



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE FÍSICA “GLEB WATAGHIN”
REDE SÃO PAULO DE FORMAÇÃO DOCENTE-REDEFOR**

CARLA DE GODOY RODRIGUES

RELATIVIDADE EM CINCO PASSOS

Campinas, SP

2011

CARLA DE GODOY RODRIGUES

RELATIVIDADE EM CINCO PASSOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Física “Gleb Wataghin” e Rede São Paulo de Formação Docente (REDEFOR) da Universidade Estadual de Campinas, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Física.

Orientador: Rodrigo Eduardo Fraga Kumamoto

**Campinas
2011**

Resumo

O objetivo deste trabalho é promover o aprendizado da Teoria da Relatividade Especial em alunos do terceiro ano do Ensino Médio, por meio de cinco passos. Como despertar o interesse dos alunos para um assunto aparentemente tão complexo? Esta foi a questão que motivou a proposta de ensinar utilizando cinco etapas de aprendizagem, pois dão a ideia de facilidade e praticidade.

Por meio deste trabalho, conclui-se que o tema desperta o interesse dos alunos. No entanto, cada etapa deve ser o mais breve possível para não comprometer, durante o processo de aprendizagem, a proposta inicial.

Sumário

1	Introdução.....	5
2	Cinco Passos	7
2.1	Teoria da Relatividade – o que é isso?	7
2.2	Será que entendi?.....	12
2.3	Aqui também tem Matemática!	14
2.4	A famosa equação $E = mc^2$	17
2.5	E serve para... ..	19
3	Conclusão.....	20
	Referências Bibliográficas.....	23

1 Introdução

A abordagem pedagógica tradicional utilizada atualmente nem sempre acarreta resultados satisfatórios, principalmente quando o conteúdo abordado é consideravelmente mais complexo que outros. Muitas vezes, o aprendizado requer maiores investimentos por parte do educador, talvez uma estratégia mais atrativa, mais interessante. Como desafiar os alunos do 3º ano do Ensino Médio a aprender Relatividade? Esta foi a questão motivadora deste trabalho, Relatividade em Cinco Passos, que tem como objetivo promover o efetivo aprendizado da Teoria da Relatividade Especial desenvolvida por Albert Einstein e publicada em 1905. Os alunos deverão, após as duas aulas, nas quais participaram dos Cinco Passos, apresentar a habilidade de desenvolver uma discussão, dialogar ou pelo menos argumentar sobre este assunto que revolucionou a história da Física.

Einstein sabia da dificuldade de compreender aquilo que formulou. Considerava que, para entender a Relatividade, especificamente, seria necessário não apenas um motivador externo, mas também um desejo por parte do aprendiz, um agente motivador interno.

“... aqueles que de um ponto de vista geral científico e filosófico se interessam pela teoria...”¹

O próprio Einstein interpretava a falta de interesse como maior obstáculo do que a ausência de conhecimentos prévios.

¹ Frase de Albert Einstein. MEDEIROS, Einstein e a Educação, p. 238, 2006. Ed. Livraria da Física

“Relatividade em Cinco Passos” tem os cinco passos como agente motivador externo, apenas cinco etapas para promover a aprendizagem da Relatividade Especial. A intenção é a praticidade.

Com o propósito de não permitir que a ausência de conhecimentos prévios compromettesse a aprendizagem durante as cinco etapas, utilizou-se linguagem simplificada e recordação de alguns conceitos físicos.

As cinco etapas de aprendizagem ou os cinco passos são: “Teoria da Relatividade, o que é isso?”, “Será que entendi?”, “Aqui também tem Matemática!”, “A famosa $E = m \cdot c^2$ ” e “Esta teoria serve para...”. E estes são os títulos de cada passo, os quais serão descritos mais à frente, em capítulos.

