

**PENSAMENTO ESPONTÂNEO DE PROFESSORES DO ENSINO
SECUNDÁRIO ACERCA DA RELATIVIDADE DE GRANDEZAS
MECÂNICAS**

Jorge Valadares
Universidade Aberta Portuguesa
Av. Duque d' Ávila, 193, 8º
1000 Lisboa

1º-Resumo

Algumas características do pensamento espontâneo dos estudantes de Física, no domínio da cinemática, foram registadas por Saltiel e Malgrange (1980, p. 73).

Estas características foram confirmadas por Villani e Pacca, ao analisarem as respostas dadas por um grupo de estudantes brasileiros graduados em Física a dois problemas acerca da velocidade da luz e mudança de referencial (1987, pp 55-66).

No final de duas acções de formação sobre a teoria da relatividade restrita que orientámos na região da grande Lisboa, tivemos a oportunidade de ministrar os dois problemas de Villani e Pacca e uma outra questão acerca da relatividade do movimento. Analisámos as respostas dadas por 53 professores do ensino secundário com uma experiência de ensino muito variável (desde 39 anos de ensino a 1 ano apenas) e encontrámos o mesmo tipo de raciocínio espontâneo observado nos estudantes brasileiros.

Esta comunicação pretende descrever esta pesquisa que envolveu professores de Física portugueses, divulgar os seus resultados e fazer alguns comentários e sugestões acerca do ensino da relatividade das grandezas mecânicas.

2. Introdução

Raciocinamos com conceitos através de complexas relações entre eles. Quando, em consequência das experiências por nós vividas dentro e fora da escola, a rede de relações conceptuais que se estabelece no nosso cérebro nos conduz a raciocínios inaceitáveis do ponto de vista científico, esses raciocínios inaceitáveis persistem muito mais do que as nossas expectativas fariam supôr.

A história da Ciência é rica em relações conceptuais incorrectas que duraram milhares de anos (veja-se, por exemplo, a relação peso-velocidade ou a relação micróbio-geração espontânea). Por outro lado, as pesquisas levadas a cabo na sala de aula têm revelado uma persistência enorme de pensamentos espontâneos dos alunos que se afastam mais ou menos daqueles que a ciência aceita. Esses pensamentos espontâneos têm raízes empíricas, alicerçando-se nas experiências vividas ao longo da vida mas também têm raízes históricas. Assim, por exemplo, a ideia de que um corpo só mantém a sua velocidade se nele actuar uma "força movente" assenta claramente em experiências como a do voo dos projecteis, o arrastamento dos corpos, a colisão dos objectos, etc., as quais conduzem a que, na estrutura cognitiva, se estabeleçam ligações incorrectas entre os conceitos relacionados com o movimento. Mas uma tal ideia também tem uma longa história, tendo-se enraizado na mente humana e propagado ao longo dos séculos com base na linguagem. De, facto, muitos foram os pensadores que acreditaram na existência de uma causa do movimento interior aos corpos: o *ímpeto* de João Buridan era uma "certa potência" que era comunicada aos corpos no acto de os forçar a moverem-se; enquanto o ímpeto de um corpo se mantinha, mantinha-se o movimento, porque permanecia a causa; quando se esgotava o ímpeto, os corpos adquiriam imediatamente o seu movimento natural aristotélico; a quantidade de movimento de Descartes e a força viva de Leibniz eram consideradas grandezas que, quando comunicadas por corpos em movimento a outros corpos, eram também as causas interiores que explicavam os futuros movimentos destes.

Sabe-se hoje que existem determinadas estruturas universais na forma como a grande maioria dos estudantes de Física pensam acerca das mais diversas situações físicas. Muitas das representações dos estudantes revelam semelhanças com as que foram surgindo ao longo da história da ciência. No que se refere às representações em cinemática, Saltiel e Malgrange (1980, p. 73) apontaram algumas regras do que designaram por *cinemática espontânea*.

No Brasil Alberto Villani e Jesuina Pacca efectuaram uma pesquisa com estudantes graduados em Física envolvidos em cursos de pós-graduação, e detectaram que neles persistem concepções espontâneas idênticas às manifestadas pelos estudantes do ensino secundário, as quais apresentam as características sintetizadas por Saltiel e Malgrange. Não será que essas mesmas concepções alternativas também serão espontaneamente utilizadas por professores com maior ou menor experiência de ensino ao analisarem situações físicas pouco familiares? Foi para responder a esta questão que efectuámos esta pesquisa.

Características da cinemática espontânea (Saltiel e Malgrange, 1980):

1^a- a velocidade de um móvel, a distância que ele percorre e a trajectória que descreve são tidas como independentes do referencial;

2^a- o movimento é explicado em termos causais por meio da associação de um «motor» que possui a velocidade real observável para o objecto móvel;

3^a- o movimento é explicado em termos descritivos relacionando-o a um espaço absoluto; neste esquema há apenas uma velocidade verdadeira, e um espaço percorrido verdadeiro e, qualquer diferença nas medições obtidas por vários observadores móveis entre si, é provocada por um movimento «aparente», entendido como uma ilusão óptica;

4^a- nas situações com movimentos «de transporte», é usada a ideia de adição de movimentos absolutos, em vez da que envolve a transformação do movimento relativo; as velocidades e as distâncias reais são encaradas como somas de velocidades e distâncias «próprias» percorridas pelo objecto móvel e o seu «motor».

