



RELATIVIDADE ESPECIAL EM HQ

Marcio da Silva Ribeiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Demison Correia Motta

Rio de Janeiro
Mês de 2018

Relatividade Especial Em HQ

Marcio da Silva Ribeiro

Orientador:
Dr. Demison Correia Motta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dr.Nome do Membro da Banca

Dr.Nome do Membro da Banca

Dr.Nome do Membro da Banca

Rio de Janeiro
Mês de 2018

MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

CXXXc* Ribeiro, Marcio
Relatividade Especial em HQ / Marcio da Silva Ribeiro - Rio de Janeiro: UNIRIO / IBIO, 2018.
7 seções, 66 páginas; A4.
Orientador: Demison Correia Motta
Dissertação (mestrado) – UNIRIO / Instituto de Biociências / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.
Referências Bibliográficas: 65-66
1. Relatividade Especial. 2. Ensino de física. 3. História em Quadrinho.
I. Demison Correia Motta
II. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
III. Relatividade Especial em HQ

*Código da obra (fornecido pela biblioteca)

Consultar: <http://www.biblioteca.unirio.br/servicos-1/fichas-catalogograficas>

Dedico esta dissertação a todos que me ajudaram a chegar até aqui.

Agradecimentos

Ao corpo de docentes do programa MNPEF do polo UniRio.

Ao Professor Demison Motta pela orientação.

Aos colegas do curso.

À minha família e esposa.

Aos alunos que participaram e me ajudaram neste projeto.

RESUMO

Relatividade Especial em HQ

Marcio da Silva Ribeiro

Orientador:
Dr. Demison Correia Motta

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física da UNIRIO (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o estudo do tema Relatividade Especial (RE) no Ensino Médio (EM), utilizando como ferramenta um recurso de comunicação visual impresso. O suporte teórico dessa dissertação orbita em torno da discussão sobre metodologias alternativas na inserção à Física Moderna e Contemporânea (FMC). O produto foi construído considerando um procedimento didático, no qual o tema gerador é desenvolvido a partir da análise crítica de uma História em Quadrinhos (HQ) original. Esta HQ foi disponibilizada para os alunos no formato digital na extensão PDF, isto viabiliza a distribuição do material sem haver custos na sua reprodução. Além da HQ, o produto contém um roteiro de aplicação voltado aos professores. Nele os docentes encontram os postulados da RE, as equações de dilatação do tempo e contração do espaço como também, um texto de divulgação científica. Diferentes questionários foram aplicados antes e após a execução do produto e os resultados foram expressos em gráficos. Além dos questionários, entrevistas, com perguntas semiestruturadas, foram realizadas ao término da aplicação do produto e as respostas dos alunos foram registradas em áudio.

Palavras-chave: ensino de física, relatividade especial, história em quadrinho.

Rio de Janeiro
Abril de 2018

ABSTRACT

Special Relativity in HQ

Marcio da Silva Ribeiro

Supervisor(s):
Dr. Demison Correia Motta

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

This Work aims to contribute for the study of theme Especial Relativity in the high school level, using like tool a visual resource of communication printed. The theoretical support of this dissertation orbit around the discussion about alternative methodology's in the insertion to Modern Physic. The product was built considering a didactic procedure in which the generator theme is developed from critical analysis of a original comic book. This comic book was available for the students in digital format (PDF extension), allowing the free distribution and reproduction of material. Apart from that, the product contains a script of application intended for the teachers. In this script, the teachers find Especial Relativity postulates, equations of time dilatation and space contraction as also a text of scientific divulgation. Different questionnaires were applied before and after of the product finalization and the results were expressed through of graphs. Beside the questionnaires, interview's, composed by semistructured questions, were realized with the students in the end of product application and the answers were recorded in audio.

Keywords: Physics education, especial relativity, comic book.

Rio de Janeiro
April 2018

Sumário

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1 Relatividade especial a partir de experimentos mentais.....	3
2.2 A relatividade especial no ensino médio.....	11
2.3 A história em quadrinho como ferramenta pedagógica.....	13
2.4 A Lei de Diretrizes e Bases e os Parâmetros Curriculares Nacionais.....	16
CAPÍTULO 3 ELABORAÇÃO DO PRODUTO.....	18
3.1 O produto.....	18
3.2 Material do professor.....	19
3.3 Material do aluno.....	19
CAPÍTULO 4 APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	23
CAPÍTULO 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	27
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES.....	45
APÊNDICE A.....	47
APÊNDICE B.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

A publicação de trabalhos que têm como tema principal a abordagem de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio (EM) cresce a cada ano. Autores como, Terrazzan (1992), Ostermann e Moreira (2000), acreditam que esses tópicos são fundamentais para a compreensão da natureza e das tecnologias que são desenvolvidas a partir dos novos conceitos construídos pela Física do século XX.

Observa-se também, por parte da mídia, a crescente divulgação de notícias tais como a construção do Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons), detecção de ondas gravitacionais e a exibição de filmes, como *Interestelar*, onde são abordados alguns temas de FMC. Muitas vezes o aluno do EM, ao ter contato com essas informações, não possui aporte teórico suficiente para compreendê-las, o que desencadeia um grande número de perguntas nas aulas de Física. Contudo, como o professor não tem em mãos um material que seja apropriado para o desenvolvimento do assunto em questão, muitas vezes, não consegue responder de maneira eficaz a todas as perguntas.

Diante desse cenário a Secretaria de Educação do Estado do Rio de Janeiro (SEEDUC), com o auxílio dos professores da própria rede, promoveu mudanças no currículo de física, passando a abordar temas que antes não eram discutidos no EM, como: Cosmologia, Relatividade e Física Nuclear. A introdução desses tópicos não deve ser entendida como mais um obstáculo na vida do aluno, que já possui uma extensa grade curricular, mas sim como uma tentativa de resgatar o interesse dos jovens pela pesquisa e desenvolvimento científico, a partir de assuntos atuais com os quais se deparam em seu cotidiano ao ler uma revista ou assistir a um telejornal.

Ao ser efetuada a mudança na grade curricular, houve a necessidade da elaboração de materiais de apoio para a abordagem dos novos temas. Para Terrazzan (1992), juntamente com a preocupação de atualização e modernização dos programas de ensino de física no EM, surgem também questionamentos em relação à como realizá-los e que critérios adotar nessa reformulação. Zuin (2008) sugere que para elaborar materiais didáticos mediadores entre o conhecimento e os estudantes, deve-se observar a adequação dos conteúdos à faixa etária e a contextualização com o local ao qual se destinam. Também é destacada a importância da formação continuada dos professores para que se aprimorem e possam diversificar suas aulas e métodos de ensino.

Verifica-se, então, que esta questão abrange não só a elaboração de materiais didáticos que estimulem o interesse dos alunos, mas também, a preparação dos professores para que possam aplicar esses materiais de forma a surtir bons resultados nos processos de ensino aprendizagem.

Segundo Ostermann e Ricci (2002), numa consulta a livros didáticos voltados para o EM, o tema Relatividade Especial e outros temas de FMC são pouco abordados e quando essa abordagem ocorre é insuficiente devido à superficialidade com que os assuntos são tratados.

Na escassez de materiais didáticos sobre FMC para o EM se encontra a razão central deste trabalho: **formulação de uma metodologia que facilite a abordagem dos conceitos da RE no EM, com o auxílio de uma HQ.**

Nesta perspectiva podemos fazer as perguntas que nortearão a pesquisa e que serão respondidas ao término do trabalho:

- I) Por quê a HQ configura uma boa ferramenta na introdução de conceitos científicos, em particular a RE?
- II) Como o roteiro da HQ, que constitui o produto, propicia a reflexão dos alunos sobre os conceitos modernos de espaço e tempo?

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Relatividade Especial a partir de experimentos mentais

Denomina-se atualmente Física Moderna, a Física desenvolvida nas três primeiras décadas do século passado. Todo conhecimento criado nesta época pode ser resumido em duas grandes vertentes teóricas: A teoria da Relatividade, proposta por Einstein (1879-1955), e a teoria Quântica, iniciada por Max Planck (1848-1947).

Em 1905, Einstein publica seu trabalho sobre a Teoria da Relatividade Especial (RE) desenvolvido a partir de argumentos estritamente teóricos. Não serão discutidas as diferenças epistemológicas entre a RE de Einstein e o Princípio da Relatividade, desenvolvido por Lorentz-Poincaré, que em sua grande parte foi construído sobre dados experimentais. Analisando a história da ciência verifica-se que a maior parte das equações obtidas por Einstein já haviam sido demonstradas nos trabalhos de Lorentz-Poincaré. Tudo o que pode ser deduzido matematicamente de uma dessas teorias é da mesma forma demonstrado pela outra. Em relação aos resultados testáveis experimentalmente, o que é previsto por uma pode ser igualmente observado pela outra. Desta forma afirma-se que, em vez de serem duas teorias diferentes, esses autores produziram duas interpretações diferentes de uma mesma teoria física (Martins). Apesar desse aspecto não ser discutido neste trabalho, ele possui grande relevância no que diz respeito ao desenvolvimento da teoria da relatividade especial, tanto em suas concepções epistemológicas quanto no seu formalismo matemático.

A razão pela qual essa teoria é conhecida como relatividade especial ou restrita decorre do fato dela se restringir a estudar fenômenos que ocorrem em referenciais onde as velocidades são constantes. Para desenvolver esta teoria Einstein se utiliza de experimentos mentais, não realizáveis na prática, cujas consequências podem ser exploradas pela realidade física ou por equações matemáticas. Estes experimentos são conhecidos como Gedankenexperiment. Um desses experimentos consiste no seguinte: um trem que se move com velocidade constante V em relação a uma plataforma. Nesta situação configuram-se dois referenciais, o que se move junto com o trem e o que encontra-se em repouso em relação à plataforma. Considerando um raio luminoso emitido verticalmente do chão até o teto do trem, onde está fixo um espelho, observadores nesses referenciais verificarão trajetórias distintas. Para um observador (O') dentro do trem, a trajetória realizada pela luz pode ser representada da seguinte forma:

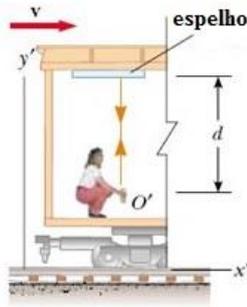


Fig.1 <http://slideplayer.com.br/slide/1595643/> (adaptada)

Para um observador (O) que está sobre a plataforma, a trajetória do raio de luz terá o seguinte formato:

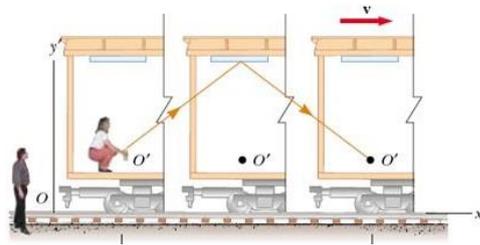


Fig.2 <http://slideplayer.com.br/slide/1595643/> (adaptada)

Para o observador O' o intervalo de tempo entre a emissão e a recepção do raio luminoso será:

$$\Delta t' = 2d/c \tag{2.1.1}$$

A princípio, o intervalo de tempo medido pelos observadores, mesmo que em referenciais diferentes, deve ser igual. Isto pode ser demonstrado facilmente aplicando o conceito de composição de velocidades da física clássica, pois esta situação se assemelha a de um barco que atravessa um rio com velocidade perpendicular à correnteza.