2 Cinco Passos

2.1 Teoria da Relatividade – o que é isso?

O 1º Passo está fundamentado em uma explicação com o auxílio de slides, contendo textos e imagens de forma resumida, com a finalidade de acompanhamento do raciocínio a ser desenvolvido pelo professor e de facilitar a fixação de dados pela memória visual do aluno.

Esta apresentação pode ser ministrada na própria sala de aula dos alunos ou em um auditório, e será suficiente para a realização dos dois primeiros passos. Inicialmente, serão apresentados os slides com o título da aula – Relatividade em cinco passos –, e com o título do primeiro passo – Teoria da Relatividade - o que é isso?

Neste primeiro momento, o desafio encontra-se em derrubar a ideia de que o tempo passa da mesma forma para qualquer referencial inercial. Não se pode pressupor que os alunos tenham um conhecimento prévio do conceito de referencial, caso contrário, corre-se o risco de comprometer o processo de aprendizagem deste ponto em diante.

Os alunos devem ter o conhecimento de que o movimento e o repouso são conceitos relativos, ou seja, dependem do referencial, e em relação ao qual se pode dizer que outros objetos estão em movimento ou repouso. Isso irá ajudá-los a compreender que referencial pode ser um corpo ou um sistema de eixos adotados como referência.

Depois de introduzir o conceito de referencial, torna-se necessário que os alunos entendam que, se a velocidade de um dado movimento se aproximar do valor da velocidade da luz, então o tempo e o espaço percorrido não serão mais

calculados como anteriormente, quando estudavam a Física Clássica. A partir deste momento, serão consideradas grandezas relativas. Quanto mais próximo da velocidade da luz, maior a diferença dos valores obtidos entre a Física Clássica e o previsto pela Teoria da Relatividade.

Os dois postulados também são contemplados por meio dos slides. O primeiro, no qual Einstein afirma que as leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. E o segundo postulado, no qual a velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em qualquer referencial inercial, independente da velocidade da fonte de luz. Einstein, assim como muitos físicos da época, acreditava que a luz precisava de um meio para se propagar. E este meio hipotético, no qual a luz se propagaria, havia sido chamado de éter.

Com relação ao conceito do tempo, pode-se dizer que ocorre na Física Moderna o inverso do que ocorre na Física Clássica. Na Clássica, quando temos um evento, o tempo passa da mesma forma para todos os referenciais, independente da velocidade. Já na Moderna, o tempo depende da velocidade do referencial em que se faz a observação. Para medir o intervalo de tempo gasto para ocorrer um fenômeno, utilizando-se dois observadores situados em dois referenciais inerciais diferentes, com o primeiro dotado de velocidade constante em relação ao segundo, os intervalos de tempo medidos pelos observadores serão diferentes.

Considere um trem que se move com velocidade v constante em relação ao solo. Dentro do vagão há um observador o' e fora do vagão há outro observador o , fixo em relação ao solo. O observador o' aciona uma fonte de luz direcionada para cima. A luz desta fonte é refletida por um espelho e retorna para a fonte.

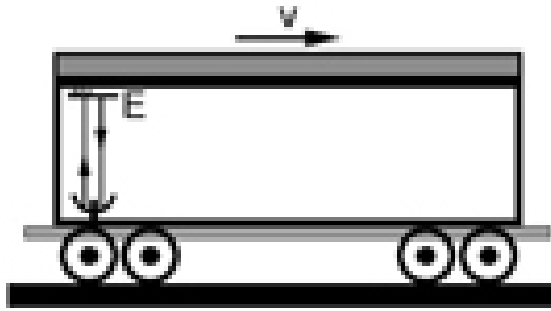


Figura 1- Trajeto da luz para um observador o' , fixo dentro do vagão. Extraído do blog Física Pai d'égua, 2008, voltado à Física do Ensino Médio.

