

O ENTENDIMENTO DE ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO SOBRE SISTEMA DE REFERÊNCIA E MOVIMENTO RELATIVO

Oto Borges

Programa de Pós-graduação em Educação e Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais
oto@coltec.ufmg.br

Amanda Amantes

Programa de Pós-graduação em Educação da Universidade Federal de Minas Gerais
amanda@copiadoradelta.com.br

Resumo

Nesse artigo apresentamos um estudo sobre o entendimento, por alunos das três séries do ensino médio de uma escola pública Federal, dos conceitos de sistema de referência e movimento relativo. Apresentamos dados obtidos de um questionário contendo questões em que o estudante declara por escrito seu entendimento sobre sistema de referência e movimento relativo e outras questões que para serem resolvidas exigiam que ele mobilizasse esses conceitos. A partir da análise desses dados pudemos constatar que os estudantes, em geral, conseguem operar mais facilmente com o conceito sem, no entanto, explicitá-lo adequadamente. Constatamos também que os alunos da terceira série tiveram um desempenho melhor do que os de primeira série e estes, melhor que os de segunda série. Isso pode ser um indício de que, ao estudar determinados conceitos em diferentes fases da aprendizagem, mesmo que de forma subsidiária, o estudante tem maior possibilidade de apreender com mais propriedade esses conceitos, tendo em vista que na situação de ensino apresentada, somente os alunos de primeira e terceira séries haviam estudado recentemente o tema em investigação.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho relatamos um estudo em que investigamos o conhecimento de estudantes do Ensino médio sobre o tema de movimento relativo e referencial inercial. Ao tentarmos especificar de forma explícita o que entendemos ser um determinado conhecimento, percebermos ser essa uma tarefa difícil, e normalmente somos forçados a reconhecer que o mesmo envolve múltiplas dimensões (FRADE & BORGES, 2002). Uma forma usual de se analisar o conhecimento é empregar dicotomias (ERNEST, 1997), tais como, saber como versus saber que (RYLE, 1949), conhecimento procedimental versus conhecimento declarativo (HIEBERT, 1986), conhecimento instrumental versus conhecimento relacional (SKEMP, 1976), conhecimento tácito versus conhecimento explícito (POLANYI, 1958, 1967).

Essa natureza multidimensional do conhecimento é que torna também difícil explicitar o que é um entendimento ou uma compreensão. MILLAR E KING (1993) reconheceram isso ao discutirem as pesquisas sobre as concepções ou modelos de eletricidade. Ao discutirem as pesquisas anteriores sobre o tema eles consideraram que elas tomavam as explicações dos alunos como evidências de seu entendimento sobre eletricidade. Questionando de forma implícita os métodos utilizados em tais pesquisas, eles argumentam a favor de uma definição mais operacional daquilo que podemos chamar de “entendimento de voltagem”. Essa definição deveria ser feita em termos de performances específicas, tais como a habilidade de fazer previsões corretas sobre leituras de voltímetros conectados a um circuito simples em série.

Em outro trabalho, MILLAR E LIM BEH (1993) adiantam um argumento instrumentalista forte de que não existe “uma coisa tal como ‘entendimento de voltagem’, a não ser enquanto “*uma habilidade para fazer previsões corretas em situações nas quais (aquilo que os cientistas denominam de) voltagem está envolvida*”. E retornam o argumento de Millar e King ao afirmarem que “o entendimento está na performance e não simplesmente evidenciado por ela”.

Essa posição de Millar e seus colaboradores é compatível tanto com as visões filosóficas que reconhecem estar o significado das palavras associado ao seu uso de forma socialmente acordada e aceitável (Wittgenstein, 1953), e mesmo com aquelas posições que reconhecem ser o conhecimento validado nas performances públicas, como Ayer afirmava: “ter conhecimento é ter o poder de exibir uma performance bem sucedida” (1956, p.9). Mas a posição deles também é compatível com as teorias que utilizam o conceito de conhecimento tácito, como as de RYLE(1949), POLANYI (1959, 1967), KUHN (1970), KITCHER (1984), SCHÖN(1987). Segundo tais teorias nem todo conhecimento pode ser explicitado. Nas palavras de Polanyi “sabemos mais do que podemos dizer”.

Neste trabalho, investigamos o entendimento dos alunos de ensino médio sobre movimento relativo e sistema de referência inercial, pedindo que elaborassem e registrassem por escrito o seu entendimento destes termos e que resolvem diversas questões relativas a situações descritas, nas quais eles precisariam usar seu conhecimento destes temas para serem bem sucedidos.