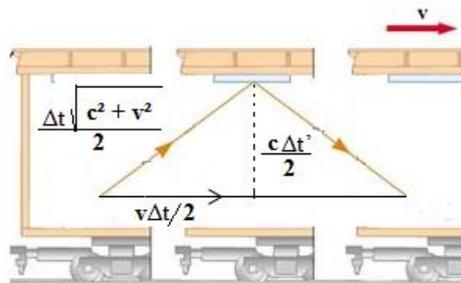


Fig.3 <http://slideplayer.com.br/slide/1595643/> (adaptada)

Analisando as trajetórias do raio de luz pode-se estabelecer uma conexão entre os dois intervalos de tempo, medidos por O e O', construindo a seguinte relação algébrica:

$$\left[(c^2 + v^2)^{1/2} \right]^2 \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2 + v^2 \Delta t^2 \quad (2.1.2)$$

Agrupando os termos semelhantes (medidos em um mesmo referencial) desta equação, observa-se que:

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

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

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

$$c^2 \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2$$

$$\Delta t^2 = \Delta t'^2 \quad (2.1.3)$$

O resultado obtido acima é totalmente condizente com as previsões da física clássica. Nesta linha de raciocínio, o tempo passa igualmente em todos os referenciais estando eles em movimento ou repouso. Em seu trabalho intitulado “Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” Isaac Newton (1643-1727), um dos principais representantes da física clássica, define o tempo da seguinte forma:

“O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só e por própria natureza, flui uniformemente, sem relação com nenhuma coisa externa, e é também chamado de duração...”

Este resultado possui um forte significado filosófico já que, em seu cotidiano, o ser humano não consegue perceber a diferença entre intervalos de tempo medidos no referencial do trem e da plataforma.

No desenvolvimento da RE Einstein postulou que a velocidade da luz não depende da velocidade da fonte que a emitiu. Desta forma, a luz propaga-se com

velocidade constante quando observada por qualquer referencial inercial. Ao lançar mão deste postulado teremos que modificar a forma pela qual abordamos o experimento descrito acima, pois não é mais possível somar à velocidade da luz qualquer outro valor. Logo, este passa a ser o limite máximo de velocidade do universo. O segundo postulado da RE diz respeito à forma das equações da física clássica quando transpostas de um referencial inercial para outro. Neste postulado Einstein afirma que é impossível distinguir um referencial em repouso de um em movimento retilíneo uniforme, ou seja, na classe dos referenciais inerciais nenhum é privilegiado. Logo, as equações (Leis de Newton) tornam-se invariantes quando aplicadas nesses referenciais.

Considerando uma situação semelhante ao experimento descrito acima, porém sem a emissão do raio luminoso. O trem e a plataforma serão agora, representados por eixos de coordenadas cartesianas e um objeto será abandonado do teto do trem:

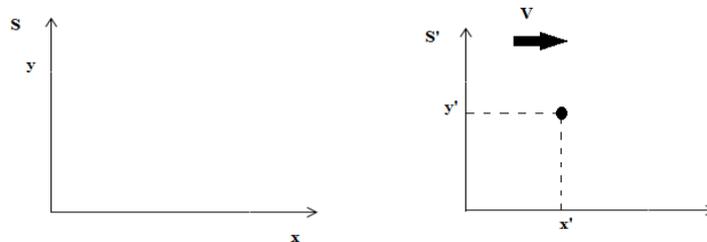


Fig.4 Referencial S representando a plataforma e referencial S' representando o trem com velocidade V.

O propósito é verificar o postulado de Einstein demonstrando que as Leis de Newton possuem a mesma forma em ambos os referenciais. Aplicando as transformações de Galileu para a posição do objeto:

$$x = x' + Vt \tag{2.1.4}$$

No instante zero as posições medidas em ambos os referenciais são coincidentes. Agrupando todos os termos referentes ao seu respectivo referencial em um dos lados da igualdade, tem-se:

$$x - Vt = x' \tag{2.1.5}$$

Derivando em relação ao tempo nos dois lados chegamos à equação da velocidade. Observe que ainda consideramos $dt = dt'$:

$$\frac{d}{dt}(x - Vt) = \frac{dx'}{dt}$$

$$\frac{dx}{dt} - V = \frac{dx'}{dt}$$

$$v - V = v' \quad (2.1.6)$$

Derivando novamente em relação ao tempo, encontraremos a aceleração do objeto medida em ambos os referenciais:

$$\frac{dv}{dt} - \frac{dV}{dt} = \frac{dv'}{dt} \quad (2.1.7)$$

Lembrando que a velocidade V do referencial S' é constante, então:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv'}{dt}$$

$$a = a' \quad (2.1.8)$$

Ao multiplicar ambos os lados da igualdade pela massa, obtém-se ainda :

$$ma = ma'$$

$$F = F' \quad (2.1.9)$$

Considerando-se que os postulados de Einstein são verdadeiros, uma nova abordagem será empregada no experimento do trem, onde um raio de luz é emitido a partir do chão, refletido por um espelho no teto e recebido novamente por seu emissor. Na abordagem deste problema a velocidade da luz perde seu caráter vetorial e passa a ser uma quantidade na qual nenhuma outra pode ser somada. Logo, a relação entre um intervalo de tempo medido nos dois referenciais deixa de ser expressa por (2.1.2) e passa a ser:

$$c^2 \Delta t^2 = c^2 \Delta t'^2 + v \Delta t^2 \quad (2.1.10)$$

Agrupando os termos relacionados ao seu respectivo referencial, tem-se:

$$c^2\Delta t^2 - v^2\Delta t^2 = c^2\Delta t'^2 \quad (2.1.11)$$

Novamente procura-se uma relação entre Δt e $\Delta t'$. Colocando alguns termos em evidência é possível obter as seguintes equações:

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

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

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

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

$$\Delta t = \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)^{1/2} \Delta t' \quad (2.1.12)$$

Em (2.1.12) o termo que multiplica $\Delta t'$ é chamado de fator de Lorentz e depende exclusivamente da velocidade com que o referencial S' se move. Este termo adimensional será representado pela letra γ (gama), logo a equação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (2.1.13)$$

O intervalo de tempo medido no referencial do trem ($\Delta t'$) é chamado de tempo próprio, pois esta quantidade foi medida em uma mesma posição - a trajetória do raio luminoso para este observador é verticalizada. No entanto, para o referencial da plataforma a

posição da emissão é diferente da posição da recepção do raio luminoso, já que o trem encontra-se em movimento. Desta forma será utilizada a nomenclatura com índice zero para os intervalos de tempo que forem caracterizados como próprios. Assim, a equação torna-se: $\Delta t = \gamma \Delta t_0$.

A RE também relaciona os comprimentos medidos em ambos os referenciais. Se o observador no referencial da plataforma quiser medir o tamanho do trem, basta registrar o intervalo de tempo em que os vagões passam integralmente por ele e multiplicar este valor pela velocidade V do trem. Verifique que para realizar esta tarefa o observador esteve parado em uma mesma posição no referencial da plataforma, assim o seu intervalo de tempo configura o tempo próprio ($\Delta t' = \gamma \Delta t$). A relação entre os comprimentos será dada pela seguinte razão:

$$\frac{\Delta l}{\Delta l'} = \frac{V \Delta t}{V \Delta t'} \quad (2.1.14)$$

Onde Δl e $\Delta l'$ são os comprimentos medidos em S e S' respectivamente. A velocidade de aproximação entre o trem e a plataforma é equivalente em ambos os referenciais. Logo, podemos retirar V da equação:

$$\frac{\Delta l}{\Delta l'} = \frac{\Delta t}{\Delta t'} \quad (2.1.15)$$

Aplicando a equação (2.1.13) para este caso, encontra-se a relação entre os comprimentos:

$$\frac{\Delta l}{\Delta l'} = \frac{\Delta t}{\gamma \Delta t}$$

$$\Delta l = \frac{\Delta l'}{\gamma} \quad (2.1.16)$$

O comprimento medido no referencial do trem ($\Delta l'$) será chamado de comprimento próprio, pois o trem é estacionário em relação a este referencial. A equação pode ser reescrita da seguinte maneira: $\Delta l = \Delta l_0 / \gamma$.

Sendo o coeficiente γ (gama) um fator determinante nas equações descritas acima, um gráfico pode ser construído para demonstrar o seu comportamento em função dos valores de velocidade do referencial em movimento:

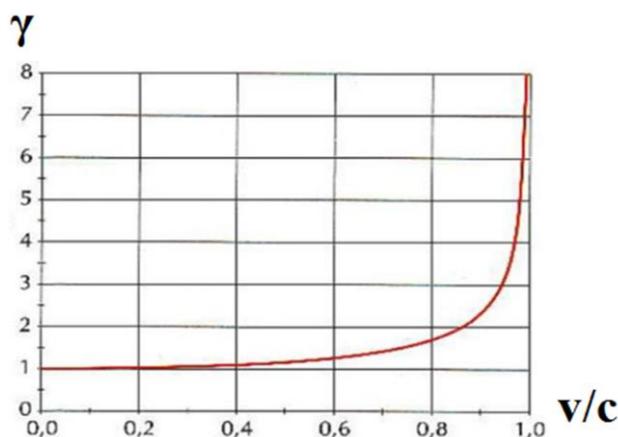


Fig.5 http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/19088/08_avaliacao_frame.htm
(adaptada)

A análise do gráfico permite concluir que o fator γ é sempre maior ou igual a 1 (um). Consequentemente, o intervalo de tempo entre a emissão e recepção do raio luminoso, medido no referencial da plataforma, será igual ou maior que o intervalo de tempo medido no referencial do trem, isto é representado pela equação (2.1.13). Este fenômeno é conhecido como dilatação do tempo. O comprimento do trem medido no referencial da plataforma será igual ou menor que o comprimento medido no referencial que se desloca junto do trem, isto é representado pela equação (2.1.16). Este fenômeno é conhecido como contração do espaço.

Os fenômenos da contração do espaço e dilatação do tempo tornam-se mais expressivos à medida que a velocidade do referencial em movimento se aproxima do valor da velocidade da luz. No cotidiano as velocidades de deslocamento dos meios de transporte equivalem a uma parcela desprezível da velocidade da luz, ou seja, $V/c \ll 1$. Logo, o fator de Lorentz se aproxima da unidade ($\gamma = 1$), desta forma as equações (2.1.13) e (2.1.16) tornam-se:

$$\Delta t = \Delta t_0$$

$$E$$

$$\Delta l = \Delta l_0$$

2.2 A relatividade especial no ensino médio

A ideia central deste capítulo é buscar subsídios teóricos em trabalhos que foram publicados nesta mesma área de pesquisa.

Nos currículos das escolas de países desenvolvidos já são encontrados tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) há algum tempo, porém no Brasil esta discussão vem crescendo de forma acentuada nos últimos 15 anos (OSTERMANN; RICCI, 2002). Logo, observa-se uma tendência nacional e internacional de inserção desses tópicos na educação básica.

Considera-se que, em âmbito internacional, a preocupação com o ensino de FMC nas escolas de Ensino Médio (EM) começou com a “Conferência sobre o Ensino de Física Moderna”, realizada no Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois, em abril de 1986, onde professores e pesquisadores interagiram, com o objetivo de promover a abordagem de tópicos modernos de pesquisa em Física no EM e em cursos introdutórios de graduação (AUBRECHT, 1989 apud OSTERMAN; MOREIRA, 2000).

Na III Conferência Internacional sobre Educação em Física, realizada em 2000, foi organizado um grupo de debates sobre o ensino de FMC, no qual foram levantadas várias razões para a introdução deste tema no EM (BAROJAS, apud OSTERMAN; MOREIRA, 2000). Dentre elas destacam-se as seguintes:

1. A curiosidade dos estudantes precisa ser despertada, de modo que eles reconheçam a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima deles;
2. Os estudantes não têm contato com o excitante mundo da pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900. Esta situação é inaceitável em um século no qual ideias revolucionárias mudaram a ciência;
3. É necessário atrair jovens para a carreira científica, pois eles serão os futuros pesquisadores e professores de Física;
4. É mais estimulante para o professor ensinar novos tópicos, afinal o entusiasmo pelo ensino deriva da motivação que se tem em relação ao material didático utilizado e de mudanças estimulantes no conteúdo do curso. É importante não desprezar os efeitos que a motivação tem sobre o ensino;

5. A Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata, mas resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, os estudantes também apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la.

Para Terrazzan (1992), a abordagem da FMC no EM é essencial, pois esta exerce uma crescente influência na compreensão do mundo moderno e isso é fundamental para a formação de um cidadão consciente, participativo e modificador deste mesmo mundo.