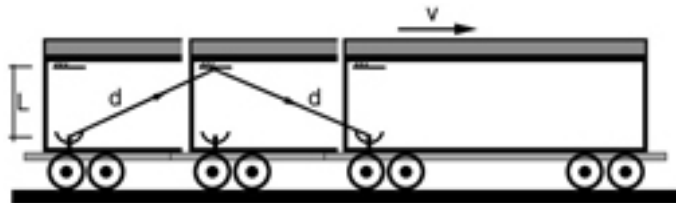


Figura 2- Trajeto da luz para um observador o , fixo em relação ao solo. Extraída do blog Física Pai d'égua, 2008, voltado à Física do Ensino Médio.

A trajetória da luz também é diferente para cada observador.

Para o observador o' , o tempo gasto para a luz percorrer a trajetória $2 d'$ é $\Delta t'$, e, para o observador o , o tempo gasto para descrever a trajetória $2 d$ é Δt .

$$\Delta t' = \frac{2 d'}{c}$$

$$\Delta t = \frac{2 d}{c}$$

Como $d' < d$, temos:

$$\Delta t' < \Delta t$$

Por meio destes eventos, pode-se concluir que, para qualquer outro observador em posição diferente de o' , que não esteja no mesmo local do evento, o tempo gasto será maior do que o tempo no mesmo local do evento, o tempo próprio.

A equação, que relaciona Δt e $\Delta t'$, pode ser obtida aplicando-se o Teorema de Pitágoras ao triângulo retângulo.



Figura 3 - Dilatação do tempo. Figura extraída do site Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF)

$$d^2 = (d')^2 + \left[\frac{v \cdot \Delta t}{2} \right]^2$$

$$\text{ou} \left[\frac{c \cdot (\Delta t)}{2} \right]^2 = \left[\frac{c \cdot (\Delta t')}{2} \right]^2 + \left[\frac{v \cdot (\Delta t)}{2} \right]^2$$

$$c^2(\Delta t)^2 = c^2(\Delta t')^2 + v^2(\Delta t)^2$$

$$(c^2 - v^2)(\Delta t)^2 = c^2(\Delta t')^2$$

$$(\Delta t)^2 = \frac{c^2 (\Delta t')^2}{c^2 - v^2}$$

$$(\Delta t)^2 = \frac{c^2 (\Delta t')^2}{c^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

A relatividade também é observada no comprimento. Um objeto tem comprimento L' , quando em repouso em relação a um observador. Quando este objeto se move com velocidade v (em relação a este mesmo observador), na mesma direção em que foi medido o comprimento, apresenta comprimento L , tal que:

$$L < L'$$

$$L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Houve uma contração no comprimento, visto que a altura não se altera.

A velocidade da luz faz o espaço parecer contraído para alguém que observa um veículo de um referencial em repouso. Por exemplo: se fosse possível um observador em repouso na calçada ver um carro de 4 metros de comprimento passar por ele na velocidade da luz, ele diria que o automóvel poderia estacionar em uma vaga de 2 metros de comprimento.

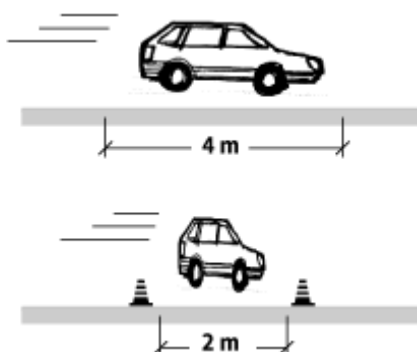


Figura 4 – Espaço relativo. Figura extraída da Folha.com – Especial – 2005 – Albert Einstein.

O primeiro passo, como mencionado anteriormente, é realizado por meio da explicação destes conceitos até aqui expostos, com o auxílio de slides.

2.2 Será que entendi?

O 2º Passo, “Será que entendi?”, corresponde à sequência didática utilizada para consolidar a explicação da Relatividade Especial apresentada no capítulo anterior.

A atividade a ser realizada neste momento é uma autoavaliação dos alunos, na qual eles deverão responder a questões referentes à explicação da Relatividade, apresentada no Primeiro Passo. As questões são de múltipla escolha e têm o objetivo de despertar nos estudantes o interesse em avaliar o conhecimento que adquiriram.

