aulas em que os conceitos tratados eram mais abstratos e representavam, de certa forma, novidades para os estudantes, as aulas tiveram um caráter expositivo por parte do professor.

- T 1 Professor: (...) O que vocês entendem por referencial? Você <<aponta para uma aluna na sala>> o que você entende por referencial? Para você quando você ouve essa palavra "referencial", o que vem na sua cabeça naquele primeiro momento, aquele "start"?
- T 2 Mariana: Alguma coisa que a gente pega para analisar ... para referenciar ... alguma coisa ...quando a gente vai analisar um movimento, a gente pega uma coisa para saber ... se determinada coisa que a gente pega se o movimento for de um jeito ... Por aí.
- T 3 Professor: Antônio, quando você vê essa palavra "referencial", qual é a primeira ideia que vem na sua cabeça, aquela ideia inicial o que vem na sua cabeça?
- T 4 Antônio: <<utiliza muita gesticulação>> Ah, é aquilo que você toma como base para você analisar uma outra coisa. Porque geralmente você não analisa "aquilo", você analisa "a partir daquilo". Daí, você toma como base "aquilo", entendeu? Pra você analisar o movimento ... de outra coisa, cê toma "aquilo"

⁴ Os dados completos e a análise pormenorizada das trajetórias cognitivas dos estudantes podem ser obtidos em CARVALHO JR, G. D. **Invariantes operatórios na transição entre dois campos conceituais : o caso do tempo relativo**. Tese (doutorado em educação). Faculdade de Educação/UFGM. 2013.

A versão eletrônica está disponível em : <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-9FVFQX>. Acesso em 23.mar.2016.

como base. Tipo o movimento de um carro ... cê toma como base outro carro procê analisar ele. Se ele vai em linha reta ... sua velocidade, assim. Mais ou menos assim.

T 5 Professor: uhum <<concordando>>. Vamos ver mais um aqui. Cassiano, o que você fala aí de referencial? O que vem na sua cabeça?

T 6 Cassiano: É um ponto ... inicial ... que você vai tirar conclusões sobre ... ele.

T 7 Professor: Um ponto inicial, a partir daí você tira conclusões sobre ele. Lara!

T 8 Lara: Ah! Eu acho ... eu penso da mesma forma que o Cassiano. Vai ser um ponto a partir do qual você ... vai ... a partir daquilo você vai fazer uma comparação com algum outro objeto ou lugar para tá tendo ... para ter uma comparação mesmo, a partir desse ponto você vai fazer uma comparação.

g. 2ª aula:

A primeira atividade escrita ocorreu na aula seguinte à explicação inicial do professor sobre a relatividade do movimento e a necessidade da escolha de um referencial para o estudo dos movimentos. A seguir, o texto e o problema proposto.

01) Leia o texto a seguir, de autoria de Millôr Fernandes, que foi publicado no Jornal do Brasil em 26/01/1990.

PRECONCEITO MUITO FORTE

Toda hora eu vejo, em jornais, revistas, televisão, e na rua, pessoas cada vez mais "livres" de preconceitos e ... E, no entanto, todas estão convencidas de que a Terra gira em torno do Sol. Por quê? Pergunte a elas e elas responderão: "Vê, Galileu 'provou' isso, há muito tempo". Mas, provou para quem? Pode ser que tenha provado pros cientistas. O homem comum, e mesmo nós, os pejorativamente chamados intelectuais, aceitamos e pronto. Sem pensar. Preconceituosamente. Como antes de Galileu acreditávamos que o Sol girava em torno da Terra. Mas, entre Galileu - de cujas 'provas' nunca tomamos conhecimento nem sabemos dizer quais são - e a realidade, que literalmente salta (gira) a nossos olhos, temos que acreditar é em nossos olhos. Nossos olhos veem, com absoluta certeza, que o Sol nasce ali (a leste) e morre do outro lado (a oeste), girando em torno de uma Terra absolutamente parada (terremotos à parte), sobre a qual caminhamos sem sentir o menor movimento. Pra mim, o Sol gira em torno da Terra e estamos conversados.

O que podemos dizer sobre o texto mostrado acima? É o Sol ou a Terra que se move? O que significa afirmar uma ou outra coisa?

02) **ANALISE** a afirmativa a seguir e **INDIQUE** se é verdadeira ou falsa. **JUSTIFIQUE** a sua indicação.

"Se um objeto A estiver em movimento em relação a outro objeto B, e o objeto B estiver em movimento em relação a C, então, A está em movimento em relação a C".

Para a análise das respostas, identificou-se como os estudantes aplicam o conceito de referencial para abordar situações que envolvem o movimento e/ou o repouso de corpos. O foco não foi o de investigar quem apresentou a resposta tida como cientificamente correta, mas de que maneira o estudante tratou os problemas que envolvem a relatividade do movimento.

Os dois problemas apresentados aos estudantes possuíam características diferentes em função dos objetivos pretendidos. A primeira situação foi construída a partir de um texto irônico de Millôr Fernandes, em que ele discorda da afirmação de Galileu sobre o movimento da Terra em torno do Sol. Para o autor do texto, somos preconceituosos ao aceitar o movimento da Terra sem saber suas evidências, assim como o eram os contemporâneos de Galileu ao defender como dogma a imobilidade da Terra. Note-se, ainda, que há uma ambiguidade no texto, pois o autor menciona o movimento da Terra em torno do Sol mas apresenta evidências que mencionam o movimento diurno do Sol na abóboda celeste, relacionado ao movimento de rotação e não translação da Terra. No entanto, o tema tratado na atividade dizia respeito ao movimento de translação da Terra em torno do Sol. A pergunta que foi colocada aos estudantes solicitava que eles se manifestassem a favor ou contra a afirmativa de Millôr de que a Terra não gira em torno do Sol e sim o oposto.

Essa primeira situação insere-se na perspectiva intermediária entre a evocação mais imediata do conceito de referencial (tal como foi feito pelo professor no início da aula anterior) e a formalização desse conceito, com a extrapolação em situações novas. Dessa forma, o conceito de

referencial está no centro das discussões a partir de uma situação bem conhecida dos estudantes e já estudada ao longo de suas trajetórias escolares. Mas, cada estudante deveria realizar uma atividade interna de interpretação dos argumentos do autor do texto e relacioná-los ao conceito de referencial, além de reconhecer que se trata de um texto irônico.

Essa primeira abordagem de resolução de problemas foi importante sobretudo por permitir que os estudantes se familiarizem com novos conceitos e possam trabalhar com eles em situações relativamente conhecidas. O uso consciente do conhecimento em sua forma mais imediata auxilia na construção de novas relações, uma vez que permite que o sujeito vá testando os limites de seus saberes em domínios que não são totalmente inéditos. Dessa forma, é possível que um alargamento progressivo das possibilidades de ação dos esquemas de movimento de cada sujeito.

Nessa atividade, foi possível perceber que 8 alunos fizeram menção explícita à relatividade do movimento entre o Sol e a Terra. Dentro dessa categoria de respostas, houve algumas complexas e outras diretas. Esse fato reforça a ideia de que os estudantes são capazes de reproduzir os discursos escolares com razoável precisão, sobretudo em situação que guardem semelhança com o que é discutido e apresentado em sala de aula, o que está em sintonia com o fato de que a operacionalização de determinado esquema pode conduzir a condutas mais “automatizadas” se a situação em jogo assim o exigir.

Por exemplo, Cassiano diz que a posição de Millôr Fernandes “pode ser aceita desde que ele tenha classificado a Terra como ponto de referência”, para depois dizer que “Galileu também está certo pois ele considerou o Sol como referência”. Nessa mesma linha de raciocínio, Antônio afirmou que “O texto quer nos dizer de uma maneira que nos faz pensar sobre referencial. E para esta pergunta dou como resposta, depende do referencial. Significa a escolha que você vai tomar para analisar o movimento, o que vai tomar para si como referencial”.