Ostermann e Moreira publicam, em 2001, um trabalho que descreve uma experiência de ensino-aprendizagem sobre tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio. Eles concluem que é viável sua implementação neste nível escolar, pois não foram encontrados obstáculos de natureza cognitiva e a necessidade de pré-requisitos foi irrelevante para o aprendizado. Segundo os autores, os obstáculos identificados na aprendizagem dos conceitos contemporâneos foram do mesmo grau de dificuldade daqueles que os alunos usualmente enfrentam para entender os conceitos clássicos. Os resultados deste trabalho mostram que os alunos, do EM, podem aprender FMC desde que os professores estejam devidamente preparados e disponham de bons materiais didáticos.

Em uma pesquisa realizada entre físicos, professores do Ensino Médio (EM) e pesquisadores em ensino de Física, Osterman e Moreira (2000) elaboraram uma lista sobre quais tópicos de FMC poderiam ser introduzidos no EM. Os tópicos mais importantes segundo a pesquisa são:

Efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

Para Terrazzan (1992) o processo de seleção dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) deve se adequar à exploração dos limites dos modelos clássicos, de tal forma que haja consistência na apresentação dos tópicos modernos,

privilegiando leis gerais e conceitos fundamentais ao invés do enfoque no formalismo matemático.

Por esta razão, entende-se que a Relatividade Especial (RE) se encaixa no perfil pedagógico apresentado neste trabalho, já que esta teoria representa a evolução de um modelo clássico ao redefinir os conceitos de espaço e tempo. Defende-se aqui que quando esses novos conceitos são contextualizados, através de uma história em quadrinhos (HQ), ficam mais fáceis de serem assimilados.

Caruso e Freitas (2009) apresentam uma resposta concreta à indagação de como levar Física Moderna aos jovens do EM. Eles introduzem as contribuições de Einstein, ao conceito de espaço-tempo, na forma de histórias em quadrinhos. Segundo os eles, o que torna interessante o uso das histórias em quadrinhos como fonte de motivação para os alunos, são sua forma e linguagem características, que resultam numa eficaz interação entre palavras e imagem.

Como justificativa para a escolha do tema, ressalta-se também a importância do conceito relativístico nas aplicações tecnológicas modernas, tais como:

1º) A equação de equivalência entre massa e energia, $E = m.c^2$, utilizada na geração de energia elétrica a partir da fissão nuclear;

2º) A correção relativística entre o tempo marcado pelos relógios da Terra e os dos satélites, entre outros.

2.3 A história em quadrinhos como ferramenta pedagógica

Neste trabalho defende-se a utilização da história em quadrinho (HQ) como suporte às atividades educacionais. Entende-se que ao utilizar o próprio universo de interesse dos alunos como instrumento didático, uma condição importante no processo de ensino-aprendizagem é satisfeita: Os alunos estarão propensos a se interessarem pelo material disponibilizado. Desta forma caberá ao professor introduzir formalmente determinados conceitos científicos e atuar como um facilitador ao novo conhecimento que será assimilado à estrutura cognitiva do aluno.

Segundo Pinheiro (2014) uma das características positivas da HQ é a utilização conjunta de textos e imagens, que se complementam e interagem para dar maior poder comunicativo à mensagem (...). O processo de associação de imagens com palavras

torna a comunicação mais eficiente, pois solicita do leitor maior interação com o texto. Assim, a experiência que conjuga, sinestesticamente, vários sentidos tem maior chance de fixar na memória.

Para Santos (2003), a HQ como veículo de comunicação impressa, além de ser produto de consumo elaborado pela indústria da cultura, tem diversas aplicações, seja como instrumento de transmissão de conhecimento ou ferramenta pedagógica. É justamente a possibilidade de uso das HQ's que necessita ser mais bem compreendida e explorada por educadores.

As HQ's vêm sendo utilizadas em diversos setores da sociedade onde se pretende transmitir uma determinada informação. Em 2015 a editora Ediouro lançou, em parceria com as secretarias de saúde e educação do Estado do Rio de Janeiro, uma HQ intitulada *Luluzinha Teen e sua turma – 10 Minutos contra a dengue*. Este material foi distribuído para as 1290 escolas da rede estadual de ensino como um suporte educativo no intuito de informar e formar multiplicadores a respeito das ações de combate a Dengue e Chikungunya.

Para Guimarães (2001) os livros didáticos utilizam o recurso da HQ, mas ainda de forma bastante limitada. São encontradas nesses livros pequenas sequências de imagens que ilustram uma determinada parte do conteúdo. As obras que são totalmente construídas em formato de quadrinhos, como a proposta neste trabalho, são bastante escassas.

A HQ ainda é pouco utilizada como ferramenta para a transmissão de conhecimento científico. No entanto, alguns trabalhos que utilizam deste meio de comunicação tiveram êxito em suas finalidades. Em 2010, Cabello, La Roque e Souza, desenvolvem um trabalho na divulgação dos sintomas da Hanseníase com o intuito de esclarecer alunos do 5º ao 6º ano de duas escolas do ensino fundamental no Rio de Janeiro, a respeito dos vários mitos que envolvem esta doença. Para a realização desta tarefa utilizou-se uma HQ original como instrumento educacional e de divulgação científica que complementariam as aulas formais de ciências. De acordo com a palavra dos próprios autores do trabalho:

Acreditamos firmemente que é possível ensinar ciência fazendo uso das HQ como auxiliar na educação. O entusiasmo, se compararmos sua utilização com os meios tradicionais, é maior, pois incentiva à leitura com seus desenhos coloridos e personagens que se relacionam

estritamente com a criança e o adolescente. As HQ são utilizadas em vários países, inclusive no Brasil, para contar histórias dos seus povos para crianças e pré-adolescentes, de uma forma agradável que instiga o jovem leitor a procurar saber mais sobre o assunto. (KSA Cabello, L De La Rocque, ICF Sousa – 2010)

Outro trabalho chamado de *Projeto de Educação de Ciências Através de Histórias em Quadrinhos* (EDUHQ) foi desenvolvido durante o início da década passada na Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) sob coordenação do professor Dr. Francisco Caruso. Este projeto contou com a participação de professores, estudantes de licenciatura e estudantes de nível médio. O seu principal objetivo era o ensino das ciências através de procedimentos didáticos não-formais, utilizando-se da produção artística como instrumento fomentador da criatividade e da aprendizagem por descoberta¹. Segundo os colaboradores do projeto:

Do ponto de vista didático, nossa proposta vislumbra o ensino não-formal, mas se projeta numa crítica da formalização do ensino através do conhecimento dos conteúdos, tendo como meta transformar o ensino das ciências, viabilizando-o através da prática artística. Valorizamos o não-formal como método para transformação do formal, e viabilizamos uma aproximação entre ambos que permita ao educando brasileiro, enquanto habitante de um país em desenvolvimento, lançar-se ao conhecimento formal através do não-formal, sem o que não teremos voz ante a globalização. (Caruso, Carvalho e Silveira –2005)

O material educacional produzido neste projeto fora compilado em um site que contém cerca de 700 tirinhas abordando diversas áreas do conhecimento científico. De acordo com as estatísticas demonstradas no próprio site, a maior parte dos alunos de ensino médio permaneceram por mais de 6 meses no projeto, demonstrando forte interesse em participar de atividades científicas (extra classe) que sejam desenvolvidas de forma lúdica e prazerosa. O endereço eletrônico é www.cbpf.br/eduhq.

¹ O ambiente de aprendizagem por descoberta propõe que o educador facilite e ordene os processos de representação por parte do aluno, para que ele se sinta estimulado a explorar alternativas. (Eliane da Costa Bruini – Brasil Escola)

2.4 A Lei de Diretrizes e Bases e os Parâmetros Curriculares Nacionais

Diante do exposto acima, torna-se inevitável a revisão e renovação nos currículos de Física do EM. As mudanças que foram promovidas, nos currículos das escolas públicas do Estado do Rio de Janeiro parecem atender de maneira eficaz a Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9394/96, seção IV, art. 35 e 36, em relação às finalidades do EM:

Art. 35.

II – A preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade às novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;

III – O aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;

IV – A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina.

Art. 36.

I – Destacará a educação tecnológica básica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes; o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura; a língua portuguesa como instrumento de comunicação, acesso ao conhecimento e exercício da cidadania;

II – Adotará metodologias de ensino e de avaliação que estimulem a iniciativa dos estudantes;

§ 1º Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre:

I – domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna;

II – conhecimento das formas contemporâneas de linguagem;

Para complementar a Lei de Diretrizes e Bases (LDB), no sentido de organizar o aprendizado no EM, foram criados os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) que têm por objetivo explicitar as habilidades básicas e as competências específicas que um aluno, ao concluir o ensino médio, precisa possuir. Este documento ressalta que o aprendizado deve contribuir não só para o conhecimento técnico, mas também para uma cultura mais ampla, de modo que ambos possam facilitar o desenvolvimento de meios para a interpretação de fatos naturais e para a compreensão acerca do funcionamento de equipamentos modernos no cotidiano social.

O documento diz ainda que disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e defende que somente uma reformulação nos conteúdos dessas disciplinas poderá garantir o avanço do conhecimento científico com incorporação tecnológica.

Um dos trechos dos PCNs esclarece a proposta de inserção de FMC no currículo do EM:

Nunca é demais insistir que não se trata de se incorporar elementos da ciência contemporânea simplesmente por conta de sua importância instrumental utilitária. Trata-se, isso sim, de se prover os alunos de condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam. Vale a pena lembrar que, lado a lado com uma demarcação disciplinar, é preciso desenvolver uma articulação interdisciplinar, de forma a conduzir organicamente o aprendizado pretendido. (BRASIL, 1997, v. 3, p. 8)

Deve-se observar que apesar de incentivar a introdução de novos conceitos científicos no EM, os PCNs não trazem um procedimento ou um modelo que indique como isto deve ser aplicado na prática. No dia a dia, o professor depara-se com diferentes realidades, dependendo da unidade escolar em que leciona. Em alguns casos, a falta de um televisor ou de um retroprojetor, faz a diferença na hora da abordagem de conceitos mais abstratos, o que, eventualmente, pode dificultar o desenvolvimento de um trabalho mais completo. Conseqüentemente, resta aos docentes optarem por aulas puramente teóricas, cansativas e que não despertam grande interesse em boa parte dos alunos.

Capítulo 3. ELABORAÇÃO DO PRODUTO

3.1 O produto

O produto desenvolvido é uma HQ que será disponibilizada aos alunos, enquanto que a metodologia de aplicação será destinada aos professores.

A HQ foi construída a partir de uma plataforma online chamada PIXTON cujo endereço eletrônico é www.pixton.com/br. Nesta plataforma as imagens são pré-definidas, o que pode ser considerado um fator limitador. Essa dificuldade foi contornada, de maneira que após a configuração das imagens, foi montado um roteiro contendo uma conversa entre três personagens sobre o tema RE. O roteiro foi baseado no livro de George Gamow, *As aventuras do Sr. Tompkins*, editora Gradiva, 1990. Esta obra do físico George Gamow consiste em um apanhado de contos cujo personagem principal é o Sr. Tompkins que, em seus sonhos, é transportado para diferentes universos onde os fenômenos estudados pela física moderna ocorrem corriqueiramente. Segundo Gamow na introdução de seu livro:

As divergências entre as noções comuns e as que foram introduzidas pela física moderna são, contudo, tão pequenas que podem ser desprezadas sempre que a experiência se refira à vida cotidiana. Porém, se imaginarmos outros universos, com as mesmas leis físicas que as do nosso, mas com valores numéricos diferentes para as constantes físicas que determinam os limites de aplicabilidade dos antigos conceitos, os novos e corretos conceitos de espaço, tempo e movimento, que a ciência moderna elaborou após longas e laboriosas investigações, tornar-se-ão matéria de conhecimento comum. Pode dizer-se que mesmo um ser primitivo em tal universo se familiarizaria com os princípios da relatividade e da teoria quântica e os usaria na caça e na satisfação das suas necessidades diárias.

Através do roteiro da HQ é possível que o professor trabalhe conceitos como: dilatação do tempo e contração do espaço. A história serve como pano de fundo para que esses temas sejam debatidos com os alunos que estarão em posse do material impresso ou digitalizado no celular.

A metodologia orientará os professores, de modo que eles sejam capazes de encontrar o momento adequado no qual deverá aplicar o produto aqui proposto.