Nossos resultados mostram que o grau de sucesso dos estudantes nas questões relativas a situações específicas independente de sua performance nas questões de explicitação do seu entendimento. E tomamos isso como uma evidência de que o conhecimento não pode ser reduzido a um mero componente declarativo.

REFERENCIAL TEÓRICO

Millar (1989), em um texto mais antigo, apresenta uma reinterpretação da posição de Khun sobre a importância de se aprender a ciência paradigmática. Segundo Millar, o argumento de Khun é que novas idéias, aquelas que levam a revoluções científicas, só surgem como um resultado da imersão do cientista nos paradigmas existentes e que sem um forte comprometimento com o funcionar do paradigma, as anomalias nunca serão consideradas seriamente a ponto de provocar a mudança revolucionária. E desta interpretação Millar retira uma implicação para o ensino de ciências: “*se Khun está correto, a criatividade científica surge, não de encorajar os aprendizes (principalmente nos primeiros estágios) a pensar divergentemente, mas da sua imersão nos paradigmas correntes*”.

Se Millar está certo e se houver consenso de que a mecânica newtoniana ainda é um paradigma atual, capaz de dar conta da maioria dos problemas científicos e tecnológicos em nível macroscópico, então nossos livros-textos de física para o ensino médio fazem o que se poderia esperar deles.

Historicamente as afirmações do princípio da inércia e da relatividade do movimento surgiram juntas e interligadas, um princípio esclarecendo e sustentando o outro. Essa inter-relação foi essencial para o desenvolvimento da mecânica (GARCIA, 2002).

Os livros didáticos de ensino médio normalmente enunciam o princípio da relatividade do movimento, mas são menos claros ao discutir e usar de forma sistemática a idéia de sistema de referência. Por exemplo, ALVARENGA e MÁXIMO (2000), um dos livros-texto mais influentes no ensino médio, enunciam claramente o princípio da relatividade do movimento –“*o movimento de um corpo, visto por um observador, depende do referencial no qual o observador está situado*” (p.46) – mas a noção de referencial é introduzida apenas de

forma denotativa e implícita, sem ser enunciada formalmente. O mesmo é feito do volume 1 do livro do PSSC (1966), mas o mais paradigmático livro-texto de física (HALLIDAY, RESNICK & WALKER, 1997) oferece uma formulação explícita do que é sistema de referência.

Na prática de sala de aula, seja ao exporem o tema, seja ao exporem a solução de exemplos resolvidos ou discutirem as questões de final de capítulo, os professores normalmente utilizam, sem muitas elaborações e como se fosse natural, a idéia de referencial fixo em um ponto, ao mesmo tempo em que declaram ser o movimento dependente do referencial adotado. O uso de referenciais fixos em objetos móveis é menos freqüente, ainda que seja usado na solução de certos exercícios. Da mesma forma, não se distingue normalmente os referenciais inerciais dos não inerciais. O livro-texto de Alvarenga e Máximo chega a mencionar a palavra referencial inercial no contexto da discussão do conceito de força centrífuga.

Desta forma, e em geral, no ensino médio a aprendizagem sobre movimento relativo e sobre sistema de referência se dá de forma subsidiária, sem ser o foco do ensino e da aprendizagem. Os conhecimentos são ensinados ao se discutir exemplos prontos ou, ainda, questões e exercícios propostos no final dos capítulos. Isso certamente estaria de acordo com a visão que MILLAR (1989) atribui a Khun, de que aprendemos ciência não pela aquisição de estruturas teóricas completas e inter-relacionadas entre si, mas familiarizando-se com um conjunto concreto de soluções de problemas e aceitando-as como válidas e como paradigmas de formas para abordar problemas similares.

Ora, se os estudantes aprendem sobre movimento relativo e sobre referencial inercial principalmente através de uma coleção de problemas padronizados, então deveríamos esperar que eles tivessem melhor desempenho em questões relativas a situações específicas do que em declarar o seu entendimento. Na verdade, se os estudantes não têm acesso a uma exposição conceitual clara sobre sistema de referência e movimento relativo, não era de se esperar que eles apenas aprendessem os aspectos procedimentais e não os declarativos de tais temas? Acreditamos que não seja assim, pois a aprendizagem dos aspectos procedimentais não ocorre em separado da aprendizagem de aspectos declarativos. Na verdade acreditamos que a aprendizagem de ciências é um processo mais complicado. Lembramos que ao resolver um exemplo no quadro o professor desenvolve uma argumentação, em que expõe a sua compreensão da situação e dos conceitos envolvidos na solução. Ainda que possa ser fragmentada ou mal estruturada, essa argumentação ajuda o estudante a aprender os conceitos.

