

O USO DO PRINCÍPIO DE RELATIVIDADE NA INTERPRETAÇÃO DE FENÔMENOS POR ALUNOS DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

*Maurício Pietrocola
Arden Zylbersztajn*

Departamento de Física - Universidade Federal de Santa Catarina

Introdução:

Uma linha importante de investigação em Ensino de Física tem se preocupado em levantar as concepções pessoais de estudantes sobre conteúdos específicos. Trabalhos nessa linha, elaborados a partir do final dos anos 70 demonstraram que os indivíduos desenvolvem formas de entendimento sobre situações físicas que diferem daquelas propostas pelas teorias científicas ensinadas na escola. Na verdade, o que se tem observado é que essas construções são estruturas conceituais alternativas àquelas científicas tendo um alto grau de valoração para os estudantes. Essa característica das chamadas concepções alternativas explica, em parte, a sua resistência aos processos de ensino.

Educadores preocupados com a aprendizagem em ciências investiram esforços no sentido de conhecer melhor essas concepções com o objetivo de elaborar instrumentos instrucionais que permitissem diminuir a resistência dessas concepções àquelas científicas. Desse esforço de pesquisa resultou uma grande quantidade de trabalhos que permitiu um mapeamento amplo sobre as concepções alternativas nos mais variados campos da física.

Muitas pesquisas apontaram também algumas causas que podem ser associadas à construção de concepções específicas. Elas podem ser divididas em dois grandes grupos: intra-escolar e extra-escolar. Ou seja, as concepções podem ser resultado da incorporação de elementos oriundos da vida do indivíduo fora da escola, como por exemplo as informações vindas do ambiente familiar, da mídia em geral, do ambiente religioso, etc e também do próprio ambiente escolar. A princípio parece estranho admitir que o ambiente escolar possa induzir à formação de concepções alternativas, porém as pesquisas têm indicado que em muitos casos, a informação transmitida pelos professores é processada de maneira diferente pelos alunos, sendo interiorizada segundo padrões próprios.

O presente trabalho se insere nessa linha de pesquisa onde buscaremos levantar concepções dos alunos sobre situações físicas relacionadas à teoria da Relatividade especial.

Justificativa

Apesar de enquadrar-se na linha de pesquisa em concepções, será necessário destacar alguns pontos que parecem sugerir uma diferenciação das principais pesquisas nessa área. Como expusemos acima, os trabalhos realizados têm procurado traçar o perfil das concepções dos alunos sobre **conceitos** físicos. Por exemplo, pesquisas levantaram as concepções dos alunos sobre a dinâmica dos movimentos, sobre o uso do conceito de energia, outras buscaram entender como os alunos interpretavam os conceitos de calor e temperatura. Os resultados obtidos foram todos de grande importância para estabelecer as concepções alternativas como uma realidade. Eles serviram também de embasamento para a elaboração de estratégias específicas de ensino visando a modificação destas em direção aos conceitos cientificamente aceitos. Ainda como resultados dessas pesquisas, foi possível compreender um pouco sobre os processos de construção de conhecimento físico por parte dos alunos. De certa forma, poderíamos dizer que essas pesquisas fornecem subsídios para o entendimento do processo de construção conceitual dos conhecimentos físicos por parte dos alunos.

Embora fundamental na construção do conhecimento físico, os conceitos não são os únicos elementos aí presentes. Na verdade, trabalhos epistemológicos e históricos têm evidenciado a importância dos princípios na construção de teorias físicas. Eles funcionam como guias genéricos na produção científica, e, como diria Einstein, são responsáveis pela elaboração de teorias com uma perfeição lógica e fundamentação segura (1950, pag. 54). Neste trabalho, o foco de atenção será dirigido para a utilização de Princípios físicos. Em particular, para o uso do Princípio de Relatividade.

Parece-nos importante destacar o papel do Princípio de Relatividade na estruturação da Teoria da Relatividade Especial. Embora muitos trabalhos históricos e epistemológicos ofereçam versões diferentes sobre as origens da teoria, parece-nos existir um consenso sobre a importância do Princípio da Relatividade na sua elaboração.