3.2 Material do professor

O material do professor (Apêndice A) contém o roteiro do curso que a princípio foi elaborado para ser aplicado em três aulas, porém, cabe ao docente a adaptação do produto à sua realidade escolar. Inclusive quanto aos postulados da relatividade especial e seus desdobramentos com relação aos conceitos de tempo e espaço. No presente trabalho, o professor poderá verificar, através de um exemplo simplificado, a construção das equações da dilatação do tempo, da contração do espaço e conduzir uma discussão epistemológica sobre o significado desses termos (sessão 2.1). No material do professor pode ser encontrado também o texto de divulgação científica, que foi publicado no site de notícias G1.com, onde é informada a maior velocidade que um objeto criado pelo Homem já alcançou.

Os cálculos que serão apresentados na sessão 2.1 não precisam obrigatoriamente serem apresentados aos alunos. A sugestão é de que apenas os postulados, as equações relativísticas e seus significados devem ser debatidos durante as aulas.

3.3 Material do aluno

A HQ foi construída de forma que o leitor possa avançar gradativamente em alguns conceitos estudados na relatividade especial (RE). De maneira auto explicativa ela promove uma reflexão lúdica, permitindo ao estudante experimentar a aprendizagem por descoberta.

A seguir estão apresentados os conceitos que podem ser explorados a partir da análise dos quadros.

Postulados da relatividade especial

Para a compreensão da teoria da relatividade especial é importante que saibamos o significado dos postulados estabelecidos por Einstein. No quadro abaixo observa-se que um desses postulados é introduzido a partir da fala de um personagem e ao longo da

história este mesmo postulado é debatido por várias vezes, já que seu significado extrapola o senso comum.



Fig.6 Personagens conversando sobre os postulados de Einstein

O quadro revela que a velocidade da luz é invariante quando medida em qualquer referencial inercial. Mas esta não é a única informação presente no quadro. Ao se levantar a dúvida a respeito do que seriam referenciais inerciais, estamos nos aproximando do outro postulado da RE que delimita o domínio de atuação desta teoria. Esta é uma discussão relevante, pois permite demonstrar para o aluno que as teorias e os modelos científicos possuem um determinado nicho de atuação, não podendo ser extrapolados e aplicados em qualquer situação. É neste sentido que a RE de Einstein engloba a mecânica clássica de Newton, ou seja, ao nos depararmos com os limites de atuação desta, teremos que considerar os conceitos e afirmações daquela.

Dilatação temporal

Este fenômeno é melhor observado quando a velocidade relativa entre dois referenciais inerciais equivale a uma porcentagem considerável da velocidade da luz, o que na HQ ocorre a todo momento, pois naquele universo as velocidades dos meios de transporte são da mesma ordem de grandeza da velocidade da luz. A equação de Einstein que descreve este fenômeno relaciona os intervalos de tempo medidos em ambos referenciais:

$$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$$

Nesta equação Δt_0 representa o intervalo de tempo medido no referencial que desloca-se junto ao carro (ver a fig. 7 abaixo) e é também conhecido como tempo próprio. O intervalo de tempo medido no referencial dos personagens em repouso é representado por Δt . A letra γ (gama) é o fator de correção relativística que depende exclusivamente da velocidade relativa entre esses referenciais inerciais.



Fig.7 Personagens debatendo sobre a dilatação do tempo

Na imagem acima, podemos observar a discussão dos personagens sobre as diferentes medidas de tempo. Neste caso enquanto o carro se move com velocidade constante, ele pode ser classificado como um referencial inercial, logo, o intervalo de tempo medido por ele será representado por Δt_0 . As pessoas que permaneceram em repouso em relação aos prédios, e por tanto também são referenciais inerciais, têm seus intervalos de tempo representados por Δt . O fator de correção relativística deve ser calculado com o valor da velocidade do táxi, quando este encontra-se em movimento retilíneo uniforme.

Contração do espaço

Este fenômeno também depende da velocidade relativa entre os referenciais inerciais. Quanto mais próximo da velocidade da luz um corpo se movimentar mais evidente será este fenômeno. No quadro abaixo o personagem se assusta ao observar

que o comprimento do móvel é menor quando comparado ao seu comprimento em repouso.



Fig.8 Personagem observa a contração do espaço na direção do movimento

É importante ressaltar neste quadro que os comprimentos que são perpendiculares à direção do movimento não sofrem nenhuma alteração quando medidos em diferentes referenciais. Nesta situação a equação que relaciona os comprimentos medidos nesses dois referenciais será:

$$\Delta L = \Delta L_0 / \gamma$$

Neste caso o comprimento próprio será medido pelo referencial em repouso e representado por ΔL , enquanto que ΔL_0 representa o comprimento do móvel medido no referencial que se move junto dele. Novamente o fator de correção relativística é representado pela letra γ (gama) e só depende da velocidade relativa entre os referenciais.

Capítulo 4. APLICAÇÃO DO PRODUTO

O produto foi aplicado em uma turma de 1º ano do ensino médio (EM), com 30 alunos, cuja faixa etária varia entre 14 e 16 anos, de um colégio estadual da zona oeste do Rio de Janeiro. O curso foi ministrado em três aulas consecutivas, com dois tempos cada, ao longo de três semanas.

O ato inicial se deu no dia 11/05/2017, onde se encontravam presentes 22 alunos. Foi aplicado um questionário inicial (Apêndice B) para o mapeamento da estrutura cognitiva dos alunos a respeito do tema RE.

Após o recesso escolar, no dia 10/08/2017 foi disponibilizada para os alunos, em formato digital, a história em quadrinhos para que pudessem ler em casa e discutir com os colegas ao longo da semana. Neste dia nenhum conceito formal sobre RE foi debatido durante a aula. Vale ressaltar que muitos alunos questionaram a forma pela qual a matéria do bimestre seria introduzida. Segue abaixo o trecho de uma das falas dos alunos:

“...professor, agora a gente vai ficar lendo histórias em quadrinhos durante as aulas. Vou trazer a minha da liga da justiça então...”

É possível perceber um tom de ironia do aluno na utilização da HQ como ferramenta pedagógica. Este comportamento já era esperado, mas acreditava-se que ocorreria a partir dos pais e de alguns colegas professores e não por parte dos alunos.

No dia 17/08/2017, com a presença de 28 alunos, foi feita uma leitura dinâmica em sala para a identificação de possíveis alunos que não tivessem lido a HQ em casa. Após a leitura, foram introduzidos os postulados de Einstein e as consequências que desencadeiam na forma pela qual entendemos a natureza. Ao final da aula foi indicado um texto para que os alunos pudessem ler em casa. Este texto é um artigo de divulgação científica que foi publicado na página do G1 e acessado no dia 02/05/2017 através do link:<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2016/07/sonda-juno-e-objeto-mais-rapido-criado-pelo-homem-diz-guinness.html>. Este artigo versa sobre a missão da sonda Juno, cujo principal objetivo era entender a origem e a evolução do planeta Júpiter. No entanto, a importância deste texto, para o projeto, está no fato de que a “a sonda é o objeto mais rápido criado pelo Homem.”

O segundo encontro foi no dia 24/08/2017 com 30 alunos presentes na sala. Neste dia foram introduzidos formalmente os conceitos de dilatação do tempo e contração do espaço, com as suas respectivas equações relativísticas. Uma atenção especial foi dada ao fator de Lorentz, pois este relaciona as medidas realizadas em dois referenciais inerciais, estando um em repouso e o outro em movimento retilíneo uniforme. Foi demonstrado para os alunos que para observarmos os efeitos da RE é necessário que o referencial em movimento esteja em alta velocidade. Porém, o que pode ser considerado como alta velocidade? Para responder a esta pergunta foi revelado o valor real da velocidade da luz, diferentemente do que foi considerado na HQ. A partir deste valor temos um parâmetro para definirmos o que é alta velocidade. Nesta etapa da aula, foi pedido que os alunos comparassem a velocidade da luz com a velocidade do objeto mais rápido já criado pelo homem (sonda Juno), e que então obtivessem suas próprias conclusões a respeito dessa comparação. Para contribuir com o processo de reflexão dos alunos, foi calculado o fator de Lorentz para diferentes valores de velocidade. Com isso, foi possível demonstrar que este fator se torna mais expressivo quando a velocidade do corpo em movimento vai se aproximando do valor da velocidade da luz.

No terceiro e último dia de aplicação do produto, 31/08/2017, se encontravam presentes 27 alunos. No início desta aula foi passado outro questionário de respostas livres (Apêndice B) no qual os alunos deveriam descrever suas concepções sobre os fenômenos demonstrados na HQ. Em seguida houve uma discussão sobre a importância da RE para o desenvolvimento de nossa tecnologia moderna e a compreensão de diversos fenômenos naturais que se sustentam sobre esta teoria científica. Ao final desta aula foi passada uma tarefa para que os alunos a cumprissem em grupo: calcular a quantidade de dias, no referencial da sonda, que ela levou para chegar até Júpiter. É importante ressaltar que é necessário considerarmos que a velocidade de Juno tenha permanecido constante e retilínea durante toda a viagem².

² Sabe-se que a sonda Juno utilizou o efeito estilingue para realizar uma manobra gravitacional assistida. Este fenômeno consiste em aumentar a energia cinética da sonda e conseqüentemente sua velocidade no intuito de economizar combustível. Para ocorrer, é necessário que a trajetória da sonda se aproxime da trajetória de um planeta de forma que o sentido dos seus deslocamentos sejam opostos. Após passar pelo planeta a sonda inverte o seu movimento e recebe um incremento em sua energia cinética devido à força gravitacional. (FL Silveira, LFM Braun, T Braun - 2010). Contudo, esse efeito foi descartado durante a aplicação do produto.

Por falta de tempo hábil, foi sugerido que os alunos terminassem a atividade em casa. Na semana posterior, os grupos entregaram os trabalhos e não demonstraram dificuldade na realização dos cálculos, necessários para a resolução da atividade. A foto abaixo apresenta a resolução da atividade por um grupo de alunos.

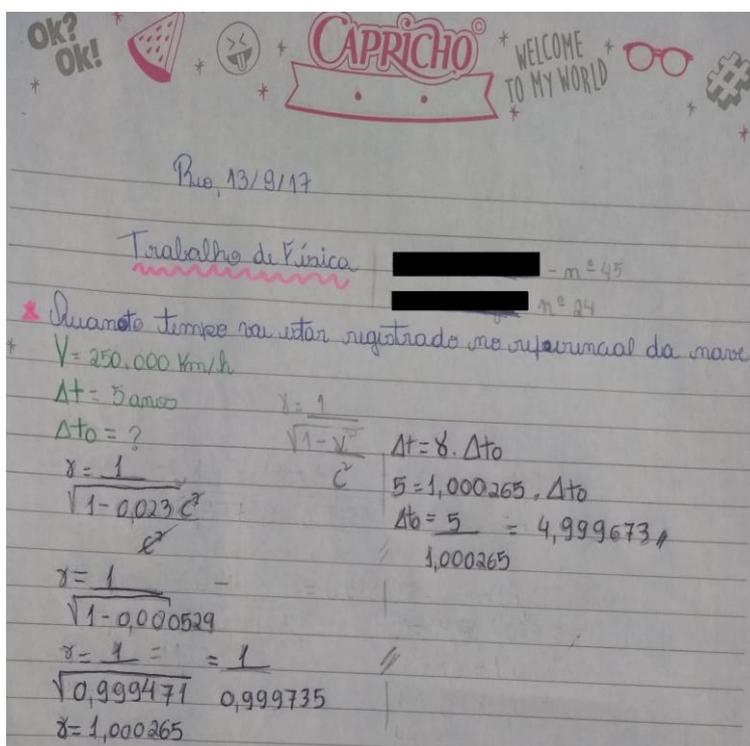


Fig.9 Resolução da atividade que ficou para casa

No dia 14/09/2017 encontravam-se presentes 30 alunos. Uma entrevista, registrada em áudio, foi realizada com 14 desses indivíduos. O único critério de seleção levado em consideração para participar desta entrevista foi a própria vontade em estar no projeto. Nesta entrevista eles deveriam responder livremente um questionário semiestruturados (Apêndice B) a respeito de suas impressões sobre curso de RE. Esta entrevista abrange questionamentos, feitos anteriormente, a respeito dos conceitos de espaço e tempo - segundo a RE - e aborda outros aspectos da HQ, tais como: nível de satisfação e o compartilhamento deste material. É de relevância ressaltar que esta entrevista foi realizada duas semanas após o último dia de aplicação do produto.