Ainda seguindo essa noção de relatividade do movimento, Thales afirma que

“O texto acima demonstra um ponto de vista sobre o movimento do Sol com relação a Terra e vice-versa, ponto de vista que não é errado, mas também não é o único que está correto uma vez que há dois referenciais diferentes (...) Isso significa dizer que o movimento é relativo ao referencial”.

Somente Nayara negou a característica relativa do movimento. Em sua resposta, a aluna diz que “vemos o Sol nascer e a se por do outro lado, concluindo-se então que o movimento é especificamente do Sol”, o que revela uma utilização rudimentar, em ação, do conceito de referencial. Mas, em seguida, ela afirma que

“há quem acredita que a Terra gira em torno do Sol, pois ao imaginarmos em torno, imaginamos um corpo bem maior. Como não vemos o Sol maior que a Terra, há quem acredite que a mesma faz o movimento. Mas, quem gira mesmo é a Terra.”

O esquema de movimento de Nayara já não guarda uma característica plenamente egocêntrica, no sentido atribuído por Piaget para esse conceito (Piaget, 2008/1926 e Parrat-Dayán, 1998). Isso significa dizer que a estudante parece não interpretar o mundo a partir de si pois, por exemplo, ela consegue analisar os movimentos a partir de um determinado referencial externo a ela. Mas, ocorre algo curioso que será percebido, também, nos IO de outros estudantes. Se o referencial pode não ser o próprio sujeito, Nayara parece sempre procurar um outro objeto para ser esse sistema de referência absoluto. Entre o egocentrismo e a total descentração, parece haver uma etapa, comum a quase todos os alunos pesquisados, ligada ao estabelecimento desse referencial absoluto externo ao sujeito.

Nesse sentido, Nayara parece se valer de um TEA ligado ao esquema de movimento: “o corpo maior fica parado e o menor é o que se move de verdade”. A partir dele, a estudante conclui que temos a impressão de que é o Sol que gira em torno da Terra porque vemos esta estrela pequena

a partir da Terra. Mas, como o Sol é, de fato, maior que a Terra, esta é que deve girar em torno daquele. Assim, a relatividade do movimento não existe para Nayara. Mesmo que seja possível termos alguma impressão do movimento solar, este fica, na concepção da aluna, imóvel.

Em geral, as pesquisas conduzidas nessa área mostram que, de fato, a Terra é o referencial privilegiado para todos os movimentos considerados nas situações propostas em suas respectivas investigações (Saltiel e Melgrange, 1979; Ayala Filho, 2010). O que está sendo acrescentado a essa discussão é a proposição de um motivo pelo qual a Terra é intuitivamente escolhida como referencial privilegiado. Tal motivo deve-se ao fato de ela – a Terra – ser o maior corpo presente na situação. Quando a situação é ampliada para uma escala astronômica, estudantes tendem a escolher o Sol como referencial.

Essa tendência pode ser verificada em diversas outras situações em que a noção de movimento está presente e será percebida em diversos episódios aqui narrados. Se o referencial a ser utilizado é o corpo de grandes dimensões observáveis, não se tematiza a escolha do referencial. Por outro lado, quando a análise requer comparação entre dois corpos de tamanho comparável, o referencial escolhido é formalmente citado.

Ainda com relação a essa atividade, Osvaldo apresentou uma abordagem cuja essência interage com as noções absoluta e relativa do movimento. Ele afirma, no início de sua resposta, que “está provado que é a Terra que se move em torno do Sol”. Em seguida, ele afirma que a escolha do referencial define qual corpo é visto em movimento. Para esse estudante, parece haver duas situações distintas. A primeira está ancorada no domínio da ciência. A outra dimensão, ligada aos fenômenos cotidianos, não nos permite afirmar qual dos corpos está em movimento porque a impressão do movimento está ligada à adoção de um referencial.

A segunda questão, no domínio teórico e mais distante das situações discutidas em sala de aula pelo professor, exigiu que os estudantes julgassem uma afirmativa que não fazia menção a um domínio específico do cotidiano. Para a resolução dessa situação seria necessário que os estudantes fossem além de uma evocação ou da utilização de um conhecimento predicativo. Assim, a abordagem dessa situação exigia a aplicação do conceito de referencial em uma situação que ainda não havia sido explorada pelo professor e que, portanto, explora a utilização de parte do conhecimento ainda não consolidado. Essa característica da atividade proposta difere da anterior por focar na forma operatória do conhecimento.

O conceito de referencial deveria ser mobilizado para dar conta da situação apresentada. Mas, deveria haver uma articulação com as noções de movimento e de repouso. Assim, a análise da atividade foi conduzida no sentido de avaliar se, durante as respostas dos estudantes, as palavras “movimento” e “repouso” apareciam sozinhas⁵ ou se estavam acompanhadas da indicação de um sistema de referência.

Somente quatro estudantes conseguiram apresentar a relação entre as noções de “movimento” e de “repouso” com a indicação de um referencial. Desses, somente Osvaldo havia apresentado, na primeira atividade (texto do Millôr Fernandes), um posicionamento que nos pareceu misto entre a relatividade do movimento e a adoção de um movimento real para a Terra.

É o que se percebe, por exemplo, na resposta de Thales. O estudante indica que

“A afirmativa acima é falsa, uma vez que A está em movimento a C quando o referencial está em C ou B, já que se o referencial estiver em A os demais objetos vão ir para trás enquanto o objeto A permanece parado, logo nesse caso C está em movimento em relação a A e não o inverso”.

Já a resposta de Osvaldo foi que

⁵ Afirmações como “o carro está em repouso”, sem que se indique em relação a qual sistema de referência.

“A afirmação é falsa. Pois os objetos A e C poderiam estar parados um em relação ao outro, enquanto o objeto B estar se movendo em relação a A e C. Dessa forma, com o referencial em B, A estaria se movimentando em relação a B e, com o referencial em C, B estaria se movimentando em relação a C. Porém A e C estariam parados um em relação ao outro”.

Em duas das respostas, houve uma menção parcial à relatividade do movimento, ou seja, os conceitos de “movimento” e de “repouso” estavam ligados a referenciais. Mas, quando a palavra “velocidade” era mencionada, ela estava sempre desligada de referencial. Nessa categoria de respostas, se encontram apenas estudantes que haviam feito a distinção entre os referenciais para o movimento da Terra e do Sol.

É o que se pode perceber na resposta de Maria, que afirmou que “Depende. Porque se o objeto A estiver na mesma velocidade do objeto C, então A está em repouso em relação a C, agora, um exemplo, se o objeto C estiver com uma velocidade maior que a velocidade do objeto A, então A está em movimento em relação a C”.

Nessas duas primeiras categorias, temos uma supercategoria, com 6 estudantes que conseguiram apresentar, total ou parcialmente, a noção de movimento relativo em suas respostas. Todos eles já haviam, também, apresentado essa forma de abordagem na primeira situação.

A terceira e última categoria abarca três dos estudantes e é marcada pela menção a “movimento” e “repouso” sem a relação com a adoção de referenciais. Isso significa dizer que tais noções são escritas de forma absoluta. Dentro dessa categoria encontra-se Nayara, que reitera sua posição anterior ao negar a relatividade do movimento, ao escolher como referencial absoluto o carro (que é maior que o motorista).

Além disso, nessa última categoria há também estudantes que, na situação anterior, haviam estabelecido a relatividade do movimento entre o Sol e a Terra. Esse fato pode ser explicado pela diferença entre os tipos de atividades e revela que a noção de movimento relativo ainda não está consolidada, mesmo que alguns estudantes já sejam capazes de enunciar o princípio da relatividade do movimento.

h. 3ª aula:

Após assistirem certa sequência de vídeos que tratavam da relatividade do movimento e da trajetória, os alunos responderam a segunda atividade escrita, que apresentava um cartoon do Garfield que fazia menção à relatividade do movimento.