Não podemos esquecer que, no plano individual, a formação de conceitos não é um processo simples e sequer linear. Da mesma forma que o ensino não é um processo de mera transmissão de informação, a aprendizagem não ocorre apenas pela recepção de informações. Ao resolver exercícios, assistir ao professor resolver certos exemplos e expor as suas respostas às questões e problemas, o estudante apreende aquilo que Polanyi (1959) chama de pistas fragmentárias, que integradas através de seu esforço pessoal, formam a sua compreensão de movimento relativo e de sistema de referência inercial. Essas pistas fragmentárias ou dicas podem ser tanto pedaços de argumentações quanto enunciados de princípios, formulados com diversos graus de clareza e coerência, ou ainda, dicas sobre como aplicar os princípios e idéias na solução de problemas. Ocorre aquilo que WITTGENSTEIN descreve “*ao começarmos a acreditar em qualquer coisa, o que acreditamos não é uma simples proposição, ele é um sistema completo de proposições (luz surge gradualmente sobre o mundo)*” (1969, p.21).

É por que há essa aprendizagem, integrando os conhecimentos mobilizados subsidiariamente na solução das questões e problemas em uma compreensão de movimento relativo e sistema de referência inercial, que acreditamos ser possível aos estudantes articularem uma explicação para o seu entendimento destes conceitos. Não consideramos

então, as respostas dos estudantes a questionamentos diretos sobre o seu entendimento como uma evidência de seu conhecimento, mas como uma pista do estado de articulação da sua compreensão, que pode ser mais ou menos facilmente explicitada. O fato de não conseguir expor de forma clara seu entendimento sobre sistema de referência não implica na incapacidade do estudante de saber operar com o conceito. Da mesma forma, ser capaz de explicitar o entendimento de um conceito não garante um desempenho eficaz em usar o mesmo conceito em situações específicas e problemáticas.

INSTRUMENTO DE PESQUISA

Nosso instrumento de pesquisa foi um questionário com seis questões abertas a respeito de referencial inercial. A primeira e a sexta questão solicitavam que o estudante explicitasse o seu entendimento dos conceitos de movimento relativo e de sistema de referência. A questão foi repetida para investigar se a realização da tarefa tem algum efeito sobre a explicitação de seu entendimento dos conceitos, mas essa parte da investigação não será relatada aqui. As demais questões exigiam que o estudante usasse seu conhecimento sobre movimento relativo e sobre sistemas de referência para resolvê-las. A segunda questão que também não analisaremos neste trabalho propunha que o estudante descrevesse um mesmo evento de dois referenciais distintos. As demais questões pretendem estudar como o conhecimento estava sendo usado em situações específicas, as quais nós tomamos como expressão parcial da compreensão do tema, no mesmo sentido com que Millar e seus colaboradores usam esse termo.

O questionário foi aplicado a 409 estudantes do ensino médio de uma escola pública federal, sendo 165 da primeira série, 119 da segunda série, 108 da terceira série e 17 que não conseguimos identificar a série. É importante ressaltar que o questionário foi aplicado cerca de seis semanas após o início do ano letivo, tendo sido esse um ano atípico e tumultuado, pois o calendário escolar estava muito alterado em virtude de uma greve docente muito longa.

Os alunos da terceira série haviam acabado de estudar uma unidade sobre conservação da quantidade de movimento em que tiveram oportunidade de retomar os conceitos relativos ao tema do movimento, ainda que de forma não organizada e explícita. Os alunos da primeira série haviam acabado de estudar as leis de Newton, e os da segunda série estavam estudando eletrostática.

As respostas dadas ao questionário foram categorizadas em um esquema de três categorias, descritas a seguir.

As respostas à primeira questão foram categorizadas como explicitadas, parcialmente explicitadas e não explicitadas. Consideramos explícitas aquelas respostas que traduzem claramente um entendimento correto, no sentido de que coincide com o consenso cientificamente aceito, sobre referencial inercial ou movimento relativo. Nestas respostas as idéias a respeito do conceito estão explicitadas de forma clara e sem ambigüidade. As respostas parcialmente explicitadas são aquelas que apresentam uma idéia não muito clara a respeito do conceito, mas possuem indícios que nos permitem inferir que o entendimento do estudante é correto, ou ainda aquelas respostas mais claras, que só são parcialmente corretas, pois contêm algum elemento de erro. Já as respostas não explicitadas são aquelas respostas confusas, vagas e que não têm sentido, ou aquelas respostas que apresentam idéias completamente erradas a respeito de referencial inercial ou de movimento relativo.