Passando para uma análise histórica, é certo que o Princípio de Relatividade apresentado por Galileu e precisado por Newton estava ameaçado na óptica e no eletromagnetismo do século XIX. A introdução do conceito de éter, primeiramente apenas óptico e posteriormente eletromagnético sugeria aos cientistas da época que as leis físicas não estariam em acordo com Princípio de Relatividade. A formulação privilegiada das equações de Maxwell para um observador parado em relação ao éter, parecia indicar a possibilidade de detecção de um referencial privilegiado e a determinação de velocidades absolutas.

A teoria eletromagnética de Lorentz, baseada na idéia de éter e nos campos elétricos e magnéticos que expressavam seu estado, desenvolvia-se satisfatoriamente, constituindo um programa promissor. As quatro leis que descreviam as propriedades do éter davam conta da interpretação de uma grande quantidade de dados experimentais, sugerindo que as bases físicas dos fenômenos eletromagnéticos estavam bem fundamentadas. Essa convicção no êxito da teoria eletromagnética gerou um movimento na comunidade científica da época em direção a extensão da visão eletromagnética a todos os ramos da física. (Miller 1981)

A continuidade desse programa de pesquisa levou a busca e interpretação de fenômenos eletromagnéticos sobre referenciais em movimento. O campo de pesquisa designado como “eletromagnetismo dos corpos em movimento” deparou-se com vários problemas quando levado a determinar efeitos decorrentes do movimento relativo ao éter. Embora a pesquisa avançasse no eletromagnetismo como um todo, em particular com a teoria do elétron proposta por Lorentz em 1904, a parte destinada aos corpos em movimento sofria de sua incompatibilidade com a invariância das leis físicas com relação ao movimento uniforme.

A Teoria da Relatividade Einsteiniana é introduzida nesse contexto, tomando o princípio de relatividade como guia é tirando daí as consequências necessárias.

Tomando por base esse papel do PR na constituição da Teoria da Relatividade, nossa pesquisa se propõe a investigar o seu valor na atividade interpretativa dos alunos. Nosso objetivo é dirigido à incorporação e à utilização do Princípio de Relatividade por alunos universitários de um curso de física.

Metodologia

Foram selecionados alunos iniciantes e formandos dos cursos de licenciatura e bacharelado. A coleta de dados da pesquisa centrou-se exclusivamente no método de entrevistas clínicas. As entrevistas individuais versavam sobre situações físicas apresentadas ora em montagens experimentais simples, ora através de descrições verbais. Aos alunos era solicitado imaginar que a sala de entrevistas constituía-se num vagão de trem que estaria em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. O movimento do trem podia ser hipoteticamente identificado por um velocímetro digital, situado no interior do vagão. O trem nas situações apresentadas poderia supostamente se mover com duas velocidades diferentes: uma baixa e outra muito alta. A velocidade baixa foi geralmente mencionada como 50Km/h e a alta dependia da situação e do aluno, variando entre 500, 5000, 50000Km/h ou algo próximo a velocidade da luz. O importante na identificação da velocidade era que a pergunta versasse sobre um movimento próximo do cotidiano, e outro fora desse domínio.

As situações físicas sobre as quais a entrevista versou relacionavam-se aos conteúdos de mecânica termologia, eletricidade/magnetismo, óptica e acústica. A base de escolha dos fenômenos foi varrer o domínio da Física.¹ Duas situações um pouco diferentes foram anexadas ao roteiro de entrevista: uma sobre temperatura do corpo humano e outra sobre pressão arterial.

Todos os fenômenos eram apresentados aos alunos supondo inicialmente o trem (e conseqüentemente o vagão) em repouso. Em seguida, era pedido ao aluno que previsse o comportamento do mesmo fenômeno com o trem andando em baixa e depois alta velocidade. As respostas dos alunos deveriam ser justificadas.

Resultados

Os resultados obtidos foram sintetizados em tabelas. Nela apresentamos as respostas afirmativas ou positivas dos alunos com relação a cada pergunta. As justificativas foram analisadas através das fitas, e permitiram classificar os alunos em categorias de acordo com os argumentos apresentados.