A atividade do Garfield trouxe bons elementos para a continuidade da análise das concepções sobre a influência do referencial sobre o movimento. Nessa atividade, foi possível identificar as mesmas três categorias apresentadas na atividade anterior.

Esse fato é interessante por duas razões principais. Em primeiro lugar, reforça a existência de certas formas de agir em situação por parte dos estudantes. Essa tendência pode ser um sinal da existência de esquemas mobilizados para operar dentro da classe de situações envolvendo deslocamentos.

Nesse sentido, julgamos válido e muito útil do ponto de vista das análises aqui em jogo, conceber o movimento como um esquema que articula os conceitos de referencial, espaço percorrido, durações e velocidade. Nesse sentido, tal esquema se orienta no sentido de procurar um sistema de referência a partir do qual serão analisados os possíveis deslocamentos, tendo como fundamento de base o caráter absoluto dos espaços percorridos e dos intervalos de tempo. Nesse sentido, as três categorias elencadas a partir dos trabalhos de Piaget estão presentes ao se considerar o esquema de movimento.

O esquema de movimento mais “primitivo” é aquele que organiza as ações a partir do próprio ponto de vista, sendo, portanto, muito ligado a uma visão egocêntrica do mundo. O mais “evoluído” é o que coordena os diversos pontos de vista como possíveis para o estabelecimento dos deslocamentos e a análise das velocidades. Entre os dois, há um estágio – percebido, por exemplo, em Nayara – que não é mais totalmente egocêntrico, mas que organiza as ações a partir da busca do maior corpo presente na situação e atribui a ele o estatuto epistemológico de referencial privilegiado. Parece haver, nesse sentido, a atribuição de uma pseudo-relatividade à noção de movimento e repouso.

A segunda grande razão, relacionada com a primeira, diz respeito à tendência de estabilização dos novos conhecimentos. No primeiro momento, quando da realização da primeira atividade, os estudantes poderiam ter apenas repetido informações que acabaram de ouvir do professor. Há marcas dessa forma de ação mesmo na atividade do Garfield, quando estudantes escrevem que o movimento depende do referencial, para depois negarem essa ideia. Mas, essa forma de resposta tende a diminuir com o tempo. A seguir mostramos a questão proposta aos estudantes.

Veja a tirinha a seguir



Do ponto de vista da Física, Garfield está correto? Justifique a sua resposta.

Após a realização dessas atividades, e levando-se em conta as participações dos estudantes nas discussões durante as aulas, foi possível construir o seguinte quadro-resumo sobre as concepções dos estudantes quanto à utilização do conceito de referencial.

Os três momentos foram : (1) atividade sobre o texto de Millor Fernandes ; (2) análise da afirmativa do personagem Garfield sobre a relatividade do movimento e (3) análise da afirmativa sobre o movimento relativo entre três corpos.

	Atividade 1 A (Texto do Millor Fernandes)	Atividade 2 B (Cartoon do Garfield)	Atividade 1 B (Análise da afirmativa sobre o movimento de três corpos)
Movimento relativo	Cassiano; Thales; Vívian; Maria; Mariana; Lara; Antônio	Cassiano; Thales; Vívian; Osvaldo	Cassiano; Thales; Vívian; Osvaldo
Movimento misto	Osvaldo	Lara; Antônio; Maria; Mariana	Lara; Antônio; Maria; Mariana
Movimento absoluto	Nayara	Nayara	Nayara

Quadro 2: Comparação entre as formas de utilização do conceito de referencial pelos estudantes.

Esse quadro apresenta um resumo das formas de utilização, em ação, do conceito de referencial e pode ser entendido como uma primeira síntese da utilização de invariantes operatórios relacionados ao esquema de movimento. Conforme é possível perceber, a ordem apresentada (texto do Millôr, cartoon do Garfield, análise da frase) não é a ordem cronológica com que os problemas foram propostos aos estudantes, mas a ordem crescente da abstração necessária à sua resolução, conforme a interpretação das respostas dos estudantes pode indicar.

i. 4ª aula :

Essa aula teve duração de 100 minutos e foi marcada pelo trabalho com as leis de Newton, sobretudo a lei da Inércia. Para isso, o Professor retomou as discussões já efetuadas na introdução ao estudo da MC.

Para mostrar a aplicação dessa Lei, o professor propõe uma situação em que dois referenciais diferentes precisam explicar a movimentação de uma bola que está dentro de um ônibus. Nesse contexto, ocorre o seguinte episódio.

- T1: (...) Suponha que eu tenha aqui uma pista retilínea e você tenha aqui ... você está aqui dentro de um ônibus. (...) Ok, Vívian? Tá você aqui em pé, segurando no ônibus, e tal... e, na sua frente, Vívian, tem uma bola. O ônibus tá andando aqui, em movimento retilíneo uniforme para a direita com uma certa velocidade qualquer aí. E tem aqui um observador, na rua, vendo a Vívian passar. Vívian, prá você, esse menino está em repouso ou em movimento?
- T2: Vívian: Ele está em movimento.
- T3: Professor: Ele está em movimento num tá? E prá ele, você está em movimento ou em repouso?
- T4: Vívian: Em movimento.
- T5: Professor: Em movimento. Prá você, a bola está em repouso ou em movimento?
- T6: Vívian: Em repouso.
- T7: Professor: Tá em repouso. E prá ele, a bola tá em repouso ou em movimento?
- T8: Vívian: Em movimento.
- T9: Professor: (...)Vamos imaginar que a Terra seja um referencial em repouso. E você está em movimento retilíneo uniforme e na situação de movimento retilíneo uniforme você está também em um referencial em movimento. Pro nosso observador que está em repouso quanto para o movimento retilíneo uniforme, as situações Físicas se equivalem, concordam comigo? As leis Físicas que valem pro movimento retilíneo uniforme também valem para um referencial em repouso. Tanto um referencial em MRU quanto para um referencial em repouso as leis Físicas são as mesmas. (...) Agora eu vou brincar com vocês um pouquinho. Esse ônibus, ele tava andando ali com uma certa velocidade. Num certo movimento ele dá de frente com um sinal vermelho. Então, o sinal fecha lá na frente e o que o motorista faz? Pisa no freio prá poder começar a parar o ônibus. A bola tá solta, tá? Só você tá segurando. Na hora que ele pisa no freio, o que acontece com a bola?
- T10: Vívian: Ela começa a rolar.
- T11: Professor: Vívian, me explica, porque a bola rolou prá frente?
- T12: Vívian: Porque todo corpo em movimento tende a ficar em movimento de acordo com a lei da inércia.
- T13: Professor: Tá bom! Só que tem um detalhe aqui importante. Prá você a bola tava em movimento?
- T14: Vívian: Não ... ela tava parada.
- T15: Professor: Ela tava parada! Então, como você vai me explicar que é pela lei da inércia se ela tava parada? Pela lei da inércia, ela tinha que continuar o quê?

A situação apresentada pelo professor é muito diferente do que os estudantes já haviam estudado. É importante de se notar que, nesse ponto, a explicação de que Vívian veria a bola em movimento por inércia não se justificava mais, visto que, para esta estudante, a bola estava em repouso.

Essa é uma situação que extrapola o domínio de validade do que se está estudando, visto que o referencial de Vívian não é inercial em relação à Terra e, portanto, devem ser utilizadas as noções de “forças de inércia” ou “forças fictícias”. A intenção do professor, no entanto, era apenas “provocar” os estudantes para o desenvolvimento da ideia de que há limites de validade para cada sistema teórico. Essa foi a discussão final da aula e o ponto de partida para a aula seguinte.