3. Metodologia da pesquisa

No ano lectivo de 1992 orientámos duas acções de formação sobre relatividade restrita destinadas a professores de Física e Química.

PROGRAMA :

1. A crise do éter luminífero na Física clássica e a teoria da relatividade restrita como única saída possível. (3 horas)
2. Algumas noções fundamentais de cinemática relativista. (3 horas)
3. A dinâmica relativista e as noções de massa e energia. (3 horas)
4. Concepções alternativas em relatividade. (3 horas)

QUESTÃO-FOCO:

Em que medida os professores portugueses apresentam o mesmo tipo de raciocínio espontâneo revelado pelos estudantes graduados brasileiros?

CARACTERIZAÇÃO DA POPULAÇÃO DE PROFESSORES QUE RESPONDERAM ÀS QUESTÕES

- Experiência de ensino muito variada:

Almada: 23 professores

Lisboa: 30 professores

	1-5 anos	5-10 anos	10-15 anos	15-20 anos	20-30 anos	30-40 anos				
1 nível										
2 níveis	1	1		1	1					
3 níveis	2		1	1						
4 níveis		2	2	3	1	7				
5 níveis		2	4	3	1	6	2	2	7	2

- Formação académica dos professores também muito variada:

Almada: 23 professores

Lisboa: 30 professores

Físico-Químicas	Física	Química	Eng. Química	Farmácia
1 + 11	4 + 1	6 + 12	11 + 6	1 + 0

As respostas foram cuidadosamente analisadas de modo a tentar descobrir a presença das seguintes características:

- típicas dos raciocínios baseados na *relatividade einsteiniana*:

- uma escolha, em cada caso, de um referencial inercial conveniente e sem qualquer indício de privilégio concedido aos referenciais terrestres ou a quaisquer outros assumidos como referenciais absolutos;
- a constância da velocidade da luz em todas as direcções e em todos os referenciais e um assumir do seu carácter finito;
- a relatividade das restantes velocidades;
- a relatividade dos intervalos de tempo, com um aumento dos mesmos quando respeitantes a fenómenos observados em movimento;
- a relatividade das distâncias espaciais, com uma diminuição das mesmas quando observadas em movimento;
- a relatividade das distâncias percorridas e, portanto, das trajectórias, decorrentes da relatividade das velocidades e/ou dos tempos de percurso;
- uma utilização apropriada das fórmulas de transformação de Lorentz quando tal se torne necessário;

- típicas dos raciocínios baseados na *relatividade galileana*:

- uma escolha, em cada caso, de um referencial inercial conveniente e sem qualquer indício de privilégio concedido aos referenciais terrestres, mas assumindo a existência de um referencial absoluto em que a luz tem a mesma velocidade em todas as direcções;
- a constância da velocidade da luz em todas as direcções no referencial absoluto e um não assumir do seu carácter finito;
- a relatividade de todas as velocidades nos referenciais móveis;
- a não relatividade dos intervalos de tempo;
- a não relatividade das distâncias espaciais;
- a relatividade das distâncias percorridas e, portanto, das trajectórias, decorrentes da relatividade das velocidades mas não dos tempos de percurso;
- uma utilização apropriada das fórmulas de transformação de Galileu quando tal se torne necessário;

- típicas dos raciocínios baseados numa "*cinemática espontânea*":

- a não escolha de referencial com uma mais ou menos tácita adopção sistemática dos referenciais terrestres, ou de um referencial espacial considerado absoluto, como base do raciocínio, e onde se situa um observador privilegiado com acesso aos valores «reais», «próprios», «autênticos» ou «verdadeiros»;
- um não assumir do carácter finito da velocidade da luz;
- o adoptar de uma velocidade como privilegiada, a «autêntica» ou «verdadeira», aquela que se refere ao espaço absoluto tacitamente adoptado;
- a não relatividade dos intervalos de tempo;
- a não relatividade das distâncias espaciais;
- a não relatividade das distâncias percorridas e, portanto, das trajectórias, antes privilegiando uma distância percorrida como «autêntica» ou «verdadeira» (no caso de se tornarem evidentes outras, estas são consideradas como o produto de movimentos aparentes);
- uma utilização inapropriada de fórmulas de transformação em que se torna patente um nítido privilégio concedido aos referenciais terrestres;

Estivemos, pois, atentos a tudo o que fossem indícios ou testemunhos claros da presença destas características.

Começámos por efectuar análises separadas por áreas geográficas, por formações académicas de professores e por grupos de anos de experiência, construindo tabelas de resultados parcelares, *em percentagens*, tais como esta:

Lisboa: 30 professores

	SR	GR	S _p K	11 _{EO}	1 _F	12 _O	6 _{EO}	0 _{Fa}	N
$\Delta t_f > \Delta t_b$	A	NR	NR	46	100	17	50	-	11
$\Delta t_f = \Delta t_b$	R	NR	NR	18	0	0	0	-	2
$\Delta t_f < \Delta t_b$	R	R	NR	36	0	67	33	-	14

Δt_f - tempo da antena ao espelho Δt_b - tempo do espelho à antena

A- em concordância com

R- refutada por

NR- não refutada por

SR- relatividade especial

GR-relat. galileana

S_pP- cinem. espontânea

4. Os resultados da pesquisa

A primeira conclusão retirada da análise feita é que as variáveis área geográfica, formação académica e experiência de ensino não influenciaram de modo significativo os tipos de respostas e os respectivos resultados, quer qualitativa quer quantitativamente (registaram-se algumas flutuações dos resultados, mas sem se registarem diferenças significativas em relação a qualquer das variáveis).