As situações analisadas pelos alunos eram compostas de fenômenos mecânicos e não mecânicos (eletricidade, óptica, magnetismo etc). O princípio da inércia pode ser utilizado como instrumento teórico na interpretação clássica de fenômenos teóricos. Dessa forma, a primeira classificação dos alunos ocorreu entre aqueles que haviam respondido corretamente às questões envolvendo situações mecânicas dos outros. Os alunos tinham condições de responder corretamente a essas questões, visto que eles haviam estudado esse conteúdo duas vezes, no segundo grau e nos cursos básicos da universidade.

Porém, verificamos que alguns alunos não apresentavam um padrão de raciocínio compatível com a dinâmica inercial. Outros extrapolaram o domínio de validade da mecânica, aplicando o conceito de inércia a questões não-mecânicas.

Para operacionalizar a classificação dos alunos nesses dois grupos, as respostas dos alunos com respeito as questões 1 e 2 foram tomadas como parâmetros. Um aluno foi classificado como inercial se tivesse respondido corretamente (negando a modificação do fenômeno) às duas questões. Caso contrário, ele seria enquadrado como não-inercial. Dessa classificação resultou que 28 % dos alunos eram Não-Inerciais (NI) e 72% Inerciais (I).

Esse resultado está de acordo com resultado de pesquisas especialmente destinadas à utilização da dinâmica inercial. (Mac Dermott 1983).

¹A lista de questões encontra-se em anexo.

Com situações diferentes daquelas normalmente analisadas nas disciplinas, a utilização pelos alunos de esquemas alternativos se intensifica.

Passaremos a seguir a apresentar e discutir algumas estratégias utilizadas pelos alunos para responder às questões.

Estratégias de resposta:

1- Exportação do conceito de Inércia ou Referencial Inercial

A classificação dos alunos em grupo de inercial ou não inercial relaciona-se, como mencionamos anteriormente, ao tipo de esquema conceitual incorporado da mecânica clássica pelo aluno. Assim, do ponto de vista científico, é totalmente correto identificar o fenômeno no trem em movimento com aquele que ocorre no trem parado em relação a estação, como apresentadas nas questões 1 e 2, valendo-se do Princípio de Inércia ou da noção de referencial inercial. Porém, encontramos uma série de respostas de alunos que não restringiam seu uso às questões mecânicas. Eles usavam esse mesmo tipo de argumentação para fenômenos envolvendo a eletricidade, o magnetismo, a propagação luminosa. Esses fenômenos, a princípio, encontram-se fora do domínio estrito da mecânica, e conseqüentemente os conceitos de inércia e referencial inercial deveriam ser aí inoperantes.

2 - Velocidade de conjunto

Outra estratégia utilizada pelos alunos para construir suas respostas baseava-se na inexistência de velocidade entre as partes que compunham o fenômeno. Pelo fato de todos os objetos no interior do trem se moverem em conjunto, a situação era identificada ao repouso. Não parecia importar aos alunos se o movimento do conjunto seria ou não uniforme, numa postura contrária a física inercial, e mesmo à Relatividade Restrita. O simples fato de observador e experimento estarem parados um em relação ao outro seria critério suficiente na determinação do comportamento do fenômeno.

Essas respostas deixam claro que a base da argumentação encontra-se ligada a velocidade comum que todos os elementos do sistema têm. Não houve a preocupação em precisar na resposta se o movimento compartilhado era retilíneo e uniforme.

3 - Velocidade sem relação com o fenômeno

Outro ponto que chamou atenção na análise era a freqüente alegação dos alunos de que não haveria relação da velocidade do trem com o fenômeno enfocado. Muitas respostas pareciam exprimir a idéia de que a questão era absurda, como se ao negá-la não houvesse necessidade de nenhuma justificativa. Nessa concepção, o movimento do trem não afetaria as características dos fenômenos.

As questões com maior incidência de respostas desse tipo foram as não-dinâmicas, isso é da terceira em diante.