A análise da filmagem feita com a câmera que estava voltada para os estudantes permite perceber o incômodo dos estudantes. Houve, inclusive, uma troca de olhares entre Osvaldo e Lara, como se um estivesse perguntando ao outro qual seria a resposta correta. Os estudantes, em geral, fizeram uma expressão típica de que estavam pensando, olhando para cima e franzindo as sobrancelhas.

Nesse momento, é interessante perceber que se o conceito-em-ação de Inércia não é pertinente para situação apresentada, torna-se necessário o estabelecimento de outro conceito. O contexto em que o problema foi apresentado é o da Mecânica e, por isso, Lara utilizou outro conceito-em-ação para resolver o problema: o conceito de força.

No entanto, como será possível perceber na continuação do episódio, seu esquema de movimento utilizava o conteúdo conceitual: “só pode haver um movimento quando houver a aplicação de uma força”. Como Lara ainda utiliza a separação entre movimentos reais e imaginários, em um sentido semelhante ao que foi discutido na aula 2, sua explicação elege, como realidade, o movimento que o ônibus fazia em relação ao chão (o que ainda é coerente com a pseudo-relatividade do movimento já detectada). O outro movimento, que não possui o mesmo estatuto epistemológico do primeiro, é uma impressão que, portanto, não necessita de uma abordagem científica. A sequência mostrada a seguir ilustra essa análise.

T16: Lara: A menos que uma força aja sobre ela ... a cada ação, uma reação.

T17: Professor: Ninguém chutou a bola.

T18: Lara: Não, mas a partir do momento em que freiou ... a cada ação há uma reação. A partir do momento ... você tava em ... o ônibus tava em movimento. Você num percebe o movimento do ônibus porque você tá dentro do ônibus e você tá em movimento junto com ele. A partir do momento em que o ônibus pára ... é ... vai cessando o movimento, você continua ... tende a permanecer em movimento. O ônibus tá cessando, mas você continua. Prá mim é assim.

T19: Professor: Mas, veja bem. Seu referencial não é o ônibus?

T20: Lara: Sim.

T21: Professor: Você não estava em repouso em relação ao ônibus?

T22: Lara: Sim.

T23: Professor: O ônibus estava em repouso em relação a você. Então, você não ... pro referencial do ônibus, não tem essa noção do movimento. Tá claro? (...) Ele ... o ônibus não aplicou na bola nenhuma força. Mas a gente chegou agora num ponto estranho, né? Porque, por inércia, a bola deveria continuar o quê? Parada. Se você perguntar prá esse rapaz que está aqui fora por quê a bola continuou andando, o que ele pode falar?

O professor explica, então, que há uma limitação nessa situação. As leis de Newton são válidas em referenciais inerciais. Quando o ônibus freia, há aceleração e, com isso, outras considerações (que ele não diz quais) devem ser levadas em conta.

j. 5ª aula:

Ao longo dessa aula, houve um debate entre o Professor, o pesquisador e os estudantes.

O pesquisador faz menção às atividades já realizadas e procura fazer uma síntese do que já foi estudado. Quando ele discute o segundo problema da segunda atividade escrita (o exercício teórico sobre três corpos que podem ou não se mover um em relação aos demais), Lara é a única estudante a afirmar que se posicionou favorável à afirmativa, dizendo que

“eu comecei a pensar que A ... eu saí criando um monte de teoria. A era um carro, B eu de ... Não! A era um carro, B uma pessoa, C é ... sei lá ... um cachorro. Primeiro, eu imaginei que A estivesse ... que o carro estivesse em movimento em relação a mim. Aí, no caso, eu estaria fora do carro. Depois, eu me imaginei

dentro do carro. Aí, A estaria em movimento em relação a C, porque o carro estaria em movimento. Eu, dentro do carro e o cão estaria parado.”

A despeito do fato de que, ao que parece, a aluna não entendeu o problema e o separou em duas partes, esse posicionamento revela a maneira como Lara utiliza em ação o conceito de referencial. A Terra é, nesse caso, um referencial absoluto em relação ao qual os outros devem ser estabelecidos. Quando a estudante está fora do carro, ele está em movimento em relação a ela porque ela se encontra sobre a Terra. Quando ela está dentro do carro, ela está em movimento em relação ao cachorro porque ele está sobre a Terra. Nessa explicação, a Terra funciona como o referencial imóvel segundo o qual todas as outras relações de movimento e repouso são estabelecidas e é, como já apresentado e discutido, o maior corpo presente na situação.

Após esse momento, o pesquisador retoma o exemplo desenvolvido pelo Professor sobre a bola dentro do ônibus e propõe um experimento mental aos estudantes. O ônibus vai viajar durante um grande tempo em linha reta e com velocidade constante (a estrada é reta, sem imperfeições). Além disso, as janelas do ônibus são tampadas, o que impede que as pessoas em seu interior olhem para fora. A pergunta é: tente imaginar algum experimento que possa ser feito dentro do ônibus para saber se ele está em repouso ou em movimento.

Antônio tenta uma formulação, retomando a situação proposta pelo Professor, dizendo que

“A bola pode ser um exemplo, né ... Ou, se você pedir o motorista prá parar! Se você tiver um solavanco, assim. Isso vai provar que o ônibus tava em movimento. Porque você saiu ... você tava dentro do ônibus. Parado em relação a qualquer outro objeto lá dentro do ônibus. Se você continuar em movimento, isso prova que todo o ... o ... ônibus tava em movimento também.”

Sobre essa afirmação de Antônio, o pesquisador apresenta uma nova situação. O solavanco a que Antônio se referiu poderia ser causado por uma colisão entre um carro e o ônibus, mesmo que este estivesse parado em relação ao chão. Thales intervém nesse momento e afirma que, nesse caso, os passageiros deveriam ver as janelas quebrando, etc. Esse fato pode indicar uma tentativa de negar a perturbação externa, atendo-se a detalhes que não são significativos para o aspecto crucial da questão, que era a indistinguibilidade entre o repouso e o MRU ou, de forma mais simples, à não compreensão, por parte dos estudantes, da problemática apresentada pelo pesquisador.

O pesquisador volta, então, a essa questão e solicita um experimento que possa ser feito enquanto o ônibus pudesse ser considerado como um referencial inercial. Antônio apresenta outra situação, dizendo que

“Eu acho que sei. Quando ... igual ... você tacou o giz <<prá cima – ele faz menção à situação já apresentada pelo Professor anteriormente>> ... aí, quando você tá parado, o giz cai ... reto. E, quando tá em movimento, cai em arco de parábola. Isso podia explicar, né? Porque, se o ônibus estiver mexendo, aí se você tacar o giz, o giz vai cair em arco de parábola. Podia ser?”

A partir dessa fala, e sem querer apresentar respostas prontas, o pesquisador pergunta aos estudantes o que eles acham a respeito. Osvaldo, se contrapondo a Antônio, afirma que “Ah, eu acho que não daria não porque se fosse uma pessoa de fora que visse, ela veria caindo em arco de parábola.” Essa posição é compartilhada por Cassiano, que concorda com a formulação de Osvaldo.

Antônio, no entanto, convicto de suas posições, contra argumenta que “Mas você podia pedir a alguém que estivesse do lado [de fora], assim.”

Lara apresenta o argumento de que esses dois observadores indicados por Antônio pertencem ao mesmo sistema. Essa ideia é completada por Osvaldo que diz

“mas esses dois não percebem porque estão com a mesma velocidade. Mesma coisa com a Terra, então. Se você jogar um giz pro alto, você vai pegar o giz normal. Mas, o que ... a Terra não está em movimento a mesma coisa? Não seria válido esse experimento não!”