CAPÍTULO 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados recolhidos durante a pesquisa se dividem em três grupos. O primeiro diz respeito às respostas de um questionário objetivo aplicado aos alunos antes da iniciação do curso de RE (11/05/2017). O segundo refere-se a um questionário de respostas abertas, que foi aplicado aos alunos ao término do curso de RE (31/08/2017). O terceiro agrupa as respostas dos alunos, registradas em áudio, a um questionário que foi aplicado duas semanas após o término do curso (14/09/2017).

1º Grupo (pré-teste)

O questionário foi aplicado no dia 11/05/2017 em uma turma do 1º ano do ensino médio (EM). Neste dia estavam presentes 22 alunos dos quais todos quiseram participar da atividade. A seguir são apresentadas as perguntas dos questionários e as tabelas com as respostas dos estudantes.

1) Você já ouviu falar sobre a relatividade do tempo e do espaço?

Sim: 13 alunos

Não: 9 alunos

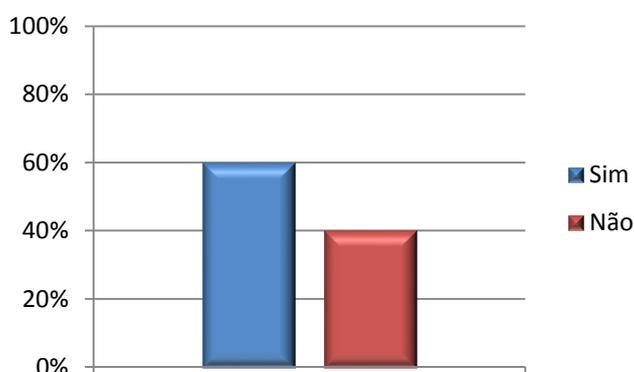


Fig.10 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 1

2) Onde?

Filmes: 3 alunos. Os filmes citados foram: *Donnie Darko* e *Interstellar*;

Séries: 11 alunos. As séries citadas foram: *Flash*, *Big Bang Theory* e *Cosmos*;

Livros: 2 alunos. O livro citado foi: *Física para todos*;

Outros: 0

Nunca ouvi falar: 9 alunos

Observação: Alguns alunos citaram filmes e séries e por isso foram contabilizados como dois indivíduos. Outros alunos não souberam ou não lembraram o nome da fonte de informação.

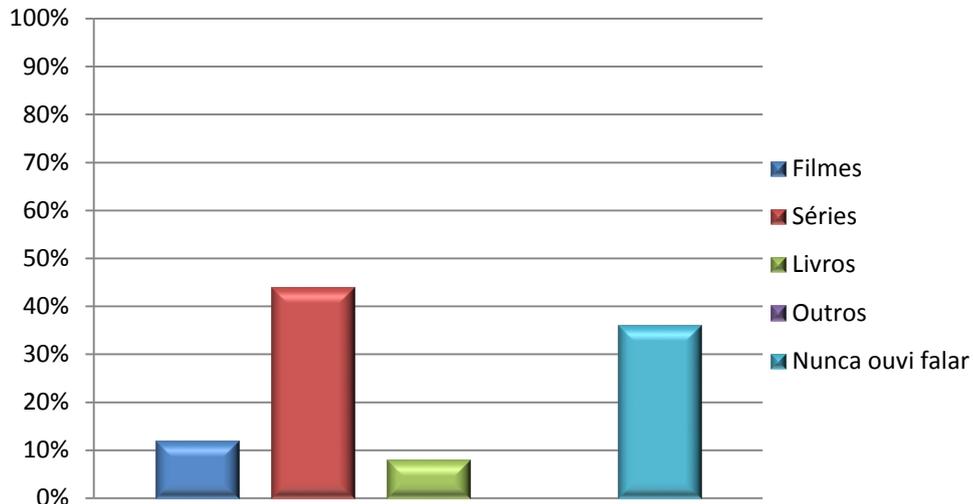


Fig.11 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 2

1) Por que não conseguimos observar este fenômeno em nosso cotidiano?

Isto não existe na vida real: 2 alunos

Não temos um instrumento de medida adequado: 14 alunos

Não sei do que está falando: 6 alunos

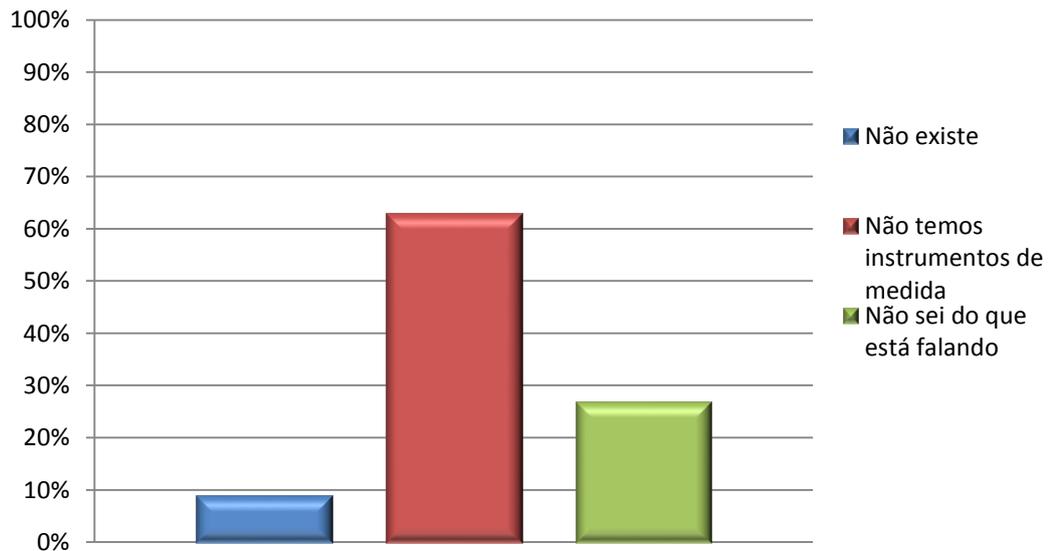


Fig.12 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 3

3) João está assistindo a um filme e José assiste aula de matemática simultaneamente. Para qual deles, o tempo passa mais devagar?

João: 0 alunos

José: 6 alunos

Passa igualmente para os dois: 16 alunos

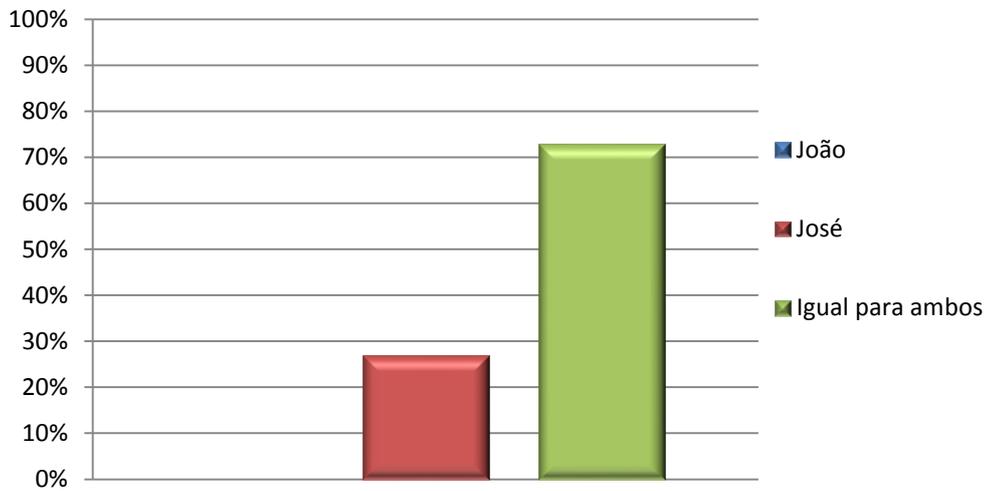


Fig.13 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 4

4) João e José têm a mesma idade e fazem aniversário no mesmo dia. Ao final de suas atividades (ver filme e assistir aula de matemática simultaneamente), João terá:

Mais idade que José: 0 alunos

Menos idade que José: 0 alunos

A mesma idade que José: 22 alunos

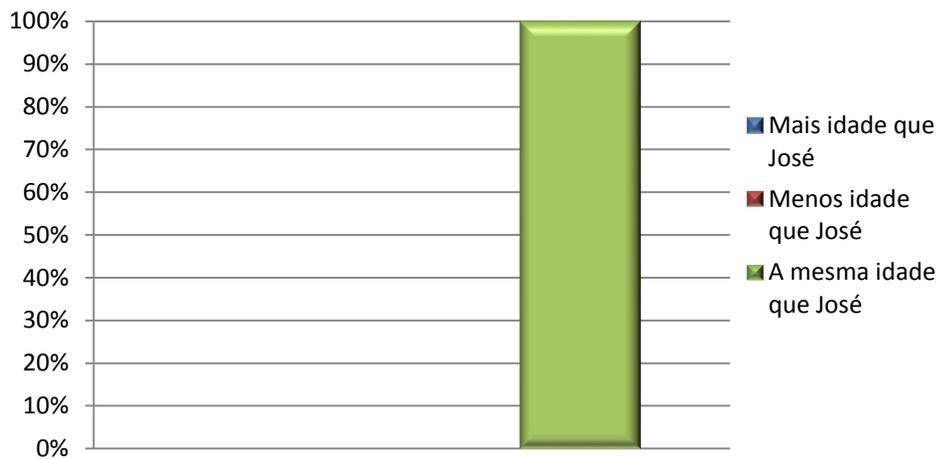


Fig.14 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 5

1) João demora 3 h para chegar no trabalho se for de ônibus. Mas, se for de carro demora a metade do tempo, ou seja, 1,5 h. Podemos dizer então, que

quando João vai de carro para o trabalho o tempo passa mais devagar pra ele?

Sim: 8 alunos

Não: 14 alunos

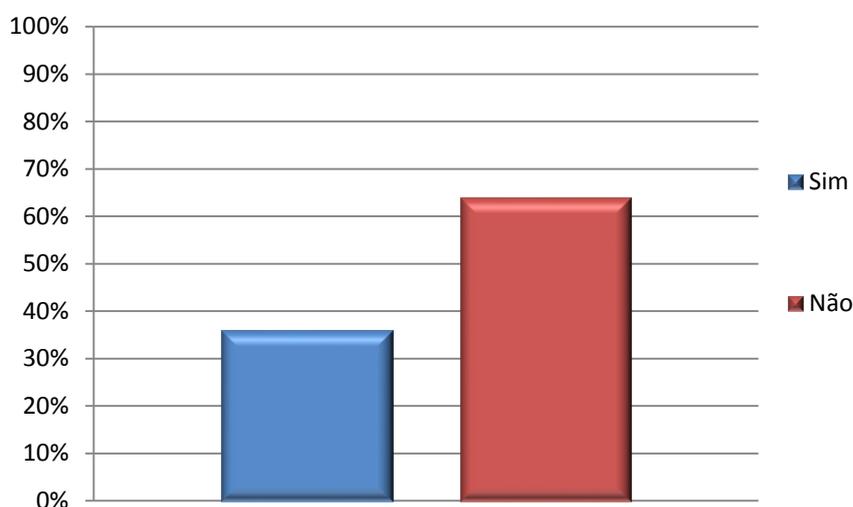


Fig.15 Percentual indicando as respostas dos alunos a questão 6

Com base nos dados acima, pode-se observar o seguinte:

- I) A maior parte dos alunos já viu ou ouviu falar, em algum momento de sua vida, sobre temas que são abrangidos pela relatividade especial (RE). Estes conhecimentos prévios são importantes no processo de ensino-aprendizagem, pois servem de base motivadora para que os alunos busquem este conhecimento fora do ambiente formal de aprendizagem.