A análise vai ser, pois, apresentada globalmente, ainda que nos quadros se discriminem os resultados obtidos nas duas áreas geográficas.

Primeira situação física

Dois sinais luminosos, B e D , e dois veículos espaciais, T_B e T_D partem simultaneamente de um mesmo ponto. Tanto os sinais como os veículos ($v=c/2$) viajam em sentidos opostos.

Questão 1- Comparação das distâncias percorridas

Almada: 23 professores ; Lisboa: 30 professores ; Brasil: 24 estudantes

	SR	GR	S _D K	N _A	N _L	N _P	N _B
AB=AD	A	A	A	19	24	43	24
T _B A=T _D A	A	A	A	16	26	42	24

Em algumas respostas foi explicitamente aplicada a composição galileana de velocidades, com conclusões tais como *a de que a velocidade do sinal B, em relação a T_B, é c/2, ou que a velocidade de D em relação a B é 2c*. Por exemplo:

- " $d_B=L$; $d_D=2L$; $d_{SD}=3L$ "
- " T_B move-se $L/2$ e T_D move-se L ".
- " $T_D A = L+L/2$ ".

Também foi usada a composição galileana de velocidades: por exemplo:

"... e as distâncias são dadas por $\frac{L+\frac{c}{2}t'}{\sqrt{1-\frac{1}{4}}}$ e $\frac{L-\frac{c}{2}t'}{\sqrt{1-\frac{1}{4}}}$ ".

Há uma resposta com as distâncias iguais mas mal calculadas: " $d=c^2/2L$ "

Outra resposta foi abandonada a meio do raciocínio; mas pode-se concluir que, se fosse completada, originaria uma distância percorrida por T_D maior que L .

Comparando estes resultados com os obtidos com os estudantes brasileiros, concluímos que a experiência de ensino teve um efeito negativo. Os professores, revelaram maior tendência para usar um raciocínio formal, em prejuízo de um raciocínio intuitivo eficaz.

Vale a pena (como fizeram Villani e Pacca) enfatizar os casos em que foi indicado explicitamente o referencial onde a situação está a ser analisada, porque tal facto é um bom indicador (ainda que não absolutamente seguro) de um raciocínio relativista. Estes casos foram menos de 1/5 do total de respostas. Mas a adopção do referencial pode ter sido feita de modo implícito...

Indicações do referencial

	N_A	N_L	N_P	N_B
Indicam o referencial	4	6	10	3
Não indicam o referencial	19	24	43	21

Questão 2- Distâncias percorridas pelos fótons relativamente a T_B

Esta questão já exige uma mudança para o referencial T_B . À semelhança do que sucedeu com as respostas dadas pelos estudantes brasileiros, as respostas dos professores portugueses foram na sua quase totalidade incompatíveis com a relatividade einsteiniana. Dos 53 professores, 48 responderam que o sinal B está mais perto, o que só por si traduz um raciocínio que tanto pode estar coerente com a relatividade galileana, como também pode estar de acordo com a SpK.

	SR	GR	SpK	N_A	N_L	N_P	N_B
$T_{BB} < T_{BD}$	R	A	A	19	29	48	20
$T_{BB} = T_{BD}$	A	R	R	4	0	4	4
$T_{BB} > T_{BD}$	R	R	R	0	0	0	0

As justificações apresentadas, na sua grande maioria, relativizam a velocidade da luz, considerando implicitamente que o referencial terrestre é um referencial absoluto privilegiado. Quase todas as respostas são muito semelhantes a esta: "O sinal B está mais perto, porque o sentido do seu movimento é o mesmo do veículo T_B onde viaja."

Numa resposta é apresentado um esquema de trajectórias, em que a conclusão é que "o sinal B dista $L/2$ de T_B ".

Em que medida, por trás dessas respostas erradas está a tal «cinemática espontânea» a que Satiel, Malgrange, Villani e Pacca se referem?

Esta segunda questão do teste, assim como a seguinte, não permitem, em nossa opinião, qualquer resposta definitiva a estas perguntas. Afinal a questão é muito semelhante a questões simples do tipo «perseguição de carros» que os professores estão fartos de resolver nas suas aulas.

Mas é um facto que muito poucas respostas revelam claramente um raciocínio galileano. A maioria das respostas são justificadas com a ideia de que o veículo persegue a luz, o que poderá traduzir efectivamente um pensamento espontâneo já manifestado por muitos estudantes que consiste na composição de distâncias percorridas consideradas absolutas.

Apesar da simplicidade da questão, transparecem muitos raciocínios que mostram claramente a dificuldade que os professores têm em fazer a transferência para o quadro conceptual da relatividade devido à dificuldade em se libertarem do «ferrete» do privilégio do referencial Terra. Veja-se, como exemplo, a seguinte resposta:

"A distância de T_B diminui mas T_B move-se com dilatação do tempo".

De facto T_B move-se em relação à Terra, mas não em relação ao observador que está em T_B .