Esses argumentos fazem Antônio concordar com Osvaldo. É curioso notar que, na fala de Osvaldo, não há a indicação explícita dos referenciais para afirmar que os observadores ou a Terra estão em movimento. No entanto, essa não explicitação de referenciais pode ser devida à maior « informalidade » da fala entre dois estudantes, uma vez que o contexto da discussão já apresentava referenciais delimitados.

Após um tempo de reflexão por parte dos estudantes, Cassiano afirma que não há como distinguir o repouso do Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) a partir das situações descritas. Os estudantes parecem concordar com essa posição. A fala de Thales resume essa posição.

“Eu acho que é ... Como é que você pode afirmar que se você não tem ... é ... as informações necessárias para você tirar uma conclusão. Igual ... você tá dentro do ônibus, fechado ... é a mesma coisa que eu te trancar num quarto todo escuro, fechado ... te boto lá no dia primeiro de ... abril e te tiro no dia 22. Se eu te perguntar a data, se você não tiver como medir, cê vai perder a noção. A partir do momento que você não tem informações necessárias para tirar uma conclusão, cê não pode afirmar nada! Eu acho isso.”

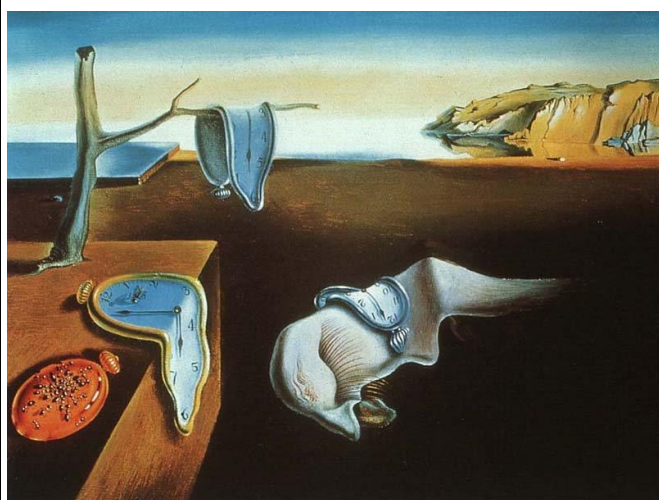
Para fechar esse debate, o Professor retoma alguns dos pontos mais importantes já apresentados e frisa que a indistinguibilidade entre o repouso e o MRU é a base conceitual da mecânica de Newton. Sobre esse ponto, Cassiano questiona se “talvez não seja porque a gente sempre esteja em movimento?”, uma afirmativa que retoma a ideia do movimento absoluto.

As demais aulas seguiram conforme o planejado, com a introdução e discussão dos postulados da TRR e suas consequências mais imediatas, como a dilatação do tempo.

k. 10ª aula:

Essa aula foi toda ela dedicada à resolução individual dos problemas apresentados a seguir.

- 01) Os robôs que já foram enviados para explorar Marte precisam ser autômatos, ou seja, não podem ser controlados da Terra em tempo real. De que maneira os aspectos já estudados da relatividade explicam esse fato?
- 02) Imagine um planeta a uma distância de 10.000 anos-luz da Terra. Seria possível que um viajante espacial terrestre chegue a esse planeta com vida?
- 03) Esse quadro, denominado A persistência da memória, é de autoria de Salvador Dalí e foi pintado em 1931. Observe bem as suas características principais e faça um paralelo entre a obra e a Relatividade Restrita.



Como é possível perceber, essa atividade apresentava três situações muito distintas entre si para investigar de que maneira os conceitos da TRR poderiam ser reconhecidos e utilizados na resolução de problemas teóricos. Todas as três questões estão relacionadas com o segundo postulado de Einstein. No entanto, cada uma delas foi construída para avaliar diferentes aspectos.

A questão 01 se baseia no fato de que a velocidade da luz não é infinita. Dessa forma, sempre haverá um atraso entre a emissão de um sinal luminoso na Terra e a sua chegada ao robô que está em Marte. Não se coloca, nesse caso, a questão da dilatação do tempo, visto que não se está fazendo qualquer comparação entre os referenciais na Terra e em Marte. Mas, esse reconhecimento não é trivial.

Oswaldo, por exemplo, utilizou o segundo postulado como argumento, ao dizer que isso se deve a um

“descompasso de tempo entre a Terra e Marte, sendo preciso portanto que o próprio robô possa tomar a decisão do que fazer, caso contrário a diferença de tempo poderia implicar na perda do mesmo, devido uma dificuldade que ele encontrasse e não chegaria resposta para tomar uma decisão”.

A princípio, essa resposta poderia ser classificada como uma tendência a atribuir à dilatação temporal a necessidade de robôs autônomos em Marte. Mas, a parte final, por nós negritada, sugere a causa do “descompasso de tempo” é, para Oswaldo, a distância entre os planetas.

Nessa mesma linha de raciocínio, Thales começou a trabalhar sua explicação a partir do conceito de dilatação temporal, mas, em seguida, se referiu ao atraso do envio do sinal. Para o estudante, os robôs precisam ser autômatos porque “o tempo na Terra é diferente em Marte (...). Sendo assim, as coordenadas dadas por cientistas na Terra levariam um tempo para chegar em Marte (...)”.

Os demais estudantes que propuseram uma explicação fizeram menção à dilatação do tempo. Nesse grupo encontram-se, por exemplo, as seguintes respostas:

“Por causa da forma com que é percebida e vivida o tempo em diferentes ambientes, cada qual irá tomar como referência o tempo no seu ambiente e só é percebido a diferença quando comparados. Então é necessário que quando controlamos ou analisamos corpos que estão em diferentes estados façamos reajustes no tempo, pois perceberemos uma diferença.” (Vivian)

“O tempo na Terra não passa do mesmo jeito que em Marte. O tempo é relativo, precisamos determinar um referencial para conseguirmos analisá-lo. A velocidade é quem influencia (sic) no tempo provocando variações de segundos, horas e até mesmo anos de um lugar para outro. Então os robôs devem ser autônomos porque o tempo real aqui na Terra não é o mesmo de lá.” (Mariana)

“Pelo fato do tempo na Terra ser diferente do tempo de um corpo em velocidades próximas à velocidade da luz, velocidade esta que os robôs possuem quando estão em órbita” (Lara)

“A Relatividade Especial prevê que, um relógio a bordo em Marte não marcará o mesmo intervalo de tempo que outro relógio em repouso na superfície da Terra → condições de funcionamento e sincronizados anteriormente. Essa dilatação temporal não é notada por nós e nem por relógios. Na teoria da relatividade cada observador tem sua própria medida de tempo.” (Nayara)

As respostas indicam que os estudantes conseguiram utilizar um esquema de tempo que se vale de IO ligados à relatividade temporal, mas que o CEA de intervalo de tempo relativo foi determinante na resolução da situação. Pelo fato de tal CEA não ser pertinente para a situação, o que conduziu os estudantes a apresentarem respostas insatisfatórias ao problema. Por isso, a amplitude de ação do esquema de tempo de cada sujeito deve, ainda, ser testada pela análise das outras respostas. É o que será apresentado a seguir.

A segunda pergunta mostrava uma situação totalmente idealizada, pois questionava se uma criança recém-nascida poderia chegar viva em um planeta a 10 000 anos-luz da Terra. Essa situação, para ser respondida corretamente, necessitava da dilatação temporal e de um reconhecimento da relatividade do movimento. Então, o estudante deveria perceber, em primeiro lugar, que a distância de 10 000 anos-luz é medida em relação a um sistema de referência que está fixo na Terra e que, por isso, uma viagem até esse planeta levaria um tempo muito grande, medido a

partir da Terra. Mas, dependendo da velocidade de uma nave, o tempo próprio, medido por quem está na nave, poderia ser equivalente ao tempo de vida de um ser humano.