As demais questões exigiam não só uma resposta dicotômica (falso ou verdadeiro, sim ou não), mas também exigiam uma justificativa para a resposta dada. Nós categorizamos essas questões em corretas, parcialmente corretas e incorretas. Respostas corretas foram aquelas que o estudante acertou e justificou corretamente a resposta. Consideramos parcialmente corretas

as respostas certas sem a devida justificativa e com justificativas que continham erros. Nas respostas incorretas os estudantes erram a resposta e não apresentam justificativa ou erram a resposta e a justificativa. Para fazermos análise e calcularmos escores de performance, atribuímos às respostas corretas o escore 2, às parcialmente corretas o escore 1 e às respostas incorretas o escore zero.

Nas questões 4 e 5, o enunciado apresentava uma situação envolvendo dois referenciais inerciais que se moviam um relativamente ao outro, com velocidade relativa constante e não nula. Em cada questão formulou-se 6 afirmativas e, para cada uma delas, o estudante deveria avaliar se era falsa ou verdadeira e justificar sua resposta.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

O resultado da categorização das respostas dadas ao item **a** da primeira questão está na tabela 1, que mostra a distribuição de alunos por série, segundo o grau de explicitação de seu entendimento de “sistema de referência”. Inicialmente notemos que 49,9% dos estudantes não conseguiram explicitar qualquer entendimento desse conceito. Além disto apenas 9,8% conseguem explicitar completamente um entendimento aceitável de “sistema de referência”. Essa distribuição é essencialmente mantida quando distribuímos os alunos por série, à exceção do percentual de alunos da terceira série que explicitam parcialmente seu entendimento. Parece que estudar uma nova unidade de mecânica, mesmo que explicitamente ela não aborde o tema de sistema de referência e movimento relativo, foi benéfico no sentido de contribuir para que os estudantes pudessem explicitar parcialmente o seu entendimento. Isso pode ser um pequeno indício de que currículos em espiral favorecem a compreensão de conceitos mais abstratos e elusivos.

TABELA 1 - ALUNOS POR SÉRIE SEGUNDO O NÍVEL DE EXPLICITAÇÃO DO ENTENDIMENTO DE SISTEMA DE REFERÊNCIA

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	N	85	70	39	10	204
	% Série	51,5	58,8	36,1	58,8	49,9
Explicitada Parcialmente	N	62	39	59	5	165
	% Série	37,6	32,8	54,6	29,4	40,3
Explicitada	N	18	10	10	2	40
	% Série	10,9	8,4	9,3	11,8	9,8
Total	N	165	119	108	17	409

A tabela 2 mostra a distribuição das respostas dos alunos ao item 2 da primeira questão do questionário, por série e segundo o grau de explicitação do seu entendimento do que seja “movimento relativo”. Podemos deduzir que esta foi uma questão mais fácil, pois 35,7% dos estudantes conseguem explicitar um entendimento aceitável do que seja movimento relativo, enquanto que apenas 24,2% não conseguem explicitar qualquer nível de entendimento.

Esse resultado contrasta com a explicitação do entendimento de “sistema de referência”, mas é um resultado perfeitamente compreensível se lembrarmos que os estudantes não foram explicitamente instruídos sobre sistema de referência e movimento relativo e constroem seu entendimento a partir do uso subsidiário desses conceitos durante a solução e discussão de questões e exercícios (problemas de final de capítulo). Assim, como é

um entendimento abstraído de seu uso subsidiário em situações de aplicabilidade dos conceitos, é razoável supor que os conceitos mais instrumentais e operacionalmente visíveis são entendidos melhor se comparados com os conceitos mais elusivos. Ou seja, como sistema de referência é uma idéia mais abstrata do que movimento relativo que, por sua vez, é mais freqüentemente utilizado em situações de ensino (exercícios, exemplos, problemas resolvidos), é razoável esperar que o entendimento deste último seja mais fácil de ser explicitado.

Poderíamos ser tentados a dizer que como o princípio da relatividade do movimento foi explicitamente enunciado pelo livro-texto, o desempenho nesta questão poderia ser entendido como resultado de uma mera operação de lembrança de um princípio ensinado explicitamente. Mas neste caso o percentual de alunos que conseguem explicitar completamente um entendimento correto ou parcialmente correto desse conceito deveria ser maior na primeira série do que na segunda e terceira, já que eles haviam estudado esse tema mais recentemente.