Espera-se que a ideia de verem instantaneamente seu desempenho, os incentive a responder a todas as questões.

Seguem abaixo as questões propostas:

- 1) Quem publicou a Teoria da Relatividade Especial?
 - a) Newton
 - b) Einstein
 - c) Planck
 - d) Galileu

2) O que propõe a Teoria da Relatividade Especial?

- a) A noção de espaço e tempo curvo.
- b) Que espaço e tempo são grandezas absolutas.
- c) Que espaço e tempo dependem de um referencial inercial.
- d) A ideia de espaço e tempo como grandezas independentes uma da outra.

3) Quais das afirmações abaixo correspondem a um dos dois postulados da Teoria da Relatividade Especial?

- I. A resultante das forças que atuam em um corpo é nula quando este estiver em repouso ou movimento retilíneo uniforme.
- II. As leis da Física são as mesmas para todos os referenciais inerciais.
- III. A velocidade da luz depende de um sistema de coordenadas inerciais.
- IV. A velocidade da luz tem sempre o valor c para qualquer referencial inercial, independente da sua fonte.

- a) I e II
- b) II e III
- c) II e IV
- d) Apenas a IV

4) Assinale a afirmativa incorreta:

- a) Em 1905, Einstein apresentou uma teoria que revolucionou os conceitos de espaço e tempo até então conhecidos.
- b) Einstein chamou sua teoria de Teoria da Relatividade Restrita, pois tratava apenas de referenciais inerciais, mas é também conhecida como Teoria da Relatividade Especial.

c) Se dois eventos ocorrem num mesmo instante em um dado referencial, dizemos que eles são simultâneos nesse referencial. Entretanto, esses mesmos eventos não serão necessariamente simultâneos em outros referenciais.

d) Em velocidades próximas à velocidade da luz, o movimento afeta a medida do tempo, mas não afeta a medida do comprimento. Para um observador dentro de um trem muito rápido, uma plataforma tem o mesmo comprimento que para outro que está no referencial da plataforma.

Após os alunos responderem às questões, voltando aos slides, será apresentada uma correção que irá ajudá-los a conferir suas respostas. Assim, poderão somar o número de acertos. Este dado será útil para verificar os resultados obtidos com a aula. As questões também terão o papel de ajudá-los a fixar o conteúdo visto até este ponto.

2.3 Aqui também tem Matemática!

No Primeiro Passo, pôde-se observar que a Relatividade Especial apresenta equações que permitem a obtenção de valores como tempo relativo e comprimento relativo. As equações serão aplicadas nesta etapa, por meio de um exemplo que será exposto utilizando-se lousa e giz, de forma convencional.

Antes de iniciar os cálculos do exemplo propriamente dito, há necessidade de citar ao menos a origem das equações, ou seja, adotar o evento do vagão para demonstrar o trajeto diferente que a luz faz para cada observador, deixando claro que, se o percurso é outro e a velocidade da luz é sempre a mesma, então o tempo também será diferente.

O exemplo utilizado será em forma de situação-problema.

1º Exemplo:

Uma equipe de astronautas fará uma viagem para uma estrela bem distante, mas isso não será um grande problema, visto que a nave viaja a 75% da velocidade da luz e tem 500 m de comprimento. Uma jovem tripulante está grávida e espera o nascimento do seu bebê para os primeiros dias após a partida, ou seja, seu bebê será o mais novo tripulante da nave. Sabendo-se que o avô da criança teve de esperar dez anos aqui na Terra para conhecê-lo – o tempo de duração da viagem para ele –, quantos anos terá seu neto quando eles se encontrarem aqui? E qual o comprimento da nave quando estava em movimento, se vista por um observador em repouso na Terra?