Há uma clara contaminação de referenciais com privilégio concedido ao terrestre. Para falar em dilatação do tempo, o professor terá de pensar num observador terrestre, e nos fenómenos que ocorrem no referencial T_B . Ora o observador está em T_B (e não na Terra) e o fenómeno movimento deste ocorre no referencial Terra (e não em T_B). Esta contaminação de referenciais com deslizamento mais ou menos inconsciente do referencial móvel para o referencial Terra no que respeita a importância, apareceu diversas vezes na resolução das questões e na discussão final com que terminaram as acções.

Questão 3- Distâncias percorridas pelos fótons relativamente a T_D

As respostas relativamente a esta questão mostraram-se absolutamente coerentes com as que foram dadas à questão anterior:

	SR	GR	$S_{D,K}$	N_A	N_L	N_P	N_B
$T_{DB} > T_{DD}$	R	A	A	19	27	46	20
$T_{DB} = T_{DD}$	A	R	R	4	0	4	4
$T_{DB} < T_{DD}$	R	R	R	0	0	0	0

Segunda situação física

Nesta situação há um foguetão que, voando com a velocidade $c/2$ sobre uma estação terrestre, arrasta consigo uma antena na extremidade traseira, a qual emite um sinal luminoso, que após ser reflectido por um espelho situado na extremidade dianteira, volta à antena.

Questão 4- Comparação entre os tempos de ida e volta do sinal no referencial foguetão

O resultado obtém-se quer haja ou não ideias correctas acerca dos valores atribuídos às distâncias percorridas, bastando que estas sejam consideradas iguais. A justificação das respostas é que é importante.

	SR	GR	S ₀ K	N _A	N _L	N _P	N _B
$\Delta t'_f > \Delta t'_b$	R	NR	NR	1	5	6	7
$\Delta t'_f = \Delta t'_b$	A	NR	NR	20	22	42	21
$\Delta t'_f < \Delta t'_b$	R	R	NR	1	3	4	2

Analisemos algumas justificações de respostas onde se considera que o sinal luminoso demora mais tempo para ir da antena A ao espelho M do que no regresso:

"uma vez que no percurso \vec{AM} ele tem de percorrer a distância ao espelho mais a que o foguetão progrediu."

"porque a velocidade do sinal luminoso é de $c/2$ e de M a A é de $3c/2$ ".
(em duas respostas idênticas)

Quem apresentou a primeira daquelas justificações, respondeu deste modo à questão seguinte:

"A resposta é a mesma da apresentada na questão anterior, uma vez que c é a velocidade com que sai o sinal luminoso e esta de modo algum pode ser superior".
Estamos perante um raciocínio espontâneo na resposta a estas duas questões.

Por outro lado, a justificação apresentada nas duas respostas idênticas envolveu, uma vez mais, a utilização inadequada da lei de composição de velocidades de Galileu. Ela traduz, portanto, um *raciocínio híbrido entre o raciocínio Galileano e o pensamento espontâneo de carácter absoluto.*

As respostas mais curiosas são as quatro onde se afirma que o tempo da antena ao espelho é menor do que o do espelho à antena. Eis algumas justificações:

"A antena A move-se no mesmo sentido dos fotões na ida, enquanto que o espelho move-se em sentido oposto ao dos fotões no regresso".

"É devido ao efeito Doppler".

Como, na realidade, a antena não se move no referencial em questão, estamos perante um raciocínio espontâneo que assenta na ideia do movimento absoluto. Mas um tal raciocínio tem outra característica curiosa, que é a de inconscientemente assentar numa *teoria da emissão*. Estas *teorias de emissão* tiveram a sua história no período em que os cientistas tentaram resolver o problema do resultado negativo da experiência de Michelson-Morley no quadro conceptual da mecânica clássica. Elas acabaram por ser infirmadas como consequência da observação das estrelas duplas e pelas experiências de interferometria efectuadas com luz extra-terrestre.

Segundo estas teorias da emissão, a velocidade da luz é c relativamente à fonte de luz, pelo que acaba por depender da velocidade absoluta desta. Assim sendo, nesta situação física, e admitindo o movimento absoluto da fonte como estes professores espontaneamente estão a admitir, a velocidade da luz para a frente, de A a M, seria $c+v_A$ e a velocidade da luz no regresso de M a A seria $c-v_M$. Cremos ser este um exemplo interessante que vem reforçar a ideia da existência de uma certa homogeneidade entre o raciocínio espontâneo que professores e alunos de Física desenvolvem, e os raciocínios que alguns cientistas, em determinados períodos da história da ciência, utilizaram.

Questão 5- Comparação dos tempos de ida e volta do sinal no referencial terrestre

Nesta questão o comprimento do foguetão é observado da estação terrestre contraído pelo factor de Lorentz, mas o aspecto decisivo é o maior trajecto percorrido pelo sinal no tempo de ida ao espelho do que no tempo de regresso. Tem-se, pois $\Delta t_f > \Delta t_b$.

	SR	GR	S _n K	N _A	N _L	N _P	N _B
$\Delta t_f > \Delta t_b$	A	NR	NR	11	11	22	16
$\Delta t_f = \Delta t_b$	R	NR	NR	8	2	10	13
$\Delta t_f < \Delta t_b$	R	R	NR	3	14	17	1

Primeiro aspecto a destacar: o elevado número de respostas incoerentes com a relatividade quer galileana quer einsteineana: $\Delta t_f < \Delta t_b$.