TABELA 2 - ALUNOS POR SÉRIE SEGUNDO O NÍVEL DE EXPLICITAÇÃO DO ENTENDIMENTO DE MOVIMENTO RELATIVO

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	N	49	19	26	5	99
	% Série	29,7	16,0	24,1	29,4	24,2
Explicitada Parcialmente	N	56	66	35	7	164
	% Série	33,9	55,5	32,4	41,2	40,1
Explicitada	N	60	34	47	5	146
	% Série	36,4	28,6	43,5	29,4	35,7
Total	N	165	119	108	17	409

Esses percentuais só são significativamente diferentes entre a segunda e a terceira série, não entre a primeira e a terceira e entre a primeira e segunda série. Assim, temos uma base razoável para afastar a hipótese do resultado ser devido a uma mera recordação do conceito explicitamente ensinado. Note que o percentual de alunos da primeira série e da terceira série que não conseguiram explicitar qualquer entendimento de movimento relativo é sensivelmente superior ao percentual dos alunos da segunda série que estão na mesma situação. Isso afasta mais ainda a idéia de mera recordação como uma possível explicação da diferença de desempenho. Exatamente os alunos que estudaram mecânica nas semanas imediatamente anteriores à aplicação do questionário é que apresentam maior percentual de respostas na categoria de não explicitada.

A seguir, investigamos a relação entre o desempenho nas questões 4 e 5, a série e o grau de explicitação dos conceitos de sistema de referência e de movimento relativo. A tabela 3 mostra o desempenho na questão 4 e a tabela 4 o desempenho na questão 5, segundo o grau de explicitação do entendimento de sistema de referência. Em ambas as questões o escore máximo é 12. Analisando-se o resultado do conjunto dos 409 alunos segundo o grau de desempenho, nota-se que, em ambas as tabelas, o desempenho médio se situa entre 7,49 e 8,152. Mas, em cada tabela, as diferenças entre as médias de desempenho entre quaisquer dois dos graus de explicitação do entendimento de sistema de referência não são significativas. Este mesmo padrão se repete se analisamos os resultados da mesma forma, mas separadamente em cada série. Ou seja, podemos afirmar que o desempenho nestas questões operativas não depende do grau de explicitação do entendimento de sistema de referência,

quer se considere o resultado conjunto das três séries, quer se analise separadamente cada série.

TABELA 3 - DESEMPENHO MÉDIO DOS ESTUDANTES NA QUESTÃO 4, POR SÉRIE E SEGUNDO O GRAU DE EXPLICITAÇÃO DE SEU ENTENDIMENTO DE SISTEMA DE REFERÊNCIA

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	Média	7,882	6,829	7,923	7,100	7,490
	Desvio Padrão	2,598	2,071	2,276	2,378	2,394
	N	85	70	39	10	204
Explicitada Parcialmente	Média	7,855	6,872	8,220	6,200	7,703
	Desvio Padrão	2,679	2,002	2,060	0,447	2,333
	N	62	39	59	5	165
Explicitada	Média	8,333	7,500	8,600	7,000	8,125
	Desvio Padrão	2,765	1,900	2,119	1,414	2,345
	N	18	10	10	2	40
Total	Média	7,921	6,899	8,148	6,824	7,638
	Desvio Padrão	2,634	2,027	2,135	1,879	2,366
	N	165	119	108	17	409

TABELA 4 - DESEMPENHO MÉDIO DOS ESTUDANTES NA QUESTÃO 5, POR SÉRIE E SEGUNDO O GRAU DE EXPLICITAÇÃO DE SEU ENTENDIMENTO DE SISTEMA DE REFERÊNCIA

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	Média	8,188	7,000	8,410	5,900	7,711
	Desvio Padrão	2,860	2,537	2,712	2,685	2,792
	N	85	70	39	10	204
Explicitada Parcialmente	Média	8,048	6,590	9,424	6,600	8,152
	Desvio Padrão	2,842	2,359	2,268	2,510	2,740
	N	62	39	59	5	165
Explicitada	Média	8,222	6,200	7,900	5,500	7,500
	Desvio Padrão	2,861	2,348	3,213	0,707	2,855
	N	18	10	10	2	40
Total	Média	8,139	6,798	8,917	6,059	7,868
	Desvio Padrão	2,837	2,458	2,569	2,410	2,781
	N	165	119	108	17	409

Se examinarmos as tabelas segundo a série, vemos que na tabela 3, independente do grau de explicitação do entendimento de sistema de referência, o escore médio difere entre as séries, sendo maior na terceira e menor na segunda série. Não há diferença significativa entre as médias da terceira e da primeira série, mas há entre tais médias e o escore médio da segunda série. Isso mostra que ter estudado temas de mecânica no ano favorece o desempenho. Esse resultado se mantém se analisamos os resultados do desempenho médio separadamente para cada grau de explicitação do entendimento de sistema de referência. Na

tabela 4, o desempenho médio global por série são distintos uns dos outros, já que todas as diferenças de escores médios entre quaisquer pares de série são significativas. Novamente o escore médio da terceira série é o maior, seguido da primeira e da segunda séries, respectivamente. Esse padrão se reproduz se analisamos o resultado relativo a uma explicitação parcial do entendimento, mas não nos outros graus de explicitação. Nesses, obtemos o mesmo padrão da tabela 3, sem diferença entre o desempenho médio da primeira e da terceira séries, mas com diferenças significativas do desempenho dessas séries em relação à segunda série.