A fim de resolver esta questão, deve-se deixar claro que, se tratando de uma viagem com velocidade extremamente alta, próxima à da luz, a forma de se calcular o tempo gasto para percorrer o percurso citado é diferente da utilizada na Física Clássica para movimentos com velocidades menores. A equação abaixo, a ser usada, foi deduzida no primeiro capítulo deste trabalho.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Se para um observador no referencial da Terra a viagem demorou 10 (dez) anos, então $\Delta t = 10$ anos.

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$10 = \frac{\Delta t'}{0,66}$$

$\Delta t' = 6,6$ anos, ou seja, a criança terá pouco mais de 6 (seis) anos, quando conhecer o avô.

Fazendo-se os cálculos, é possível verificar a diferença do tempo gasto para diferentes referenciais em uma mesma viagem, ou seja, para os astronautas, a viagem durou 3,4 anos a menos do que para alguém que ficou na Terra.

A intenção deste 3º Passo é mostrar aos alunos como matematicamente se obtêm os tempos relativos mencionados no Primeiro Passo.

Quanto às dimensões da nave, se ela possui 500 metros de comprimento em repouso, com relação a um observador $L' = 500$ m, para encontrar o seu comprimento L , se ela estiver em movimento, com relação ao mesmo observador, os alunos utilizarão a equação do espaço relativo:

$$L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$L = 500 \cdot \sqrt{1 - 0,5625}$$

$$L = 500 \cdot \sqrt{0,4375}$$

$$L = 300 \text{ m}$$

Utilizando-se o mesmo exemplo, é possível que os alunos observem a aplicação da equação do espaço relativo, assim como do tempo relativo.

2.4 A famosa equação $E = mc^2$

Nesta ocasião, ou seja, no 4º Passo, os alunos terão contato com a equação de Einstein, da qual tanto ouviram falar, leram em camisetas ou propagandas. A introdução do assunto pode ser feita com a exposição da equação em um cartaz ou até mesmo em uma camiseta, bem como questionando o conhecimento dos estudantes a respeito.

Existe uma grande popularidade em torno dessa fórmula apresentada por Einstein. No entanto, seu significado e sua aplicação continuam desconhecidos para a maioria dos alunos.

Com a Teoria da Relatividade Especial, Einstein considerou outra forma de energia, apresentando uma dualidade massa-energia. Isso quer dizer que qualquer variação de massa é acompanhada de uma variação de energia e vice-versa.

Nas reações químicas, a parcela de massa transformada em diversas formas de energia é insignificante, se comparada às reações nucleares, onde a quantidade de energia envolvida é milhões de vezes maior. Isso quer dizer que, na Física Nuclear, encontram-se as aplicações para esta famosa fórmula matemática.

Na realidade, a massa não desapareceu para reaparecer como energia, e vice-versa. O que ocorre é uma proporcionalidade entre os valores das variações de massa e energia. Por definição, a massa inercial mede a inércia de um corpo, isto é, sua resistência a mudanças de velocidade; enquanto a energia representa a capacidade de realizar trabalho.

Quando ocorre uma fissão nuclear, núcleos pesados, como o urânio 235, são quebrados em núcleos mais leves, após a colisão com outras partículas. A variação de massa e energia pode ser observada depois da colisão. A energia é removida do átomo de urânio em forma de calor e luz. Se perde energia, perde proporcionalmente massa.

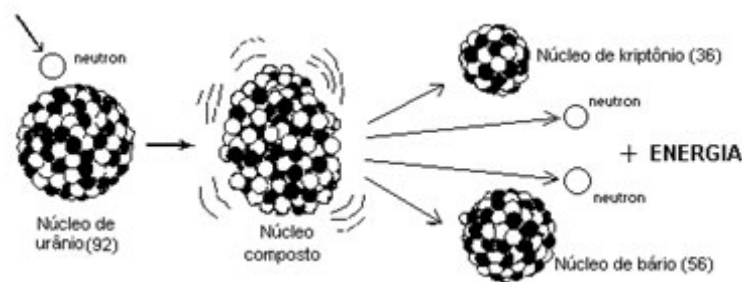


Figura 5 – Fissão nuclear. Figura extraída do site Oficina da Net.