Analisemos algumas respostas:

"Mais tempo para ir de M a A porque a distância é a mesma mas a velocidade é menor" (as velocidades $c+c/2$ e $c-c/2$ foram calculadas).

Foi usada uma composição de velocidades baseada na *teoria da emissão*.

"A justificação é semelhante à da questão anterior (isto é, a distância a percorrer pelo sinal é igual de A a M e de M a A e a velocidade de propagação do sinal é a mesma."

"O mesmo que na questão anterior: o intervalo de tempo é igual pois c é constante e a distância a percorrer também."

Estas respostas (como outras) contêm em si a ideia de que a distância percorrida pela luz é a distância «absoluta» antena-espelho. Trata-se de respostas que pressupõem um raciocínio espontâneo em que as distâncias percorridas são consideradas absolutas em claro desrespeito pela própria relatividade galileana.

"Gasta o mesmo tempo, de acordo com a teoria da relatividade (e a resposta a Q4). Intuitivamente acharia o contrário, ou seja: no trajecto de A a M, segundo a mecânica clássica, o foguetão ao avançar, faria com que o espelho M se afastasse e, portanto, a luz demoraria mais tempo a atingir M. Inversamente, no trajecto de M a A, da volta, é a parte de trás do foguetão que se aproxima do sinal luminoso reflectido e, portanto, demoraria menos tempo na volta."

Esta última resposta é curiosa e mostra que um professor que se tenha libertado, com o domínio da mecânica clássica, do estigma das distâncias percorridas absolutas, pode acabar por retroceder ao raciocínio espontâneo ao penetrar no mundo da relatividade, com o seu maior formalismo.

Notou-se uma inversão de efeitos relativistas (também já verificada com os estudantes brasileiros):

"Gasta mais tempo a ir de A a M, porque o comprimento do foguetão passa a ser maior que L para mim, que me encontro na estação."

Neste caso é considerada uma dilatação do espaço do foguetão no referencial terrestre, quando na realidade esse espaço se contrai.

Questão 6- Comparação dos tempos de ida do sinal no referencial terrestre e no referencial foguetão

Esta situação envolve dois efeitos contrários no que se refere ao observador terrestre: a contracção einsteiniana do comprimento do foguetão faz com que o tempo de percurso seja diminuído; o movimento do espelho, obrigando a luz a ter de percorrer uma distância superior ao comprimento do foguetão, faz com que o tempo de percurso seja aumentado. Como o segundo efeito é mais influente, tem-se Δt (na terra) $>$ $\Delta t'$ (no foguetão) .

	SR	GR	S ₀ K	N _L	N _A	N _P	N _B
$\Delta t'_r < \Delta t_e$	A	R	NR	21	19	40	18
$\Delta t'_r = \Delta t_e$	R	A	NR	0	2	2	9
$\Delta t'_r > \Delta t_e$	R	R	NR	7	1	8	3

A tendência para considerar as distâncias percorridas com carácter absoluto está bem patente no facto de se ter verificado um número enorme de respostas que ignoraram completamente o aumento da distância percorrida pela luz devido ao facto de o foguetão se mover (e note-se que esse aumento é perfeitamente previsível na relatividade de Galileu):

" Para alguém na estação. Para quem está neste referencial há a dilatação do tempo."

"Porque o tempo medido no referencial imóvel (supondo a Terra um referencial imóvel), é sempre maior- dilatação do tempo."

"Para alguém na estação, porque no foguetão há contracção do tempo."

"Menos tempo para o observador na Terra porque a distância AM não é a mesma para os dois observadores. O observador da Terra deverá ver a distância mais curta."

"Gasta mais tempo para aquele que mede uma distância de A a M maior, ou seja para alguém no foguetão."

O pensamento absolutista está ainda mais explícito em respostas com estas:

"Na estação, porque para alguém no foguetão este move-se no mesmo sentido do sinal."

"O sinal luminoso gasta igual tempo a percorrer a distância de A a M para os dois observadores porque os sinais luminosos deslocam-se com velocidade c ."

Há um tipo de respostas onde está patente um raciocínio híbrido envolvendo a relatividade galileana e a cinemática espontânea. Uma, por exemplo:

"A velocidade do sinal para alguém no foguetão é c . A velocidade do sinal para alguém na estação é $\frac{3}{2}c$. Portanto o sinal demora menos tempo para o observador na estação terrestre." (alguns professores exprimem mesmo esses tempos nas

formas $\frac{L}{c}$ e $\frac{2L}{3c}$ ou em formas equivalentes).

É aplicada a regra da composição das velocidades (GR), mas também a mesma distância percorrida nos dois referenciais (S_pK).

Também surgiram respostas em que se verificou o mesmo tipo de inversão de referenciais que se registara com os estudantes brasileiros:

"Na estação porque o sinal tem de percorrer o espaço L e, para a pessoa no foguetão, o sinal percorre menos espaço".

Nesta resposta considera-se a contracção do espaço no referencial próprio, quando ela é válida apenas no referencial de laboratório onde o foguetão se move.