A análise que se pode fazer a partir das respostas dos estudantes é que, para a maioria deles, o tempo relativo ainda não está consolidado por causa de uma utilização inadequada do conceito de referencial. Dizendo de outra maneira, o esquema de tempo trabalha de forma solidária ao de movimento, cuja organização das atividades é orientada na procura de um referencial privilegiado.

Nesse sentido, Antônio diz que

“mesmo com a velocidade da luz, <<o recém nascido>> gastaria um período de tempo que para os seres humanos seria impossível permanecer com vida. E como não existem velocidades maiores que a da luz, é sim impossível”.

O estudante não faz considerações sobre qual o referencial utilizado para a medição da distância mencionada e, portanto, atribui a essa distância um caráter absoluto. O tempo que a luz leva para percorrer a distância entre os dois planetas, para Antônio, é de 10 000 anos, não importa qual referencial utilizado nessa medição. Essa contradição entre essa resposta e aquela dada à primeira pergunta⁶ revela que o esquema de tempo foi utilizado juntamente com o de movimento e que este contém o CEA de referencial como algo absoluto. Por isso o estudante mostra, ainda, a tendência a interpretar as grandezas físicas tempo e espaço como entidades absolutas.

Isso também ocorre com Osvaldo, que apresenta a ideia de que a situação abordada na questão não seria possível “pois supondo que ela viajasse à velocidade da luz, que é a máxima velocidade, ela ainda demoraria 10 000 anos para chegar a esse planeta, o que impediria que esta chegasse com vida (...)”.

Essa também é a explicação apresentada por Lara, que diz, de forma mais contundente do que Osvaldo, que “a distância já é medida considerando que a viagem seja feita na velocidade da luz”. Para ela, a distância de 10 000 anos-luz já foi medida em relação à Terra e, por isso, o mínimo de tempo que seria gasto na viagem é 10 000 anos.

Dois estudantes apresentaram respostas semelhantes no que diz respeito à consideração de dois referenciais distintos: Mariana e Thales.

Mariana, revelando ter considerado o tempo na Terra, disse que

“Porque esses 10 000 anos estão sendo considerados como tempo na Terra. No espaço e com a velocidade da luz, o tempo passa diferente, já que ele é relativo. Na Terra, os 10 000 anos passam normalmente, mas no espaço esse tempo passa devagar, resultando em um número menor de anos”.

Já para Thales,

“Se fosse possível tal viagem, o foguete teria de ter uma velocidade muito alta, sendo assim, a dilatação temporal seria muito grande também, podendo então chegar com vida ao outro planeta”.

A diferença que pode ser trazida à tona entre as duas respostas é que a primeira ainda não revela uma total desconexão da ideia de movimento absoluto. Isso pode ser concluído por meio de duas afirmações: “no espaço o tempo passa diferente” e “na Terra, os 10 000 anos passam normalmente”. A interpretação da resposta indica que Mariana ainda utiliza um CEA de referencial que identifica a Terra como um sistema privilegiado.

⁶ “A percepção e variação do tempo pode mudar de ambiente para ambiente (...)”

Já na resposta de Thales, há uma lacuna quanto à sua compreensão do significado físico dos 10 000 anos-luz, visto que o estudante não aborda esse tema em sua resposta. Mas, a ideia de que a criança recém-nascida poderia chegar ao outro planeta ainda com vida é uma indicação de que ele reconhece os dois diferentes tempos (ou as duas diferentes distâncias) como válidas em seus respectivos referenciais.

A terceira questão procurava apresentar uma obra de arte que fora realizada por Salvador Dalí em 1931 – A persistência da memória. Esse quadro apresenta três relógios moles, cada um deles marcando uma hora diferente. Segundo a interpretação dada pela Fundação Gala-Salvador Dalí (<http://www.salvador-dali.org/media/upload/arxius/Amics/PersisFranWeb.pdf>, acesso em 17.jan.2013), os relógios moles marcam a relatividade do tempo tal como concebida artisticamente por Dalí.

A utilização dessa questão tinha como objetivo apresentar um cenário bastante aberto para que os estudantes pudessem falar sobre o tempo. Nesse sentido, queríamos investigar que eles seriam capazes de utilizar o CEA de intervalo de tempo relativo em uma situação não científica. A maneira como a questão foi elaborada, solicitando explicitamente uma relação com a Relatividade Restrita, apesar de dirigir as respostas dos estudantes, era essencial para evitar que o problema ficasse por demais aberto.

1. Continuação das atividades:

As atividades de pesquisa seguiram conforme planejado, com o início da apresentação dos fundamentos da TRR. Após um mês do fim das atividades de pesquisa, foi aplicada a última atividade, que serviu como uma síntese do que havia sido estudado até então: velocidade, referencial, tempo e espaço. A situação apresentada é bastante conhecida e serve como exemplo na maioria dos textos introdutórios sobre relatividade. A seguir, as duas perguntas que fazem parte dessa atividade.

1) O múon é uma partícula subatômica que possui um tempo próprio de vida da ordem de $2,2 \times 10^{-6}$ segundos. Ele é gerado em altas camadas atmosféricas, a cerca de 10km da superfície da Terra. Esse múon é detectado na superfície da Terra. Qual deve ser, no mínimo, a velocidade do múon para que isso seja possível do ponto de vista da Mecânica Clássica?

2) Um dos aspectos mais interessantes da Teoria da Relatividade Especial, de Albert Einstein, é o fato de que a velocidade da luz, $3,0 \times 10^5$ km/s, ser a maior velocidade possível no universo. Como é possível ser coerente com essa regra da Teoria da Relatividade Especial e, ao mesmo tempo, explicar a detecção do múon na superfície da Terra?

Apesar de esse exemplo ser muito conhecido, o professor não trabalhou com ele pois sabia que seria objeto do problema a ser apresentado, ao final da sequência, aos estudantes. Dessa forma, ao menos de maneira formal ao longo do curso, os estudantes ainda não haviam sido apresentados ao problema e tampouco à solução do mesmo no âmbito da TRR.

A escolha feita foi a de trabalhar com o problema em duas etapas distintas e complementares. A primeira poderia ser pensada do ponto de vista clássico, calculando-se a velocidade do múon a partir da relação entre a distância percorrida (10km) e o tempo de vida da partícula (10^{-6} s). Isso daria um resultado maior do que a velocidade da luz no vácuo.

É nesse ponto que surge, de fato, o problema a ser resolvido. Como é possível ao múon ter uma velocidade menor do que a que foi calculada e, mesmo assim, chegar à superfície da Terra? Duas respostas possíveis e equivalentes poderiam ser dadas a essa questão. A primeira delas faz menção ao fato de que, do ponto de vista de um referencial fixo na Terra, o tempo de vida do múon é dilatado e, portanto, maior do que 2×10^{-6} s. A segunda diz que, para um referencial no múon, a

distância percorrida por ele é contraída, sendo, portanto, menor do que 10 km. A curiosidade é que nenhum dos estudantes utilizou essa segunda explicação. Lara afirmou que

“Por ele estar em uma velocidade alta, o seu tempo é dilatado, sendo assim, o seu tempo de vida, quando ele se encontra em movimento é maior, desta forma, ele pode ser encontrado na superfície. Considerando que o tempo de vida inicial do múon tenha sido calculado enquanto ele estava em repouso a 10 km da superfície da Terra”.

A última frase indica que a aluna já é capaz de apresentar respostas baseadas na relatividade do movimento. Já Vívian não reconheceu essa característica relativa do movimento e, com isso, afirmou que

“Se tem tal partícula subatômica na superfície terrestre, o que indica é que foi atingida uma velocidade maior do que a da luz, então se contradizendo o fato da velocidade da luz ser a maior possível. Ou então essa partícula veio por outra estrutura, o que poderia se contradizer ou não o fato que Einstein propôs”.