- II) Uma grande percentual dos alunos tem a noção de que a RE não configura uma mera elaboração da ficção científica. Pois eles entendem que os fenômenos relativísticos não podem ser verificados em nosso cotidiano, ocorrendo com pessoas, devido à falta de instrumentos adequados para tal. De fato, a falta de tecnologia adequada é apenas uma das causas que não nos permitem observar tais fenômenos em nosso cotidiano. O outro motivo está relacionado às baixas velocidades de deslocamento das pessoas quando comparadas com a velocidade da luz.

- III) Alguns alunos apresentam dificuldade na distinção de determinados conceitos relacionados ao tempo, tais como: fluxo de tempo, sensação da passagem do tempo e intervalo de tempo.³

2º Grupo (pós-teste)

Este questionário de respostas abertas foi aplicado no dia 31/08/2017. Neste dia havia 27 alunos presentes, dos quais 15 quiseram participar espontaneamente da pesquisa.

Questionário:

- 1) O que você entendeu sobre os fenômenos descritos na HQ?
- 2) Por que os fenômenos da dilatação do tempo e contração do espaço não são visualizados em nosso cotidiano?
- 3) O que você achou do roteiro da HQ? O que você mudaria?

Respostas:

Aluno 1

- 1) “Eu entendi que a velocidade da luz é importante.”
- 2) “Porque não existe. É impossível ir para o futuro.”
- 3) “Achei legal.”

Aluno 2

- 1) “Que não existe limite! Quanto mais próximo da velocidade da luz você se movimentar maior será a diferença.”
- 2) “Na minha opinião, pra perceber é preciso muita atenção e entendimento sobre o assunto, por isso não são visualizados.”
- 3) “Eu achei interessante. Só melhoraria para ser mais óbvio.”

Aluno 3

- 1) “Entendi que quando não percebemos, o tempo passa super rápido e ficamos mais velhos sem perceber.”
- 2) “Porque a sociedade não se interessa por isso. Boa parte não sabe o que é isso e acho que isso deve ser mais aplicado na sociedade.”

³ Esta questão será discutida com mais detalhes na página 42 deste capítulo.

- 3) “Bem interessante, não vemos isso sempre. Na minha opinião não mudaria nada.”

Aluno 4

- 1) “Deu a entender que o tempo para cada personagem é relativo, passa de uma forma para cada um.”
- 2) “Porque nós, seres humanos, sempre estamos em movimento, nunca paramos para ver o tempo que passamos.”
- 3) “Interessante, não mudaria nada.”

Aluno 5

- 1) “Entendi que a relatividade e o tempo nem sempre são a mesma coisa.”
- 2) “Por causa da relatividade e a velocidade da luz.”
- 3) “Gostei bastante, achei muito interessante e bem divertida. Gostaria de ver outra como essa.”

Aluno 6

- 1) “Que quando algo ou alguém se movimenta, para quem estava parado o tempo demora a passar e quem estava em movimento, o tempo passou rápido.”
- 2) “Porque a gente não se movimenta próximo a velocidade da luz.”
- 3) “Mais ou menos. O roteiro poderia possuir algo mais interessante para falar da matéria.”

Aluno 7

- 1) “Entendi sobre a velocidade da luz. Aprendi, apesar de ser difícil.”
- 2) “Porque não prestamos muita atenção.”
- 3) “Achei muito legal.”

Aluno 8

- 1) “Entendi que o tempo passou devagar pra uma pessoa e pra outra não. É algo relativo.”
- 2) “Porque é algo que não enxergamos, ouvimos ou percebemos.”
- 3) “Achei legal e até interessante. Normalmente eu não me interesso por essas coisas, mas achei bem legal.”

Aluno 9

- 1) “Eu entendi que quanto mais próximo você se move da velocidade da luz, mais lento o tempo passa para você em relação aos outros.”
- 2) “Porque a nossa velocidade da luz é muito para nosso alcance”.
- 3) “Achei bom e de fácil entendimento.”

Aluno 10

- 1) “Que para acontecer, a dilatação devemos correr próximo da velocidade da luz.”
- 2) “Pois não vemos objetos próximos a velocidade da luz com frequência. Exceto aviões.”
- 3) “Não mudaria nada sobre o roteiro.”

Aluno 11

- 1) “Que quanto maior nossa velocidade, quanto mais próximo da velocidade da luz mais devagar passa nosso tempo em relação a outras pessoas.”
- 2) “Porque nós não atingimos nem 1% da velocidade da luz, logo essa diferença é muito pequena.”
- 3) “O roteiro está ótimo, com bom diálogo entre personagens e uma ótima aplicação sobre o tema em questão.”

Aluno 12

- 1) “Que a dilatação do tempo e a contração do espaço são fenômenos que ocorrem ao alcançar uma velocidade próxima a velocidade da luz.”
- 2) “Porque a velocidade de nós seres humanos não chega nem a 1% da velocidade da luz.”
- 3) “Sinceramente, achei o roteiro bem feito, a história não é grande e nem chata, com cenas de humor que me agradou e no máximo que eu iria mudar seria colocar mais humor sem aumentar a história.”

Aluno 13

- 1) “Eu entendi que o menino era muito lesado e ele precisou sonhar com duas pessoas para ele entender.”
- 2) “Porque as pessoas não percebem os fenômenos que acontecem no dia a dia.”
- 3) “Achei maneiro. Não melhoraria em nada a história dá para entender.”

Aluno 14

- 1) “Eu entendi que você parado sem se movimentar a hora passa mais devagar, em movimento praticamente fazendo algo a hora passa mais rápido.”
- 2) “Eu acho que no nosso cotidiano aqui as coisas são um pouco diferentes.”
- 3) “Bom, melhoraria nada pois deu pra entender bem as falas e a imagem.”

Aluno 15

- 1) “Que quanto maior nossa velocidade, quanto mais próximo da velocidade da luz mais devagar passa nosso tempo em relação a outras pessoas.”
- 2) “Porque nós não atingimos em nosso cotidiano nem 1 % da velocidade da luz, logo essa diferença é muito pequena.”
- 3) “O roteiro está ótimo, um bom diálogo entre os personagens e uma ótima explicação sobre o tema em questão.”

Ao observar as respostas sobre a questão 1 verifica-se que, do ponto de vista científico, foram satisfatórias aquelas relacionadas aos alunos de número 4, 8, 9, 10, 11, 12 e 15, pois demonstram clareza no entendimento dos fenômenos descritos na HQ, compondo um total de 46,6% dos que participaram do teste. As outras respostas podem ser classificadas como confusas, ou seja, o aluno não possui uma opinião bem definida sobre os fenômenos descritos. E conservadoras, ou seja, não houve mudança cognitiva nos alunos com relação à concepção de tempo.

A observação das respostas sobre a questão 2, demonstra que apenas uma pequena parte dos discentes conseguiu expressar o motivo de fenômenos, como a dilatação do tempo, não serem verificados em nossa rotina diária, apesar de estarem ocorrendo constantemente no universo ao nosso redor, como é o caso da detecção dos *múons* próximos à superfície da Terra. O percentual de alunos que identificaram serem as baixas velocidades do cotidiano o principal motivo para a não verificação desses fenômenos foi de 33,3%, sendo este percentual constituído pelas respostas relacionadas aos alunos de número 6, 9, 11, 12 e 15.

É evidente nas respostas da questão 3 que os alunos gostaram da ferramenta pedagógica utilizada durante o curso. Podemos considerar que quase 100% dos alunos que participaram do teste declararam que os diálogos entre os personagens da HQ são de fácil compreensão e que promovem um bem estar ao serem lidos. Há de se ressaltar que esta pergunta não possui a intenção de medir a

eficiência da ferramenta pedagógica, ela apenas quer identificar os sentimentos que os alunos manifestaram ao interagir com a HQ.

3º Grupo (pós-teste)

Esta entrevista foi registrada em áudio e realizada no dia 14/09/2017 com um grupo de 14 estudantes que quiseram participar espontaneamente desta atividade. As perguntas foram respondidas individualmente, exceto por dois participantes que impuseram como condição respondê-las em dupla. As entrevistas transcorreram em um ambiente isolado de influências do restante do grupo. A seguir encontram-se as perguntas e os trechos relevantes das respostas dos alunos.

Perguntas:

- 1) O que vem a sua mente, quando ouve o termo dilatação do tempo?
- 2) Você compartilhou ou comentou sobre a HQ com alguém fora do colégio?
- 3) O que mais te chamou atenção na HQ?
- 4) Por que não observamos os efeitos da relatividade especial em nosso cotidiano?
- 5) Quantos personagens existem na HQ?
- 6) Você relacionou a HQ com algum filme ou livro que tenha visto?
- 7) Você se lembra do que é um referencial inercial?
- 8) Segundo a HQ, o que faz o tempo passar diferentemente para cada personagem (referencial)?

Respostas:

É necessário destacar que a identificação dada aos alunos que participaram desta entrevista não coincide com a utilizada na aplicação do questionário do dia 31/08/2017.

Aluno1

R1) “Eu penso em como o tempo se distorce em relação a velocidade”

R2) “Com meu irmão (...) e comentei com a minha irmã em casa (...) e um colega de um colégio particular.”

R3) “Achei diferente e até engraçado, uma forma tranquila e suave de aprender”

R4) “Por que ninguém tá tão próximo da velocidade da luz pra mudar drasticamente a relação do tempo.”

R5) “Três: O garoto, a Sofia e o pai da Sofia.”

R6) “Bom, lembrei do filme *De volta para o futuro*, Algumas coisas que eu vi na série *Cosmos* falando algumas coisas sobre o tempo e o filme *Interestelar*. ”

R7) “Um referencial inercial é algo que está parado!”

R8) “No caso a velocidade. Quanto mais próximo da velocidade da luz... muda o tempo que se passa.”

Aluno 2

R1) “Acho que é o tempo indo embora, o tempo perdido.”

R2) “Não!”

R3) “A parte que o pai tá conversando com a filha e quando a filha volta, ela tá velha.”

R4) “Não sei...”

R5) “Três!”

R6) “Não sei.”

R7) “Não lembro.”

R8) “A pressa.”

Aluno 3

R1) “Passagem de tempo”

R2) “Sim, com meus irmãos.”

R3) “No momento em que eles foram dar a volta no carro, que o tempo passou rápido pra uns e mais devagar para outros.”

R4) “Por que agente não percebe que o tempo passa assim.”

R5) “Três.”

R6) “Não”

R7) “Não lembro”

R8) “O momento que um fica parado e o outro se movimenta.”

Aluno 4

R1) “Seria o fenômeno que acontece quando há variação da velocidade, que acaba determinando que o tempo de um vai passar mais devagar que o de outro.”

R2) “Não”

R3) “A forma que... ficou fácil de entender. Acho que seria mais difícil de entender sem a história.”

R4) “Por que se agente chegar a 1000 km/h ainda será uma pequena porcentagem da velocidade da luz.”

R5) “Três”

R6) “Não.”

R7) “Seria... Não lembro.”

R8) “Seria o quão perto da velocidade da luz você está.”

Aluno 5

R1) “É... Seria a passagem do tempo em relação ao movimento.”

R2) “Sim, comentei com a minha irmã que também é professora de física.”

R3) “O momento em que o menino grava o tempo da corrida dele, em relação ao tempo da corrida do homem e a corrida do menino dá menos tempo e a do homem dá mais tempo.”

R4) “Isso tem relação com o fuso horário.”

R5) “Três: o homem, a garota e o menino.”

R6) “Sim, a série *Flash*”

R7) “No momento agora, não!”

R8) “Acho que... conforme eu ando e conforme ele tá em inércia em relação aquele veículo pra ele tá parado e pra mim ele tá andando. Então pra mim o tempo é diferente.”

Aluno 6

R1) “Penso sobre o tempo, a quantidade de tempo...”

R2) “Não.”

R3) “Quando o menino ficou perguntando, fazendo perguntas... foi difícil assim pra ele, por que ele não entendia muito bem.”

R4) Inconclusivo.

R5) “Acho que três.”

R6) “Eu não mas... comentaram na sala. Eu não lembro.”

R7) “Não”

R8) “Não lembro.”

Aluno 7

R1) “...”

R2) “Não”

R3) “Que o menino, ele vê as pessoas fora do carro pequenas... sei lá!”