Questão 7- Comparação dos tempos de regresso do sinal no referencial terrestre e no referencial foguetão

A distância percorrida pelo sinal luminoso é agora manifestamente *menor* para o observador da estação terrestre, não só porque para ele há contracção relativista do comprimento do foguetão como, também, porque a antena vai ao encontro do sinal. No entanto, na maioria das respostas consta que *o intervalo de tempo é maior para o observador terrestre*.

	SR	GR	S_pK	N_L	N_A	N_P	N_B
$\Delta t'_r > \Delta t_e$	A	R	NR	11	6	17	15
$\Delta t'_r = \Delta t_e$	R	A	NR	0	3	3	8
$\Delta t'_r < \Delta t_e$	R	R	NR	12	14	26	7

E porque se verificou este resultado? Porque, na grande maioria das respostas, foi repetido o mesmo raciocínio espontâneo usado na questão anterior. Assim, por exemplo:

- quem tinha afirmado que o tempo de ida era maior na estação devido à dilatação do tempo, continuou a afirmar que o tempo de volta é maior devido à dilatação do tempo;
- quem tinha dito que o tempo de ida é maior para o observador terrestre porque a distância antena-espelho é maior para esse observador, continuou a dizer que o tempo de volta é maior pela mesma razão;
- etc.

Julgamos ser significativo o facto de muitos professores afirmarem "pela mesma razão" ou "a resposta é idêntica à da questão anterior". Mostram a coerência do seu raciocínio, mesmo quando esse raciocínio derrapa para uma cinemática espontânea, eivada de absolutismo, como sucede aqui em muitos casos.

Terceira situação física

Nesta situação um observador terrestre está situado a meio de duas antenas que emitem dois sinais electromagnéticos. Estes são observados simultaneamente por esse observador que mede a distância Δx entre as antenas. Um outro observador, passando num foguetão por cima do observador terrestre com uma velocidade relativista $v = \beta c$, observa as emissões desfasadas de um intervalo de tempo cujo módulo é $\Delta t'$.

Questão 8 - Distância entre as antenas medida pelo observador do foguetão

Foram dadas a escolher as opções que constam do quadro seguintes e foi pedida a justificação para a escolha feita.

	SR	GR	S _n K	N _A	N _I	N _P
$\Delta x' = \Delta x$	R	A	A	1	1	2
$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2}$	R	R	NR	2	7	9
$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2} - v \Delta t'$	A	R	NR	6	9	15
$\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2} + v \Delta t'$	R	R	NR	5	2	7

Algumas observações significativas:

- um elevado número (cerca de 40%) de ausência de respostas;
- três respostas com a opção certa, mas sem qualquer justificação;
- duas respostas onde são usadas as fórmulas de transformação de Lorentz (que conduzem imediatamente a uma resposta correcta), mas só uma delas com sucesso;
- cinco respostas onde se manifesta a excitação entre as duas últimas opções.

Mas as respostas mais significativas do ponto de vista do raciocínio espontâneo são as dos 9 professores que optaram pela segunda hipótese. Todas estas respostas, explícita ou implicitamente, apresentam a contracção do espaço ou do comprimento observado como justificação. O desfasamento temporal explicitamente referido no enunciado da questão não é tido em conta. Os professores, após terem admitido a contracção relativista, passam a considerar as distâncias com valores absolutos, não tendo em conta o facto de se verificar um desfasamento entre as observações que estão na origem das determinações dessas distâncias.

5. Comentários e conclusões finais

A história da ciência ao longo dos séculos revela-nos a dificuldade que os pensadores tiveram para se libertar de uma atitude geocêntrica e homocêntrica do universo, no que se refere ao modo como iam interpretando os movimentos dos astros e outros fenômenos. Será de estranhar que em situações de relatividade de movimentos em que um dos referenciais está na Terra - afinal o referencial onde nascemos e vivemos toda a nossa experiência, tenhamos uma tendência mental para espontaneamente privilegiar o referencial terrestre?

A história da ciência dos finais do último século, e dos primórdios do nosso século, mostra-nos como extraordinários cientistas (tais como Lorentz, Poincaré e outros) não conseguiram libertar-se do estigma de um espaço absoluto newtoniano, tentando resolver as dificuldades levantadas pelo resultado negativo da experiência de Michelson-Morley sem abandonarem a ideia da existência do referencial newtoniano absoluto da Física clássica: o referencial do éter. Será de ficarmos admirados se apresentarmos uma tendência mental para descrever o movimento nesse espaço intuitivamente absoluto, privilegiando assim espontaneamente uma das velocidades e um dos espaços físicos dos que estão envolvidos nas situações físicas?

Se as concepções do tempo absoluto e do carácter infinito da velocidade da luz, solidamente apoiados na nossa experiência diária, se enraizaram em tantas e algumas tão prodigiosas mentes ao longo dos séculos, porque estranhar que estejam enraizadas também nas nossas mentes?

Esta pesquisa mostrou que não são apenas os estudantes que mantêm em "estado latente" ideias espontâneas centradas em torno dos conceitos de espaço absoluto e movimento absoluto. (Villani e Pacca, 1990). Ela permitiu concluir que os professores do ensino secundário, independentemente da sua experiência e da sua formação acadêmica, também revelam a presença dessas ideias espontâneas, as quais influenciam o modo como raciocinam perante situações menos familiares, principalmente quando não podem refugiar-se tanto em formalismos matemáticos rotineiramente aplicados.