Todos os episódios mostrados, assim como as respostas apresentadas pelos estudantes, serviram de base para que se pudesse avaliar de que maneira os estudantes organizam sua ação quando é necessário abordar problemas ligados ao movimento e ao fluxo do tempo. Como foi possível perceber, os esquemas de movimento e de tempo devem funcionar solidariamente para as questões ligadas à TRR, em um processo de assimilação recíproca entre eles. Isso ocorre porque as situações ligadas à Relatividade exigem o correto estabelecimento de um sistema de referência, o que está na base do funcionamento dos dois esquemas citados.

Se, no âmbito da MC, essa coordenação de esquemas revela-se desnecessária (pois o fluxo do tempo é o mesmo em todos os referenciais), na TRR ela é essencial. Dessa forma, pode-se afirmar que os estudantes como Thales, Lara e Osvaldo efetuaram a assimilação recíproca entre os esquemas de movimento e de tempo. Já os estudantes Cassiano e Nayara não fizeram isso.

Conclusão

A investigação das maneiras pelas quais um sujeito aborda e resolve situações-problema pode revelar as concepções pessoais e de que maneira ele se organiza em ação. Nesse processo, a investigação utilizando a noção de esquema é um referencial teórico que permite verificar como cada sujeito organiza sua ação a partir de situações de ensino.

O episódio discutido neste trabalho foi um pequeno recorte do conjunto de atividades que permitiu concluir um ponto importante sobre a transição entre a mecânica clássica e a relatividade especial. Como a compreensão do tempo relativo é dependente do conceito de referencial, a mesma tendência em se atribuir um caráter absoluto para o referencial será verificada em relação ao tempo. Dessa forma, o sucesso nas resoluções de situações envolvendo a relatividade do tempo está contingenciada à assimilação recíproca entre os esquemas de movimento e tempo. No entanto, se os IO do esquema de movimento estiverem por demais ligados à atribuição de uma pseudo-relatividade, essa característica estará, também, presente na análise de intervalos de tempo medidos em diferentes referenciais. Parece-nos, portanto, que a dificuldade no enfrentamento das situações ligadas à TRR não é uma característica intrínseca desse campo conceitual.

É certo que há obstáculos comuns ao aprendizado da MC e da TRR, ligados à relatividade do movimento. Alguns estudantes que não obtiveram sucesso no aprendizado da TRR já apresentavam dificuldades de utilização dos conceitos clássicos. A diversidade de situações pode contribuir para que esses estudantes consigam ampliar o esquema de movimento e utilizá-lo nos dois campos conceituais. Portanto, pode haver um mútuo favorecimento entre esses dois campos conceituais se eles não forem separados por grandes intervalos de tempo pedagógico. A aproximação desses dois campos conceituais pode favorecer o aprendizado ao fornecer mais contextos para dar significado aos conceitos estudados.

Em princípio, esses novos contextos poderiam contribuir para que ocorresse a assimilação recíproca entre os esquemas de movimento e tempo e, com isso, construir um sistema de relações mais complexos para os fenômenos envolvidos em cada campo conceitual. A interpretação de nossos dados indica ser possível a ocorrência dessa assimilação.

Nesse sentido, a possibilidade de aprender os fundamentos da TRR se dá em função da compreensão de um sistema de conhecimentos que não pode ser verificado pelas experiências mais imediatas da vida comum, como também é verdade para grande parte do que é ensinado em MC. Assim, aprender os fundamentos da TRR exige um processo de forte abstração, já que a construção de um modelo teórico consistente nessa área, por parte do aprendiz, se faz a partir de considerações lógicas decorrentes da adoção dos postulados.

Estudantes que estejam no ensino médio, a princípio, teriam condições de realizar tal tarefa de abstração e reconhecer, nos modelos da TRR, uma lógica própria de relação entre as noções de tempo, espaço e velocidade. Foi o que aconteceu, por exemplo, com Osvaldo e Thales ao longo da pesquisa. Esses estudantes se mostraram capazes de realizar tais operações lógicas e expandir seus modelos explicativos para os fenômenos relativísticos.

No entanto, nem todos os alunos conseguiram completar tal construção, o que conduz à discussão do segundo ponto – as condições para a aprendizagem. Nesse caso, o aprendizado da MC como campo conceitual não parece ter sido determinante para que os estudantes se apropriassem da TRR. Tampouco pode-se dizer, pelos dados apresentados nesta pesquisa, que a MC seja um obstáculo à TRR.

O que nos parece ser essencial é que a noção de tempo relativo necessita de uma compreensão da relatividade do movimento. A aparente tautologia dessa afirmação exige uma discussão mais ampla. A noção de tempo começa a se tornar operacional quando coordenada com a de velocidade. Nesse processo, o sistema de significação próprio da MC admite, mesmo que forma subjacente, que o tempo seja concebido como uma grandeza absoluta relacionada, apenas, à duração dos eventos analisados (os deslocamentos, por exemplo) e independente do sistema de referência utilizado.

Por isso, os esquemas de movimento e de tempo são usados para lidar com situações ligadas à relatividade galileana, partilhando o conceito de velocidade, mas sem a necessidade de uma assimilação recíproca entre eles. Isso porque há uma assimetria entre os IO ligados a cada um desses esquemas: o de movimento necessita de trabalhar com noções relativas e o de tempo, com noções absolutas.

A novidade apresentada pela TRR que investigamos nesta pesquisa é a da ampliação dessa natureza relativa para o tempo. Dessa forma, para dar conta das situações ligadas à comparação entre as durações dos eventos, o sujeito precisa proceder a assimilação recíproca entre os esquemas de tempo e de movimento.

Alguns dos estudantes, como, por exemplo, Nayara, não conseguiram operar com os modelos da TRR, em grande parte, porque não tinham bem desenvolvido o esquema de movimento e tratavam todos os movimentos como absolutos. Nesse sentido, o caso de Lara é interessante porque ela não se negou a trabalhar com a noção de tempo relativo, mas seu esquema de movimento organiza a ação a partir do estabelecimento de um referencial privilegiado para, a partir dele, analisar os deslocamentos e as velocidades. Logo, a característica não totalmente relativa do movimento, revelada pela estudante, também pode ser verificada quando do tratamento do tempo.

No entanto, não basta ter o esquema de movimento bem desenvolvido para que seja possível o aprendizado em TRR. Cassiano, por exemplo, revelou uma boa utilização dos modelos clássicos. No entanto, o estudante não desenvolveu bem os modelos relativísticos. A partir do

momento em que se começou a efetuar a transição para a TRR, Cassiano não aderiu ao modelo e continuou a resolver os problemas com os mesmos IO de antes. Nesse caso, ele parece não ter sido desestabilizado pela problemática apresentada pelo professor, tampouco reconheceu na TRR um modelo passível de ser utilizado para resolver as situações propostas.

A metodologia de ensino para a Física Moderna que se faz a partir da exploração de pontos de tensão da Física Clássica tem sido relatado na literatura e pode ser eficaz no sentido de se criar desequilíbrios e de mostrar o caráter transitório do conhecimento científico. Essa estratégia se revelou boa com alguns estudantes, como, por exemplo, Thales, Osvaldo e Lara. Eles, em níveis diferentes, se revelaram capazes de compreender a crise dos modelos clássicos e de como a nova teoria conseguiu superar tal crise.

A questão colocada a essa metodologia pode ser discutida a partir da consideração de três grupos diferentes de estudantes. Ela só é eficaz se os estudantes já estiverem, de certa forma, familiarizados, pelo menos, com alguns fundamentos de base da MC como a relatividade do movimento e a indistinguibilidade das leis mecânicas dentro de referenciais inerciais. Alunos como Nayara, por exemplo, não foram desestabilizados porque não percebem os pontos onde ocorreu, de fato, a tensão conceitual na virada do século XIX para o XX. No caso dessa estudante, ela sequer utilizava, de maneira satisfatória, os conceitos ligados à MC. Outros alunos, como Cassiano, por creditarem aos modelos clássicos uma verdade absoluta também não perceberam a necessidade de uma reformulação nos modelos explicativos.