Esses alunos não buscavam complementar essa afirmação valendo-se de uma avaliação mais analítica da situação apresentada. Nós entendemos por avaliação analítica aquela feita sobre um modelo físico construído para representar a situação. Nossa avaliação é que a negação de mudanças ocorre pois os modelos elaborados pelos alunos não comportavam um questionamento dessa natureza. Seus modelos não serviam de base para analisar e negar possíveis modificações introduzidas pela velocidade do trem em questão, apenas inviabilizam a problematização da situação em um referencial móvel.

4 Uso de analogias

Ao longo das entrevistas, constatamos também o uso freqüente de analogias pelos alunos nas suas justificativas. Para negar que determinado fenômeno modificasse seu comportamento com o trem em movimento, os estudantes buscavam trazer exemplos de situações invariantes no seu dia-a-dia, onde fenômenos não se modificavam quando percebidos em situações em movimento.

Mesmo quando eram questionados sobre o que ocorreria com o trem em altas velocidades, muitos alunos não conseguiram articular novas respostas nesse contexto. Muitos simplesmente ratificaram suas respostas anteriores (em baixas velocidades) afirmando que não se estava introduzindo nenhuma modificação de qualidade à situação em questão. Essa postura pode ser interpretada como uma tentativa de extrapolar o domínio cotidiano, porém sem nenhum argumento de ordem teórica. Basicamente o aluno valia-se de uma intuição pessoal. O uso de analogias, nesse sentido, parece uma boa, estratégia cognitiva para a interpretação do real imediato, mas ineficiente quando se trata de extrapolar, fazer previsões sobre domínios fora do cotidiano.

5 - Ruído Relativístico

As categorias de respostas anteriores em nada se relacionavam com conhecimentos ligados à teoria da relatividade. No entanto, um grupo de alunos valeu-se de tal conhecimento

na confecção de suas respostas, porém de forma diferente daquela contida na própria teoria. Esses alunos demonstraram ter um conhecimento superficial da teoria, e ao incorporar alguns conceitos da mesma à sua estrutura interpretativa chegaram a conclusões contrárias daquelas previstas pela teoria da relatividade. Eles afirmavam que com o trem em movimento haveria mudanças nos fenômenos, pois o tempo se dilataria, o espaço se contrairia e a massa aumentaria.

Esse item foi objeto de um trabalho específico intitulado " Ruído Relativístico" e que se encontra publicado nessas atas.

CONCLUSÕES

O resultado que mais surpreendeu nessa pesquisa foi a ausência de menção explícita ao Princípio de Relatividade nas respostas. Não foi possível detectar em nenhuma delas argumentos relativísticos que explicassem a inexistência de mudanças nos fenômenos apresentados.

Em muitos casos os alunos negavam a existência de mudanças nos fenômenos no trem em movimento. O que parece emergir da análise dessas respostas é que para eles as situações apresentadas não se constituíam em problemas ao seu conhecimento mais imediato, composto basicamente pela mecânica clássica e pelo senso comum. Embora muitos alunos pudessem fazer uso de conteúdo relativístico, visto terem tido disciplina específicas, as questões eram respondidas através de esquemas conceituais mais simples. Essa falta de problematização pode explicar o fato do Princípio de Relatividade não ter sido avançado como argumento para negar a mudança dos fenômenos.

Algumas autores tem enfatizado a importância na detecção de problemas para a utilização das estruturas teóricas. (Bachelard 1938, Delizoicov, 1991) Por uma questão de economia cognitiva, não se utiliza uma nova teoria se a antiga dá conta de interpretar a situação apresentada. O que pode ser inferido a partir dessa análise, é que “situação problemática” e “nova estrutura teórica” compõem um par indissociável.

No caso desta pesquisa, a inexistência de uma situação problemática à física clássica, que poderíamos definir como situação-problema relativística, não motivou o uso de esquemas conceituais da relatividade.

Essa associação problema-teoria dá conta de interpretar outro resultado obtido dessa pesquisa. Como foi relatado, para muitos alunos os efeitos de dilatação de tempo, contração de espaço e aumento de massa expressavam a realidade em altas velocidades. Para eles, esses efeitos expressavam facetas da realidade veiculadas nas revistas científicas, disciplinas

etc. Porém, a incorporação desses elementos conceituais não foi acompanhada do contexto problemático que os gerou. Essa situação resultou na confecção de contextos problemáticos pessoais que podiam acomodar os conceitos relativísticos. O aparecimento do Ruído Relativístico detectado nas respostas dos alunos pode ser entendido como um desses contextos problemáticos pessoais.