2.5 E serve para...

E para quê serve esta Teoria?

Neste 5º Passo, a maioria dos alunos deverá ser capaz de discutir a Relatividade Especial com alguém e responder às questões da pesquisa inicial de forma diferente em relação à primeira vez.

1. Você já ouviu falar em Relatividade Especial?
2. Quem apresentou esta Teoria?
3. Você consegue explicar algo sobre esta Teoria?

A atividade realizada nesta etapa será retomar as questões da pesquisa para posterior comparação com a primeira pesquisa, fechar a aula com uma discussão sobre tudo o que foi visto com os alunos e informar-lhes as possíveis aplicações desta Teoria.

A discussão deverá partir da constatação de que, após os Quatro Passos, ou seja, neste 5º Passo, os alunos foram capacitados a responder às perguntas da pesquisa, e isso significa que também apresentam a habilidade para discutir sobre a Relatividade Especial.

Após a discussão, oportunidade em que haverá interação com os alunos, a Teoria deve ser contextualizada. Uma aplicação da Teoria da Relatividade Especial pode ser encontrada na calibragem dos satélites de GPS que orientam os aviões e os navios. Há a necessidade de se fazer esta calibragem, senão o erro de localização acumulado seria de aproximadamente 10 quilômetros por dia.

A equação matemática de Einstein $E = m \cdot c^2$ possibilitou uma equivalência entre massa e energia envolvidas em processos físicos e, conseqüentemente, a produção de energia em usinas nucleares, nas quais átomos de urânio são

bombardeados por nêutrons, ocorrendo assim uma fissão nuclear, que é a quebra de um núcleo em dois de menor massa, com a emissão de dois ou três nêutrons e alguns fótons. Este tipo de produção de energia é extremamente eficiente, pois uma pequena massa de urânio pode gerar muita energia – apenas 1 kg de urânio pode fornecer a energia equivalente à produzida por 20 toneladas de carvão.

Alguns países desenvolvidos, como a França, por exemplo, têm cerca de 80% de sua energia elétrica produzida por usinas nucleares. Esta forma de geração de energia é considerada limpa, pois não emite gases poluentes, como dióxido de carbono, de enxofre e outros gases nocivos ao meio ambiente.

3 Conclusão

As práticas pedagógicas deste trabalho foram aplicadas a uma sala de alunos do 3º ano do Ensino Médio, da Escola Estadual Castello Branco, no município de Limeira, no estado de São Paulo. Iniciou-se com uma pesquisa para analisar o conhecimento prévio dos alunos a respeito da Teoria da Relatividade Especial. Os resultados obtidos foram exatamente os esperados, ou seja, 100% dos alunos já tinham ouvido falar na Teoria da Relatividade, 30% conheciam o autor da Teoria e 0% sabia dizer algo sobre o assunto.

Logo após a realização da pesquisa, foi possível notar a curiosidade dos alunos em aprender o que eles, por meio da pesquisa, perceberam que desconheciam. De certa forma, esta curiosidade facilitaria o desenvolvimento das atividades seguintes.

O objetivo proposto seria conseguir, por meio de cinco passos, ou seja, cinco etapas de aprendizagem, a obtenção de conhecimentos sobre a Teoria da

Relatividade Especial e o desenvolvimento de habilidades para analisar e discutir a respeito do assunto.

Na aplicação do 1º Passo, “Teoria da Relatividade, o que é isso?”, os alunos assistiram, com bastante atenção, à apresentação de slides com uma explicação sobre a Teoria da Relatividade Especial, e levantaram muitas questões sobre o assunto, pois ficaram surpresos, achando ser impossível a dilatação do tempo e a contração do espaço. Esta reação era previsível, visto que ainda não tinham ouvido falar, nem lido sobre isso. Como novos conceitos deveriam ser estabelecidos, seria natural a observação de certa resistência por parte dos estudantes. Com o decorrer da apresentação, eles foram conseguindo compreender.