Se compararmos o desempenho entre as questões 4 e 5, notamos que o desempenho médio na questão 4, relatado em cada uma das células da tabela 4 não difere significativamente do desempenho médio na questão 5, para o mesmo grupo de alunos, exceto, em dois casos, ambos na terceira série: o desempenho médio global na questão 5 é significativamente maior do que o desempenho global na questão 4; os alunos que explicitam parcialmente o seu entendimento de sistema de referência, têm um desempenho médio na questão 5 superior ao desempenho médio na questão 4. Não vislumbramos nenhuma razão para esses efeitos.

As tabelas 5 e 6 mostram a comparação de desempenho médio por série segundo o grau de explicitação do entendimento de movimento relativo. Em geral, comparando-se o desempenho nas duas questões para os diversos grupos formados pelo cruzamento de série e grau de explicitação, não há diferença de desempenho significativa nas duas questões, exceto na terceira série, em que o desempenho global na questão 5 é superior àquele na questão 4 e em que o desempenho dos alunos que também explicitaram um entendimento cientificamente aceitável de movimento relativo tiveram um desempenho médio na questão 5 superior ao da questão 4. Como no caso anterior não vislumbramos nenhuma explicação para esse efeito.

Se analisarmos a média global por série, independente do grau de explicitação do entendimento, notamos o mesmo padrão: a maior média é a da terceira série, seguida da primeira e da segunda série. Além disso, a quinta questão é mais fácil do que a quarta. Tanto é assim, que na questão 4 a diferença de desempenho global entre os alunos da primeira e da terceira série não é significativa, mas na questão 5 é. Se olharmos os resultados para cada grau de explicitação do entendimento de movimento relativo separadamente, o mesmo padrão se repete. Em geral, as diferenças entre a segunda série e as outras duas séries são significativas, mas entre a primeira e terceira não são, exceto na questão 5, e entre os estudantes que não conseguiram responder corretamente o que entendiam por movimento relativo. Nesse último caso, a diferença de desempenho médio entre os alunos da primeira e segunda série não é significativa na questão 5, mas entre a terceira e as outras duas séries há diferenças significativas. Parece que para os alunos que não conseguiam expressar seu entendimento, o estudo de uma nova unidade de mecânica na terceira série fez a diferença, uma vez que conseguiram operar mais facilmente com o conceito.

Podemos finalmente comparar se o grau de explicitação do entendimento de movimento relativo, em cada série analisada separadamente ou no conjunto de todos os alunos, produz algum efeito em termos de desempenho médio. Na questão 4, e considerando as três séries em conjunto não há diferença entre explicitar ou não o entendimento – as diferenças não são significativas. Na questão 5, considerando as mesmas séries ainda em conjunto ter explicitado o entendimento favorece o desempenho médio e a diferença entre não ter explicitado e ter explicitado o entendimento é significativa. A diferença de desempenhos médios nessas questões pode ser devido ao fato de que a questão 4 é mais difícil do que a questão 5. Nas segunda e terceira séries explicitar ou não o entendimento sobre movimento relativo não tem nenhum efeito sobre o desempenho médio em nenhuma das duas questões: nenhuma média difere das outras na mesma série de forma significativa. Já na primeira série

há uma diferença significativa entre o desempenho médio dos estudantes que não explicitaram seu entendimento e dos que explicitaram, que têm um desempenho médio superior àqueles.

TABELA 5 - DESEMPENHO MÉDIO DOS ESTUDANTES NA QUESTÃO 4, POR SÉRIE E SEGUNDO O GRAU DE EXPLICITAÇÃO DE SEU ENTENDIMENTO DE MOVIMENTO RELATIVO

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	Média	7,327	6,526	7,923	7,400	7,333
	Desvio Padrão	2,461	2,065	2,077	2,302	2,299
	N	49	19	26	5	99
Explicitada Parcialmente	Média	7,946	7,030	7,971	6,143	7,506
	Desvio Padrão	2,445	2,015	2,149	1,952	2,242
	N	56	66	35	7	164
Explicitada	Média	8,383	6,853	8,404	7,200	7,993
	Desvio Padrão	2,877	2,062	2,174	1,304	2,515
	N	60	34	47	5	146
Total	Média	7,921	6,899	8,148	6,824	7,638
	Desvio Padrão	2,634	2,027	2,135	1,879	2,366
	N	165	119	108	17	409