Dessa forma, a falta do contexto problemático original da teoria da Relatividade gerou dois procedimentos diferentes: um que dispensava o seu conteúdo, pois não havia contexto onde este poderia se ancorar; outro que criava contextos problemáticos alternativos para dar sentido ao conteúdo incorporado. A ausência do Princípio de Relatividade nas respostas dos alunos seria reflexo da primeira e o Ruído Relativístico da segunda.

ANEXO

Situações analisadas

Questão 1 - Pêndulo - Um objeto preso a um barbante era colocado a oscilar paralelamente à direção longitudinal da sala.

Questão 2 - Volei - Pedia-se aos alunos que imaginassem que no trem haveria um "vagão esportivo". A quadra dispunha-se também na direção longitudinal do trem. Era solicitado ao aluno analisar os vários fenômenos que ocorrem durante uma partida.

Questão 3: Ebulição - Na terceira situação apresentava-se aos alunos um becker com água que era levada a ferver.

Questão 4: Bexiga - Essa situação constituía-se de uma bexiga de borracha cheia de ar, considerada totalmente esférica para simplificar a análise. As características realçadas eram o volume do balão e sua forma.

Questão 5 - Nível de água - Uma cuba de base quadrada contendo água era analisada. O nível da água e a forma horizontal da sua superfície eram pontos destacados na apresentação da situação.

Questão 6 - Interação elétrica. - Nessa situação, um esquema representava duas esferas metálicas carregadas, apoiadas em hastes isolantes fixas sobre a mesa, alinhadas longitudinalmente e que se repeliam.

Questão 7 - Bússola - Uma bússola e dois ímãs eram dispostos dispostos em forma de "L", com a bússola no vértice. A discussão era conduzida para que o aluno relacionasse a direção da agulha da bússola com a posição dos ímãs, considerando-se a polaridade e distância do mesmo.

Questão 8 - Reflexão da luz - Apresentava-se um esquema onde um raio de luz refletia-se num espelho plano. A luz propagava-se paralelamente a direção longitudinal da sala e refletia-se na direção transversal.

Questão 9 - Refração da luz - Um esquema apresentava um fenômeno de refração numa lente convergente. Um feixe paralelo de luz branca incidia paralelamente à direção longitudinal da sala e uma lente convergia-os para seu foco. Pedia-se ao aluno que analisasse o fenômeno, em particular a posição do foco da lente.

Questão 10- Campainha - Nesta situação, um esquema representava quadro pessoas ao redor de uma mesa no interior do trem. No centro da mesa encontrava-se uma campainha que podia emitir som e um lampejo.

Questão 11- Pressão arterial e temperatura do corpo - Essa questão referia-se a fenômenos relacionados ao metabolismo humano. Inicialmente perguntava-se ao entrevistado se ele esperaria que a pressão arterial de uma pessoa se modificasse com o trem em movimento. O mesmo era feito sobre a temperatura corporal.

Questão 12 -Previsão - Dizia-se ao aluno que o placar que indicava velocidade do trem parara de funcionar. Estando ele no interior do trem, perguntávamos se ele poderia inferir o estado de movimento do trem por qualquer método interno ao mesmo.

BIBLIOGRAFIA

Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin, 1989.

Delizoicov, D. (1991). *Conhecimento. Tensões e Transições*. Tese de doutorado, Faculdade de Educação, USP, 1991.

Einstein, A. (1950). *Out of My Later Years*. New York: Philos. Library, 1950.

Miller, A. (1981). *Albert Einstein's Special Theory of Relativity*. Adison-Wesley, [Massachusetts, 1981.

MacDermott, L. (1983). *Critical review of research in the domain of mechanics*. Proceeding of the INTERNATIONAL SUMMER WORKSHOP: RESEARCH ON PHYSICS EDUCATION. La Londe Les Maures, p. 136, 1983.