R4) “Por que agente não tá nem aí pra vida.”

R5) “Acho que quatro ou cinco... sei lá.”

R6) “Não.”

R7) “A pessoa que tá parada.”

R8) “A pessoa que tá andando o tempo passa mais devagar do que pra quem tá parado.”

Aluno 8

R1) “Eu acho que é sobre tempo, mas não sei.”

R2) “Não.”

R3) “Sobre o garoto viajando aí a menina tava mais velha.”

R4) “Acho que não é uma coisa comum.”

R5) “Três.”

R6) “Ah esqueci, mas já vi sim.”

R7) “Não sei.”

R8) “Eu acho que quando tô em casa o tempo passa mais rápido que quando eu tô na escola. Acho que é isso”

Aluno 9

R1) “Pelo que eu lembro, a garotinha correndo o tempo passava rápido só que pra quem tava parado o tempo passava devagar, então é mais ou menos isso”

R2) “Falei com a minha mãe e com a minha explicadora, ela achou que era diferente.”

R3) “A parte em que eles estão no carro e que duas horas de viagem dentro do carro eram dez anos fora.”

R4) “Acho que é porque agente não tá na velocidade da luz, agente não consegue enxergar.”

R5) “Três”

R6) “Na verdade série e filme. Eu comparei com o *Flash* por causa da viagem no tempo e lembrei de *Star Wars* por causa da dilatação do tempo.”

R7) “Não sei explicar direito.”

R8) “Eu acho que é conforme a velocidade que cada um vai andando”

Aluno 10

R1) “Uma diferença temporal entre um corpo que se move e o que se mantém no lugar.”

R2) “Um amigo meu de outra escola”

R3) “Que quanto mais rápido você se move, mais lento você chega num lugar!”

R4) “Por que a gente não consegue chegar tão perto da velocidade da luz.”

R5) “Três.”

R6) “Sim, *Interestelar* e *Donnie Darko*.”

R7) “Não.”

R8) “Por que quanto mais perto você chega da velocidade da luz, mais diferente o tempo passa pra você em comparação com quem tá parado.”

Aluno 11

R1) “Não sei.”

R2) “Sim, minha prima.”

R3) “A parte que quando agente tá parado, parece que passa mais rápido do que você tá em movimento.”

R4) “Não sei”

R5) “Três.”

R6) “A série *Flash*”

R7) “Não.”

R8) “Não sei.”

Aluno 12

R1) “Uma pessoa se movimentando... e um ponto que está parado a que está se movimentando mais rápido acaba mudando o tempo conforme a velocidade porque está alcançando a velocidade da luz.”

R2) “Não.”

R3) “Foi na hora que ele viu que aquilo era real. Que a garota correu e o pai começou a falar... que se ela continuasse correndo ele ficaria mais velho.”

R4) “Não sei.”

R5) “Três”

R6) “Lembrei de um filme, mas até esqueci o nome. É um filme que eles viajam no tempo utilizando a velocidade também.”

R7) “Inercial, não. Mas referencial eu tô ligado no que é.”

R8) “A velocidade né?”

Aluno 13

R1) “Passagem do tempo”

R2) “Com a minha mãe. Ela achou que era diferente porque no tempo dela não tinha essas coisas, entendeu? Ela achou que era um modo diferente de aula.”

R3) “Na parte que o senhor falou que a pessoa dentro do carro passa mais de vagar, um negócio assim, de que quem está fora.”

R4) “Por que não tem como. O senhor falou que ninguém chega perto da velocidade da luz.”

R5) “Três.”

R6) “Do *Flash*.”

R7) “Não lembro”

R8) “A velocidade!”

Aluno 14

R1) “Acho que é quando o tempo tá passando.”

R2) “Com meu pai.”

R3) “Se ficar direto por horas andando (de carro) aí quando sai, é mais nova que a pessoa que está parada.”

R4) “Não tem como! Porque precisa de muita velocidade.”

R5) “Três.”

R6) “Lembrar não, mas falaram na aula do *Flash*.”

R7) “Não”

R8) “A velocidade!”

Para analisar as respostas desta entrevista foram criadas categorias que auxiliarão na interpretação dos dados. Então será realizada uma análise qualitativa que, junto aos dados dos questionários anteriores, fornecerão informações para responder as perguntas norteadoras feitas na introdução deste trabalho.

1ª) Compreensão do tema trabalhado durante as aulas – Nesta categoria busca-se avaliar o quanto de informações científicas os alunos conseguiram absorver à respeito do tema Relatividade Especial (RE). A análise foi feita sobre as respostas referentes às perguntas de números 1, 4 e 7.

Observa-se que os alunos, de uma forma geral, conseguiram perceber que a diferença temporal entre dois referenciais inerciais se dá quando há movimento relativo entre eles. Verifica-se este fato nos seguintes trechos:

“Eu penso em como o tempo se distorce em relação a velocidade”

“Uma diferença temporal entre um corpo que se move e o que se mantém no lugar.”

“É... Seria a passagem do tempo em relação ao movimento.”

Pode-se observar que, além de entenderem que a medida de um intervalo de tempo está relacionada com o movimento relativo entre dois referenciais, também compreenderam que a velocidade deste movimento precisa ser um valor comparado ao da velocidade da luz. Uma vez que, em seu cotidiano, não se verifica tais velocidades nos meios de locomoção, torna-se impossível à observação de fenômenos como o da dilatação do tempo. Este raciocínio fica claro nos seguintes trechos:

“Não tem como! Porque precisa de muita velocidade.”

“Por que a gente não consegue chegar tão perto da velocidade da luz.”

“Acho que é porque agente não tá na velocidade da luz, agente não consegue enxergar.”

“Por que se agente chegar a 1000 km/h ainda será uma pequena porcentagem da velocidade da luz.”

Durante a análise dos dados verificou-se que a noção de referencial inercial ficou muito vaga. Apesar da HQ dedicar alguns quadros na explicação deste conceito, nota-se que os alunos não conseguiram identificar a sua importância para o

desenvolvimento da RE. **Como sugestão ao problema pode-se trabalhar o conceito de referencial inercial, com mais intensidade, durante o período em que os alunos estudam Movimento Retilíneo Uniforme (MRU), geralmente introduzido no primeiro bimestre. Isto vai gerar uma base mais sólida para que os alunos compreendam com mais profundidade os postulados da RE.**

2ª) Relação entre a compreensão do tema e o meio de comunicação utilizado para trabalhá-lo - Nesta categoria pretende-se identificar a relação entre a HQ e o processo de ensino-aprendizagem relacionado à RE. A análise foi feita sobre as respostas dadas às questões de número 3, 6 e 8.

Pode-se observar que em geral o que mais chamou a atenção dos alunos foi o fenômeno da dilatação do tempo. Apesar de ser explorado muitas vezes em histórias de ficção científica, este ainda é um conceito que faz com que os alunos parem, durante alguns segundos da leitura, para refletir sobre o fenômeno. As situações demonstradas na HQ fazem os alunos compararem os roteiros dos filmes e séries com o conteúdo que está sendo introduzido através daquele meio de comunicação. Podemos observar este comportamento nos seguintes trechos:

“Lembrei de um filme, mas até esqueci o nome. É um filme que eles viajam no tempo utilizando a velocidade também.”

“Bom, lembrei do filme De volta para o futuro, Algumas coisas que eu vi na série Cosmos falando algumas coisas sobre o tempo e o filme Interestelar ”

“Na verdade série e filme. Eu comparei com o Flash por causa da viagem no tempo e lembrei de Star Wars por causa da dilatação do tempo. ”

É interessante observar que apesar dos alunos acharem “estranho” o fenômeno da dilatação do tempo, nada disseram à respeito dos postulados da RE que são base para entender esse fenômeno. Um desses postulados também sugere uma visão contra intuitiva sobre a natureza ao afirmar que a velocidade da luz é constante para qualquer referencial inercial, no entanto, esta afirmação não foi questionada em nenhum momento durante as aulas. Este fato é mais uma indicação que devemos reforçar, em outro período do ano letivo, o conceito de referencial inercial e encorajar os alunos ao questionamento.

É possível observar a partir dos dados, que os alunos conseguiram internalizar que é através do movimento, em altas velocidades, que o fluxo temporal sofre uma

distorção em relação a quem está em repouso. Mesmo aqueles que não relacionaram a HQ com algum filme ou série, ao serem questionados sobre o motivo da dilatação do tempo responderam prontamente: a velocidade.

Uma pequena parte dos alunos manteve o pensamento de que o fluxo de tempo e a sensação da passagem do tempo equivalem ao mesmo conceito, ou seja, fazer atividades tediosas faz com que o tempo registrado pelo relógio passe mais lentamente em relação a uma pessoa que faz atividades agradáveis. Este pode ser chamado de tempo psicológico. Esta ideia é clara nos seguintes trechos:

“Eu acho que quando tô em casa o tempo passa mais rápido que quando eu tô na escola. Acho que é isso”

“A pressa.”

Para a resolução deste problema sugerimos que os professores, ao utilizarem este material, elaborem uma atividade na qual os alunos possam interligar conceitos como: intervalo de tempo, fluxo de tempo e sensação da passagem do tempo as correspondentes definições físicas. Desta forma o docente poderá identificar alunos que, possivelmente, apresentem dificuldades para entender esses conceitos.

3ª) Poder de comunicação social da ferramenta utilizada – Nesta categoria observa-se o alcance que a HQ pode ter na vida social do aluno fora da sala de aula. A análise foi realizada sobre as respostas atribuídas às perguntas de número 2 e 5.

Atualmente os professores, de uma forma geral, verificam uma apatia e desinteresse por parte dos alunos com relação aos conteúdos ministrados durante as aulas. Torna-se uma atitude cada vez mais rara o aluno levar para casa e debater com seus familiares e amigos os assuntos abordados na escola. Cazarin Pezzini e Maria Lidia Sica Szymanski, possuem a seguinte opinião sobre o assunto:

“Dentre todas as dificuldades pelas quais passa a educação no Brasil, destaca-se, atualmente, um grande desinteresse por parte de muitos alunos, por qualquer atividade escolar. Frequentam as aulas por obrigação, sem, contudo, participar das atividades básicas. Ficam apáticos diante de qualquer iniciativa dos professores, que se

confessam frustrados por não conseguirem atingir totalmente seus objetivos.”(PEZZIN e SZYMANSK – 2015)

De forma contrária ao que foi exposto acima, analisando as respostas, pode-se perceber que grande parte dos alunos comentou em casa, ou em qualquer ambiente fora do colégio, o fato do professor estar utilizando uma HQ para falar de RE. **Em outras palavras esta ferramenta pedagógica viabilizou que temas científicos extrapolem os muros da escola e sejam disseminados pelos próprios alunos.**

Quando os alunos são perguntados a respeito do número de personagens, respondem de forma espontânea e detalhada. Isto sugere que a HQ deixa uma impressão mais clara e duradoura nos alunos quando comparada aos métodos tradicionais de inserção de conteúdos.

Comparando os grupos de dados coletados após a aplicação do produto, verifica-se que há uma diferença entre eles. Os alunos apresentaram melhor desempenho na entrevista do que no teste escrito. Os conceitos, mesmo que errados, foram mais detalhados quando os discentes puderam expressar suas opiniões verbalmente ao invés de escrevê-las. Logo, as gravações em áudio possuem maior importância na conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES

O grande desafio que professores do ensino básico atualmente encontram em sua prática diária é como tornar interessante e significativo o conteúdo escolar para os alunos. A falta de interesse pelo conhecimento científico nas aulas tradicionais de física é um dos principais motivos que fazem os docentes repensarem suas metodologias e estratégias didáticas de ensino quando participam de cursos de aperfeiçoamento, como é o caso do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O produto elaborado neste trabalho amenizou o problema destacado acima ao aproximar conceitos científicos do universo comunicativo que o jovem está habituado a vivenciar.

O mundo moderno oferece grande quantidade de informações disseminadas nas mais variadas formas, das quais algumas têm maior preferência pelos jovens que se encontram cursando o ensino médio regular. Este trabalho aproveitou essas informações disponíveis para transformá-las em conhecimento científico, utilizando para isto, um recurso de comunicação que há muito é aplicado na educação e na divulgação de informações científicas e culturais.