TABELA 6 - DESEMPENHO MÉDIO DOS ESTUDANTES NA QUESTÃO 5, POR SÉRIE E SEGUNDO O GRAU DE EXPLICITAÇÃO DE SEU ENTENDIMENTO DE MOVIMENTO RELATIVO

Nível de Explicitação	Estatística	Série				Total
		1 ^a .	2 ^a .	3 ^a .	Sem dados	
Não explicitada	Média	7,531	7,211	8,885	6,000	7,747
	Desvio Padrão	2,973	2,371	2,455	0,707	2,738
	N	49	19	26	5	99
Explicitada Parcialmente	Média	8,161	6,606	8,371	5,714	7,476
	Desvio Padrão	2,833	2,517	2,871	2,928	2,836
	N	56	66	35	7	164
Explicitada	Média	8,617	6,941	9,340	6,600	8,390
	Desvio Padrão	2,675	2,424	2,362	3,050	2,682
	N	60	34	47	5	146
Total	Média	8,139	6,798	8,917	6,059	7,868
	Desvio Padrão	2,837	2,458	2,569	2,410	2,781
	N	165	119	108	17	409

DISCUSSÃO E IMPLICAÇÕES

Nossos resultados vêm mostrar que os estudantes, em geral, não conseguem explicitar o conceito de sistema de referência ou referencial com clareza; se valem de concepções erradas ou descrevem de forma a deixar poucas evidências de como é realmente seu

entendimento. Mas eles têm mais sucesso em expressarem o que entendem por movimento relativo. Essa diferença pode ser atribuída à natureza desses dois conceitos, à forma como são ensinados e utilizados para resolver questões e exercícios de lápis e papel. Se olharmos os livros-texto de física para o ensino médio e para o ciclo básico universitário, podemos constatar que, no ensino médio, ou eles tendem a apresentar o conceito de referencial e de sistema de referência de forma implícita, ou o fazem através de exemplos denotativos. Já no ensino superior fornecem conceitualizações rápidas, sem uma discussão mais cuidadosa do conceito. Já sobre movimento relativo há maior uniformidade de tratamento entre os livros. Na prática de sala de aula a idéia de movimento relativo é mais discutida e utilizada de forma mais explícita. O conceito de referencial sempre é usado de forma subsidiária. Desta forma, os estudantes aprendem o conhecimento tácito relativo à melhor escolha de referencial para cada situação e a reconhecer os movimentos vistos de diversos referenciais. Quando precisam verbalizar o seu entendimento ou, o que é mais difícil, registrar por escrito esse entendimento, o conhecimento tácito precisa ser o foco da atenção. Dependendo do estado de articulação da compreensão desses conceitos, eles podem ser expressos de forma mais ou menos clara.

Do ponto de vista de operar com os conceitos, ambas as questões 4 e 5 exigem, para serem resolvidas, o uso tanto do entendimento de referencial quanto de movimento relativo. Os resultados mostram que, em geral, os alunos se saem melhor nestas questões do que na questão de explicitação. Mas a capacidade de expressar por escrito o entendimento dos conceitos envolvidos não é determinante no desempenho médio dos estudantes.

Finalmente, mostramos que os estudantes da terceira série se saem melhor do que os da primeira e segunda série nas questões mais operativas. Não podemos explicar isso pelo fator idade, pois neste caso os estudantes da segunda série deveriam ter um desempenho médio sistematicamente maior do que os estudantes da primeira série. Parece-nos que a diferença reside no fato de que os estudantes da primeira e da terceira séries haviam estudado unidades de mecânica nas semanas anteriores à aplicação do questionário, enquanto que os estudantes da segunda série haviam apenas estudado eletrostática, no mesmo período. Assim, os estudantes da terceira série podem ter se saído melhor por terem estado estudando mecânica, e também por já ter estudado os mesmos temas anteriormente. Na terceira série eles estudaram uma unidade sobre conservação da quantidade de movimento e tiveram, portanto, a oportunidade de reverem, ainda que de forma subsidiária, conceitos de velocidade, aceleração, movimento relativo e referencial, já tendo estudado tais assuntos na primeira série. O que estamos argumentando é que tais estudantes se beneficiaram por terem aprendido mais sobre os temas investigados neste estudo, mesmo que o ensino desses temas não tenha sido o propósito do que lhe foi ensinado. Ora, se isso ocorreu assim, então podemos interpretar nossos resultados como uma pequena evidência de que organizar os currículos de forma recursiva e em espiral pode beneficiar a aprendizagem pelos alunos dos conceitos mais abstratos e elusivos.