A análise dos dados das participações desses três grupos de estudantes nos permite inferir, portanto, que a organização do ensino da MC e da TRR em sequência é aconselhável, mostrando que há campos de validade para que se possam (ou devam) aplicar cada um dos modelos. Há obstáculos ao aprendizado que são comuns aos dois campos conceituais como, por exemplo, uma análise mais egocêntrica do movimento e/ou a atribuição de um referencial absoluto ao movimento. Esses obstáculos podem ser superados quando os dois campos conceituais são colocados em perspectiva e mais situações devem ser dominadas pelos estudantes. Nesse sentido, uma maior variedade de situações pode contribuir não só para uma melhoria na utilização do esquema de tempo no âmbito da TRR, mas no aumento da abrangência do esquema de movimento, abarcando mais aspectos ligados à relatividade.

Defendemos, portanto, a partir dos dados apresentados nesta pesquisa, a tese de que o trabalho em paralelo dos dois campos conceituais fornece melhores elementos para que os estudantes possam desenvolver IO e tomar consciência dos domínios de validade de cada formulação teórica. Essa posição revela-se particularmente importante na medida em que as situações nas quais o sujeito deve lançar mão do conceito de referencial podem fornecer contextos para a discussão da relatividade do movimento e do tempo, analisando os limites de validade dos campos conceituais estudados.

Bibliografia

Arriaseq, I. e Greca, I. M. (2006). *Introducción de la teoría de la relatividad especial en el nivel medio/polimodal de enseñanza: identificación de teoremas-en-acto y determinación de objetivos-obstáculo*. Investigações em Ensino de Ciências. V.11(2). Pp. 189-218.

Arriaseq, I. e Greca, I. M. (2012). *A teaching-learning sequence for the Special Relativity Theory at High School level historically and epistemologically contextualized*. Science & Education. N. 21. p. 827 – 851.

Ayala Filho, A. L. (2010). *A construção de um perfil para o conceito de referencial em Física e os obstáculos epistemológicos à aprendizagem da teoria da relatividade restrita*. Investigações em Ensino de Ciências. V. 15(1), pp. 155-179.

- Balibar, F. (2001). *L'espace-temps de la relativité*. In : PIETTRE, B. *Les temps et ses représentations*. Paris: L'Harmattan. p.73 – 78.
- Carvalho Junior, G. D. e Aguiar Junior, O. G. (2010). *Estudo do Conceito de Tempo em Estudantes de Ensino Médio: Uma Construção de Instrumentos de Análise*. In: Atas do IV Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade. Aracajú: Educon.
- Carvalho Jr, G. D., Aguiar Jr, O. G. e Bruno, S. (2013). *Invariantes operatórios utilizados por estudantes do ensino médio: o caso da transição entre conceitos clássicos e relativísticos*. In : IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências. Atas. Águas de Lindoia : Abrapec.
- Carvalho Jr, G. D. e Parrat-Dayán, S. (2013). *O schème de movimento como organizador da ação em mecânica clássica e relativística*. In : III Colóquio Internacional de Epistemologia e Psicologia Genéticas. Anais. João Pessoa.
- Cellérier, G. (1979). *Structures cognitives et schèmes d'action II*. Archives de Psychologie XLVII – 180.
- Einstein, A. (2011). On the electrodynamics of motion bodies. Acesso em 04 jan., 2011 <http://www.fourmilab.ch/etexts/einstein/specrel/www/>.
- Karan, R. A. S., Cruz, S. M. S. C. S. & Coimbra, D. (2006). *Uma releitura metodológica para o Ensino de Relatividade Restrita*. Atas do X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis.
- Köhnlein, J. F. K. & Peduzzi, L. O. Q. (2005). *Uma discussão sobre a natureza da ciência no ensino médio: um exemplo com a Teoria da Relatividade Restrita*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 22, n. 1: p. 36-70, abr.
- Levrini, O. e DiSessa, A. (2008). *How students learn from multiple contexts and definitions: Proper time as a coordination class*. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 4.
- Martins, A. F. P. (2007). *Tempo Físico: a construção de um conceito*. Natal: Edufrn.
- Ostermann, F.; Moreira, M. A. (2001). *Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio"*. Investigações em Ensino de Ciências, v. 5, n. 1, mar.
- Ostermann, F.; Ricci, T. F. (2004). *Relatividade Restrita no ensino médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 83-102, abr.
- Paty, M. (2001). *L'espace-temps dans la théorie de la relativité*. In : PIETTRE, B. *Les temps et ses représentations*. Paris: L'Harmattan. p. 81 – 106.
- Parrat-Dayán, S. (1993). *La réception de l'oeuvre de Piaget dans les milieux pédagogiques des années 1920–1930*. Revue Française de Pédagogie, n. 104, p. 73–83.
- Parrat-Dayán, S. (1998). *Égocentrisme enfantin : concept structurel ou fonctionnel ?* Bulletin de Psychologique. V. 51 (5) set-out.
- Parrat-Dayán, S. (2012 – 2013). Comunicação pessoal realizada entre setembro de 2012 e junho de 2013 nos Archives Jean Piaget. Genebra – Suíça.

- Piaget, J. (org.). (1966). *L'épistémologie du temps*. Études d'Épistémologie Génétique XX. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1967a). *Biologie et connaissance : Essai sur les relations entre les régulations organiques et les processus cognitifs*. Paris : Gallimard.
- Piaget, J. (org.). (1967b). *Perception et notion du temps*. Études d'Épistémologie Génétique XXI. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1973). *Le développement de la notion de temps chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Rezende Jr. M. F. (2006). *O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial de professores de física*. Tese de Doutorado – CCE – UFSC.
- Roazzi, A. & Castro Filho, J. A. (2001). *O Desenvolvimento da Noção de Tempo como Integração da Distância e da Velocidade*. Psicologia : Reflexão e Crítica. vol.14 n.3 Porto Alegre.
- Santos, R. P. B. (2006). *Relatividade restrita com o auxílio de diagramas*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 23. n. 2. pp. 238-246, ago.
- Saltiel, E. e Malgrange J.-L. (1979). *Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire*. Bulletin de l'Union des Physiciens, n°616, 1325-1355.
- Vergnaud, G. (2012). La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie. *Eduscol*. Acesso em 10 fev., 2012 <http://eduscol.education.fr/cid46598/la-conceptualisation-clef-de-voute-des-rapports-entre-pratique-et-theorie.html>.
- Vergnaud, G. e Récopé, M. (2000). *De Revault d'Allonnes à une théorie du esquema aujourd'hui*. Psychologie Française. N. 45-1. 35-50.
- Vergnaud, G. (2012 - 2013). Comunicação pessoal. Université de Paris 8 – Saint Denis. Entre set., 2012 e fev., 2013.
- Vergnaud, G. (1989-1990). *Psychologie du développement cognitif et Didactique des mathématiques*. Petit XX. n° 22 pp. 51 à 69,
- Vergnaud, G. (1991a). *La théorie des champs conceptuels*. Recherches en Didactique des Mathématiques. v. 10, n. 23, p. 133-170.
- Vergnaud, G. (1991b). *Langage et pensée dans l'apprentissage des mathématiques*. In : Revue française de pédagogie. Volume 96, pp. 79-86.
- Vergnaud, G. (1998). *A comprehensive theory of representation for Mathematics Education*. Journal of Mathematical Behavior, v. 2, n. 17, p. 167-181.

O autor agradece aos árbitros pela análise pormenorizada do texto apresentado e por apresentar significativas contribuições de melhorias.

Recebido em: 26.05.2015

Aceito em: 06.04.2016