Essas ideias espontâneas surgem enquadradas num esquema conceptual mais ou menos geocêntrico, a que poderemos chamar *cinemática espontânea*, e onde imperam noções tais como:

- a de espaço absoluto ligado a um referencial absoluto, onde as grandezas cinemáticas assumem valores considerados reais ou próprios;
- a de tempo absoluto, consequência de um não assumir o carácter finito da velocidade da luz;
- a trajectória e a distância percorridas independentes dos referenciais.

Estas ideias acabam por se mesclar com as ideias relativistas, einsteineanas e galileanas, influenciando negativamente estas, e conduzindo a raciocínios híbridos inaceitáveis.

Esta pesquisa desencoraja, portanto, aqueles que, em prol da sempre louvável actualização do ensino da Física, defendem uma introdução urgente da teoria da relatividade restrita nos currícula do ensino secundário. Essa introdução, se por um lado nunca se deverá processar com prejuízo de outros conteúdos mais básicos, por outro lado deverá ser precedida por uma sólida formação dos professores, não só no domínio da própria relatividade restrita, mas também, e *fundamentalmente*, no domínio da própria relatividade galileana. Através da discussão de diversas situações experimentais, reais e conceptuais, de movimento relativo, e recorrendo à modelação em computador, deverá propiciar-se aos professores a oportunidade de confrontar as suas ideias baseadas numa cinemática espontânea com as evidências experimentais, de modo a que eles se vão progressivamente libertando dessas ideias espontâneas. É com actividades no domínio da relatividade galileana que se poderá ajudar professores e alunos a libertarem-se de *referenciais alternativos* como a da velocidade absoluta e do espaço percorrido absoluto.

Só depois, com a penetração segura no domínio da relatividade restrita, os professores se irão libertando seguramente de outros referenciais alternativos tais como o do valor infinito da velocidade da luz, das distâncias absolutas e do tempo absoluto, sem caírem em raciocínios eivados de ideias espontâneas desenquadradas do próprio esquema da relatividade galileana.

6. Bibliografia

SALTIEL, E. , MALGRANGE, J. , *Spontaneous ways of reasoning in elementary Kinematics*, European Journal of Physics, vol. 2, pp. 73-80, 1980

VILLANI, A. ; PACCA, J. , *Students' spontaneous ideas about the speed of light*, International Journal of Science Education, vol. 9 , pp. 55-66, 1987

VILLANI, A. ; PACCA, J. , *Spontaneous reasoning of graduate students*, International Journal of Science Education, vol. 12 , pp. 589-600, 1990

VILLANI, A. , *Ideias espontâneas e ensino da Física*, Revista de Ensino de Física, vol. 11, pp. 130-147, 1989

UNIVERSIDADE ABERTA

INSTRUMENTO DE PESQUISA

1. Especificações

As respostas às questões que se seguem são confidenciais e impessoais. Irão ser misturadas com muitas outras e só então analisadas numa perspectiva estatística. Para cumprirem o objectivo de pesquisa a que se destinam, essas respostas deverão traduzir o mais fielmente possível as ideias de cada professor, pelo que lhe rogamos que evite qualquer espécie de influência por parte dos outros professores.

As respostas (que deverão ser escritas apenas na folha de respostas) só poderão cumprir as finalidades que delas se espera se forem convenientemente fundamentadas.

Todas as respostas que traduzem fielmente as concepções pessoais de cada professor acerca da interpretação de cada situação física apresentada serão igualmente válidas para os objectivos a que se destina esta pesquisa.

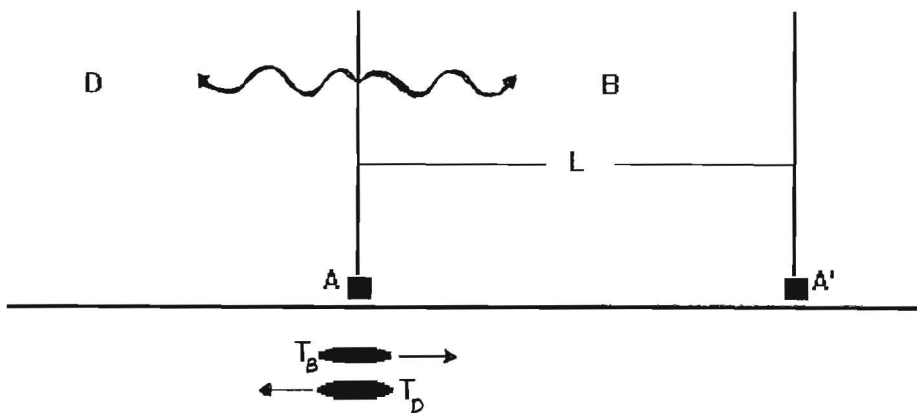
Ao responder de modo explícito e pessoal a estas questões estará a colaborar numa ampla investigação sem fronteiras que, alicerçada no paradigma construtivista do conhecimento do mundo, admite como verdadeiro o facto de as ideias empíricas e espontâneas que cada ser humano possui acerca de um fenómeno desempenharem um papel fundamental no domínio do enquadramento científico desse fenómeno.

As conclusões globais desta nossa pesquisa ser-lhe-ão comunicadas mais tarde, se as desejar conhecer, e delas se espera que todos nós, professores de Física, venhamos a beneficiar.