De nossa parte, estamos convictos de que não se pode apreciar e entender a mecânica clássica abdicando-se da essência de suas idéias e de sua formalização. A noção de referencial inercial não é uma noção simples, mas ela está no cerne da argumentação convincente que levou à aceitação de uma nova concepção de mundo e ao abandono das antigas noções aristotélicas (GARCIA, 2002). Por ser uma noção abstrata e elusiva, como muitas outras na disciplina de Física, ela precisa ser trabalhada com mais eficácia no ensino médio. Não estamos fazendo aqui uma defesa de um ensino mais conceitual, pois acreditamos que expor aos alunos uma estrutura conceitual bem articulada não os leva, necessariamente, aprender mais e melhor. Mas, ensinar apenas para resolver exercícios sem cuidar da explicitação dos raciocínios, princípios e conceitos envolvidos em cada solução também não garante um entendimento articulado capaz não só de operar eficazmente, como também se projetar em boas expressões verbais ou escritas.

Concordamos que a apropriação de determinados conceitos científicos se realiza em diferentes fases e momentos da vida do estudante, nas quais as relações entre o sujeito e o objeto do conhecimento se modificam, se reorganizam e se reconstituem. Para que os estudantes dominem a estrutura de conceitos e procedimentos característicos da física, precisamos proporcionar-lhes contato com o vasto campo conceitual da física, mas não em uma única oportunidade. Precisamos proporcionar-lhe diversas oportunidades para experimentar conceitos e procedimentos relacionados a um mesmo tema. Concordamos que se o processo de aprendizagem é contínuo, isso não significa que um conceito é apreendido de uma só vez e de uma única maneira. Acreditamos que o processo de apropriação dos conceitos cientificamente aceitos se realiza de forma complexa, não-linear e em diferentes fases da vida.

Enquanto professores, nosso trabalho nos alerta que o acesso ao entendimento do aluno é extremamente difícil, seja através da mera verbalização ou da escrita. Percebemos, através dessa investigação, que esse processo de articulação do pensamento para conceitualizar e explicitar as idéias foi uma tarefa difícil para a maioria dos estudantes. Colocar em palavras o que sabem envolve muito esforço e a maior parte não consegue fazê-lo adequadamente. Entretanto, esse fato não os impede de prever corretamente o que acontecerá em uma situação hipotética na qual o conhecimento a respeito do conceito que não foi verbalizado seja essencial. Isso nos fornece indícios de que não saber colocar em palavras determinado conhecimento muitas vezes não significa que não o temos. Podemos lidar eficazmente com muitos conceitos sobre os quais nós são sabemos falar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Beatriz. MÁXIMO, Antônio; *Curso de física*, São Paulo, ed. Scipione, 2000, vol 1.

ERNEST, P., (1991) *The Philosophy of Mathematics Education* (London: Falmer).

(1998a). *Social Constructivism as a Philosophy of Mathematics*. Albany: SUNY.

FRADE, C.; BORGES, O., (2002) Tacit Knowledge in Curricular Goals in Mathematics. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on the Teaching of Mathematics (at the undergraduate level)*, Hersonissos, Greece.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentals of physics – extended*. New York: John Wiley & Sons, 1997.

HIEBERT, James, LEFEVRE, Patricia. *Conceptual and Procedural Knowledge in Mathematics: An Introductory Analysis*, (James Hiebert, ed.), Hillsdale (NJ): 1986, Chapter 1, p. 1-27.

GARCIA, Rolando. *O conhecimento em construção – Das formulações de Jean Piaget à teoria dos sistemas complexos*. Porto Alegre: Artmed, 2002. 192p.

KITCHER, P., (1984) *The Nature of Mathematical Knowledge*. Oxford: Oxford University Press.

KUHN, T. S. *The structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press, 1970. (2nd Edn. Enlarged)

MILLAR, Robin. Constructive criticisms. *International Journal of Science Education*, vol.11, Special Issue, 587-596, 1989.

MILLAR, Robin; KING, Tom. Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, vol.15, nº4, 351-361, 1993.

MILLAR, Robin; LIM BEH, Kian. Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. *International Journal of Science Education*, vol.15, nº4, 351-361, 1993.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. *Física –Parte I*. São Paulo: EDART, 1966.

POLANYI, Michael. *The Tacit Dimension*, Gloucester (Mass): Peter Smith, 1983.

SCHÖN, Donald A. *Educating the Reflective Practitioner*, San Francisco: Jossey-Bass, 1987.

SKEMP, R. R., (1976). Relational understanding and instrumental understanding. *Mathematics Teaching*, No.77, 20-26.

WITTGENSTEIN, Ludwig. *On Certainty*. New York: Harper & Row, 1969.