No 2º Passo, cujo título é “Será que entendi?”, os alunos deveriam responder a quatro questões alternativas sobre a Teoria da Relatividade, as quais foram posteriormente conferidas com um gabarito. Questionando os alunos, verificou-se que 100% acertaram a primeira questão, 95% acertaram a segunda, aproximadamente 70% acertaram a terceira e 80% acertaram a quarta questão.

A fim de dar prosseguimento ao trabalho, foi preciso uma segunda aula para a aplicação do próximo passo – “Aqui também tem Matemática!” Nesta aula, durante a apresentação da equação para se calcular o tempo relativo, foi percebido certo assombro por parte dos alunos – alguns diziam ser uma fórmula muito difícil; outros, preocupados, perguntavam se teriam que decorar a fórmula; e outros queriam saber logo qual seria a resposta do problema apresentado, visto que se tratava de uma viagem espacial, um assunto aparentemente interessante para eles.

A equação $E = m \cdot c^2$ se refere à expressão matemática que todos os alunos, sem exceção, já ouviram falar. Esta convicção foi comprovada de imediato na discussão proposta para o 4º Passo, que começa aqui, após a resolução do

problema anteriormente mencionado. Na discussão, que se desenvolveu a partir de um cartaz com a imagem da equação $E = m \cdot c^2$, os alunos admitiram já conhecerem a fórmula e demonstraram interesse em descobrir seu significado.

A praticidade em ensinar relatividade em cinco passos obteve sucesso até então. No entanto, houve a necessidade de se adicionar mais uma aula ao processo, ou seja, não foi possível promover em apenas duas aulas o aprendizado da Teoria da Relatividade Especial. No 5º Passo, os alunos foram informados sobre as aplicações dos conceitos estudados na Teoria da Relatividade. Durante a exposição das aplicações, a maioria dos alunos esteve atenta, enquanto outros não demonstravam tanto interesse. Atribuiu-se a falta de interesse ao prolongamento desta etapa, pois uma terceira aula estaria denotando uma contradição à facilidade e à praticidade propostas.

Para finalizar, realizou-se a mesma pesquisa, com perguntas idênticas às feitas anteriormente à apresentação do 1º Passo. Por meio desta pesquisa, concluiu-se que “Relatividade em cinco passos” obteve sucesso, apesar dos obstáculos encontrados, como a dificuldade de compreender a relatividade do tempo e espaço, a barreira criada em aplicar uma nova equação para calcular tempo e espaço, e, ainda, o desinteresse por parte de alguns alunos no final do processo de aprendizagem. Agora, além de terem ouvido falar sobre a Teoria da Relatividade Especial, os alunos também sabiam quem a desenvolveu e conseguiriam escrever e discutir algo sobre o assunto.

Referências Bibliográficas

SAMPAIO, José L.; CALÇADA, Sérgio C. **Universo da Física**. 2ª ed., Ed. Saraiva, São Paulo, 2005.

PENTEADO, Paulo C. M.; TORRES, Carlos M. A. **Física, Ciência e Tecnologia**. 1ª ed., Ed. Moderna, São Paulo, 2005.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide. **Einstein e a Educação**. 1ª ed., Ed. Livraria da Física, 2006.

PRASS, Alberto R. **A energia nuclear hoje: Uma análise exploratória**. Porto Alegre, 2007.

www.oficinadanet.com.br/artigo/ciencia/como-funciona-usina-nuclear.

www.cbpf.br/~dcp/papers/mariacristina/espaco_tempo.pp.

www.fisicapaidegua.com.

www.educacaopublica.rj.gov.br

www.1folha.uol.com.br/folha/especial/2005/alberteinstein.

omicroemacro.blogspot.com.

fisicandrainha.blogspot.com.