Antecipadamente lhe agradecemos a sua prestimosa colaboração

2. Primeira situação física¹

No momento em que dois veículos espaciais T_B e T_D que viajam com a velocidade $v = \frac{c}{2}$ em sentidos opostos passam pela antena A , esta emite dois sinais luminosos B e D em sentidos opostos mas na mesma direcção em que viajam os veículos ($c =$ velocidade da luz no vácuo)



Q₁ - A que distância de A se encontrarão cada um dos veículos T_B e T_D e o sinal D quando B atravessar uma antena A' , que está à distância L de A ? Porquê?

Q₂ - Suponha que viajava em T_B . Para si, quando o sinal B atingisse a antena A' , qual dos dois sinais luminosos estaria mais perto? Porquê?

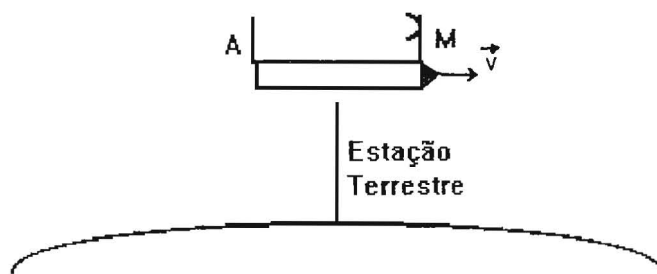
Q₃ - Suponha que viajava em T_D . Para si, quando B atingisse a antena A' , qual dos dois sinais luminosos estaria mais perto? Porquê?

¹As questões referentes a esta situação são da autoria dos investigadores da Universidade de São Paulo, Professores Alberto Villani e Jesuina Pacca e foram transcritas do International Journal of Science Education, vol 9, N^o1, de 1987

3. Segunda situação física²

Um foguetão de comprimento L possui uma antena A na sua extremidade traseira e um espelho M na sua extremidade dianteira.

Quando o foguetão, que viaja a uma velocidade $v = \frac{c}{2}$, passa por cima de uma estação terrestre, a antena A emite um sinal luminoso que, após atingir o espelho M , é reflectido e regressa à antena A .



Q4 - Para alguém que viaje no foguetão, o sinal gasta mais tempo a ir da antena A ao espelho M ou a regressar do espelho M à antena A ? Porquê?

Q5 - Para alguém que se encontre na estação terrestre, o sinal luminoso gasta mais tempo a ir da antena A ao espelho M ou a regressar do espelho M à antena A ? Porquê?

Q6 - O sinal luminoso gasta mais tempo a percorrer a distância de A a M para alguém no foguetão ou para alguém na estação? Porquê?

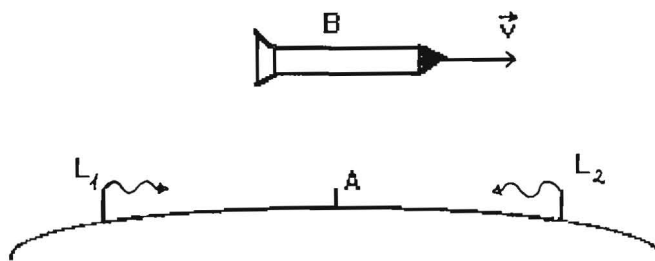
Q7 - O sinal luminoso gasta mais tempo a percorrer a distância de M a A para alguém no foguetão ou para alguém na estação? Porquê?

² As questões referentes a esta situação física têm a mesma origem das anteriores

4. Terceira situação física

São emitidos dois sinais electromagnéticos por dois postos emissores L_1 e L_2 fixos na Terra. Essas emissões são observadas simultaneamente por um observador A terrestre que mede a distância Δx entre esses dois postos emissores.

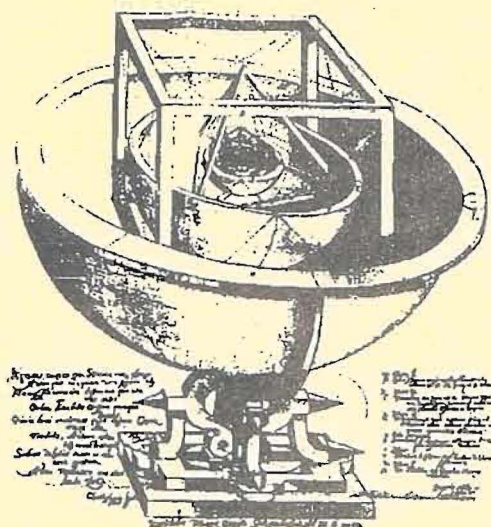
Um outro observador B, deslocando-se num foguetão com uma velocidade $v = \beta c$, observa as emissões dos dois sinais desfasadas de um tempo cujo módulo é $\Delta t'$.



Q8 - Indique, justificando, qual das seguintes expressões permitirá obter a distância entre os referidos emissores medida pelo observador B do foguetão?

- $\Delta x' = \Delta x$
- $\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2}$
- $\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2} - v \Delta t'$
- $\Delta x' = \Delta x \sqrt{1 - \beta^2} + v \Delta t'$

Simpósio
Novas Perspectivas no Ensino
das Ciências e da Matemática



Fundação Calouste Gulbenkian
Lisboa
23 — 25 de Junho 1993

Promovido pelo Departamento de Educação da Faculdade de Ciências de
Lisboa no âmbito das comemorações de 20 anos de formação de
professores.