A plataforma interativa Pixton se mostrou uma ferramenta eficiente para o desenvolvimento deste trabalho, haja vista a falta de habilidade do autor em desenhar. Verifica-se que esta ferramenta pode ser utilizada por outros docentes em trabalhos diversos que tem como objetivo unir arte visual e ensino.

A observação dos dados coletados durante as aulas permite concluir que a HQ serviu como uma ferramenta facilitadora para a introdução de conceitos relacionados à RE. Verifica-se que a assimilação do conteúdo se deu de forma extensiva no que diz respeito ao tempo de retenção e em relação aos locais de reflexão sobre conceitos, entre os discentes. Nas entrevistas gravadas em áudio, que duraram em média 2,46 min, o grupo de alunos expressou com clareza suas concepções a respeito da relatividade do tempo, demonstrando domínio não só dos conceitos envolvidos como no desenvolvimento de cálculos em atividades propostas durante as aulas (ver figura 9). Apesar de ser realizada duas semanas após o término do curso de RE, os discentes demonstraram melhor desempenho na entrevista que no teste escrito e também se expressaram de forma mais detalhada a respeito de suas concepções, ainda que algumas estejam erradas. Este fato pode indicar que mesmo após o término das aulas de RE os alunos continuaram buscando sobre o assunto dado o estímulo que tiveram.

A análise dos dados permitiu identificar que o conceito de referencial inercial, explicitado pela HQ, não foi bem assimilado pelos alunos. Este fato pode gerar inconsistências na mente dos alunos com relação ao encadeamento teórico da RE, ou seja, falta de correlação entre os postulados e suas consequências espaço-temporais. Para sanar este problema, sugiro aos professores trabalharem durante os primeiros bimestres conceitos de referencial inercial, fluxo de tempo, sensação da passagem do tempo e intervalo de tempo. A eficiência da HQ pode aumentar à medida que atribuirmos significados prévios aos termos supracitados.

Outro ponto positivo que pôde ser verificado com a utilização da HQ foi a sua disseminação fora do ambiente escolar. Logo pode-se inferir que a ferramenta didática também funcionou como instrumento de divulgação científica, que a princípio não era um dos propósitos do autor quando foi construída. Nesta perspectiva a metodologia apresentada neste trabalho abrange dois aspectos importantes na prática dos professores de ciências que são o ensino-aprendizagem e a divulgação científica.

Este trabalho corrobora com a hipótese de que conceitos de física moderna podem e devem ser estudados no ensino médio. Uma vez que os professores se libertem de preconceitos, formas tradicionais de inserção de conteúdos e estejam propícios a meios alternativos de desencadear reflexão na mente dos jovens, poderão contribuir para a melhoria da atual situação da educação brasileira. Espera-se que a metodologia de baixo custo e de fácil dispersão, apresentada neste trabalho, contribua de forma positiva no processo de mudança que precisa ocorrer na estrutura curricular das escolas de nosso país.

Apêndice A

I - O Material do professor



Relatividade Especial a partir de História em Quadrinho

Autor: Marcio da Silva Ribeiro

Sumário

- 1) Roteiro de aplicação da HQ durante as aulas.....48
- 2) Relatividade Especial: Postulados e suas consequências.....49
- 3) O texto de divulgação científica do G1.....50

1) Roteiro de aplicação da HQ durante as aulas

No texto a seguir, são descritas as dez etapas relacionadas à aplicação do produto. A intenção aqui é orientar a sua aplicação por parte do professor e organizar os conteúdos a serem debatidos em sala de aula. A estrutura de aplicação do produto se fundamenta na proposta de que sejam utilizadas no mínimo três aulas sequenciais:

Aula 1

- I) Realização de uma leitura dinâmica com a turma para identificar aqueles que não leram a HQ em casa;
- II) Introdução dos postulados da relatividade especial;
- III) Indicação aos alunos para que pesquisem em casa sobre a seguinte notícia científica: *Sonda Juno é o objeto mais rápido já criado pelo homem, diz Guinness*, de 07 de julho de 2016 publicada na página de notícias G1 (<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2016/07/sonda-juno-e-objeto-mais-rapido-criado-pelo-homem-diz-guinness.html>), acessada no dia 02/05/2017.

Aula 2

- IV) No início da aula deve-se comparar a velocidade do objeto mais rápido, criado pelo homem, com a velocidade da luz;
- V) Em seguida devem ser introduzidas as equações da dilatação do tempo e contração do espaço;
- VI) Ao final discutir a concepção moderna que a ciência apresenta sobre os conceitos de espaço e tempo;
- VII) Comparar a velocidade da sonda Juno com a velocidade da luz;
- VIII) Calcular o fator de Lorentz para diferentes velocidades e demonstrar em um gráfico o seu comportamento para diferentes valores de velocidade;

Aula 3

IX) Deve ser demonstrada para os alunos a importância da relatividade especial na compreensão de fenômenos naturais e no desenvolvimento tecnológico. A seguir sugerimos alguns endereços eletrônicos para a consulta:

X) Calcular o fator de Lorentz para a velocidade da sonda Juno, considerando que esta permaneceu constante durante toda a viagem;

A HQ deve ser disponibilizada aos alunos uma semana antes da primeira aula do curso, para que os mesmos tenham tempo de ler, refletir e discutir com os colegas sobre o assunto. Para que o produto seja aplicado de forma eficiente é necessário que os alunos tenham domínio do movimento uniforme e velocidade relativa. De posse desses conceitos e com tempo hábil para ler a HQ, o aluno será capaz de refletir sobre a relatividade especial fazendo um paralelo com as informações prévias que já tenha adquirido em ambientes não formais de aprendizagem. A leitura dinâmica do material em sala de aula permite mobilizar os alunos em torno do assunto que será discutido. É importante, porém, que o professor abra espaço para que os alunos exponham suas interconexões e percepções a respeito da HQ.

2) Relatividade Especial: Postulados e suas consequências

A teoria da relatividade especial foi construída sobre dois postulados estabelecidos por Albert Einstein:

I – As leis segundo as quais se modificam os estados dos sistemas físicos são as mesmas, quer sejam referidas a um sistema de coordenadas, ou a qualquer outro que tenha movimento de translação uniforme em relação ao primeiro;

II – Qualquer raio de luz move-se no sistema de coordenadas, em repouso, com velocidade determinada V que é a mesma, quer esse raio seja emitido por um corpo em repouso, quer seja por um corpo em movimento.

(Einstein, 1905)

Como consequência a esses postulados temos os fenômenos da dilatação do tempo e contração do espaço, descritos na sessão 2.1. Para facilitar a abordagem podemos resumir esses fenômenos na tabela abaixo:

Dilatação do tempo	Contração do espaço
$\Delta t = \gamma \cdot \Delta t_0$	$\Delta L = \Delta L_0 / \gamma$
$\Delta t \rightarrow$ Intervalo de tempo entre dois eventos medido em posições diferentes.	$\Delta L \rightarrow$ Comprimento medido por um referencial em movimento relativo.
$\Delta t_0 \rightarrow$ Intervalo de tempo entre dois eventos medido em uma mesma posição.	$\Delta L_0 \rightarrow$ Comprimento medido por um referencial estacionário em relação ao que se quer medir.
$\gamma \rightarrow$ Fator de Lorentz.	$\gamma \rightarrow$ Fator de Lorentz

3) O texto de divulgação científica do G1

Sonda Juno é objeto mais rápido criado pelo homem, diz Guinness

Livro dos recordes disse que a missão da Nasa bateu marca de 40 anos.

Agência espacial investiu US\$ 1,13 bilhão na ida até júpiter

A sonda Juno, da Nasa, é o objeto mais rápido já criado pelo ser humano, segundo o Guinness World Records, o livro dos recordes. Na madrugada da última terça-feira (5), a agência espacial cumpriu uma missão de quase 5 anos e entrou na órbita de Júpiter.

Ao se aproximar do planeta, era previsto que a gravidade começasse a puxar Juno cada vez mais rápido até a espaçonave atingir uma velocidade de mais de 250000 km/h. Essa velocidade quebra um recorde de 40 anos, também de acordo com o Guinness.

A sonda da Nasa já havia batido outro recorde em janeiro deste ano, quando se tornou a nave espacial movida a energia solar que chegou mais longe. Juno passo a marca de 791 milhões de quilômetros, antes feita pela sonda Rosetta, da Agência Espacial Europeia, em outubro de 2012. Outras sondas foram mais longe, mas eram alimentadas por geradores nucleares.

Juno vai passar os próximos 20 meses na órbita de Júpiter, para recolher dados sobre o clima misterioso do planeta e sua composição.

Sobre a missão

Após 5 anos de viagem, a sonda Juno entrou com sucesso na órbita de Júpiter, o maior planeta do sistema solar. Com transmissão ao vivo pela internet, a equipe da Nasa comemorou a inserção na magnetosfera à 0h54 desta terça.

A sonda se aproximou sobre o polo-norte do planeta, mostrando uma perspectiva inédita do sistema de Júpiter – incluindo as suas quatro grandes luas. Um laboratório da Nasa localizado em Pasadena, na Califórnia, administrou a missão Juno, chefiada pelo pesquisador Scott Bolton, que também ajudou a levar uma sonda a Saturno.

Esta é a primeira vez que Júpiter será visto abaixo da cobertura densa de nuvens. Por isso o nome Juno, uma homenagem à deusa romana que era esposa de Júpiter.

Lançada em 5 de agosto de 2011, a sonda percorreu 716 milhões de quilômetros – quase 18 mil voltas na Terra – até o planeta. Se nada der errado, a missão deve ser encerrada em fevereiro de 2018. Juno tem 3,5 metros de altura e 3,5 metros de diâmetro e é movida a energia solar. Todo o programa custou US\$ 1,13 bilhão. A Juno foi a primeira missão que levou uma nave movida a energia solar comandada a partir da Terra, além de orbitar de polo a polo de um planeta. Nenhuma outra sonda chegou, até agora, tão perto da superfície da Júpiter. O campo magnético do planeta é 20 mil vezes mais forte que o da Terra. Por isso, o grande perigo para visitar Júpiter com uma nave espacial. Outra questão é o fato de que Juno não foi projetada para operar dentro de uma atmosfera e passará por um período de “queimação” enquanto estiver orbitando.

Segundo a Nasa, o principal objetivo da missão é entender a origem e a evolução do planeta. Conhecer o que há abaixo da densa cobertura de nuvens. Com um conjunto de instrumentos, a sonda vai investigar a quantidade de água e amoníaco na atmosfera profunda. Recentemente, já foi possível avistar a aurora boreal do planeta.

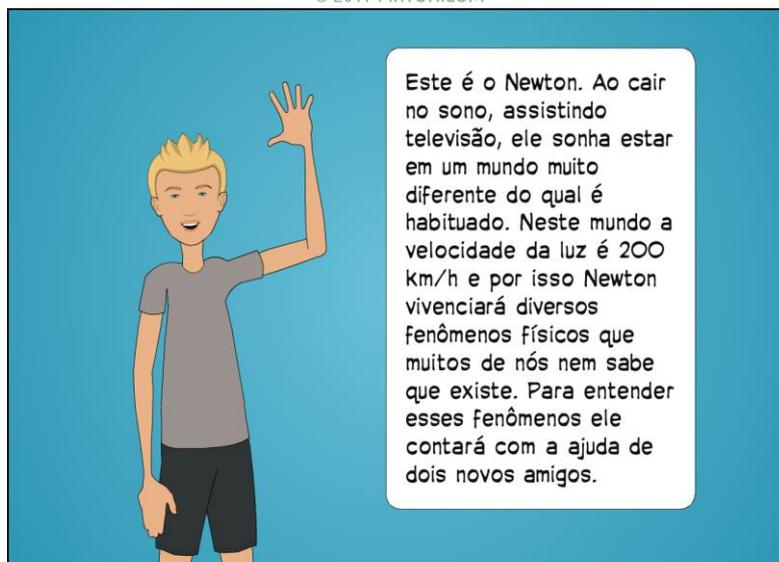
II - O Material do aluno (HQ)



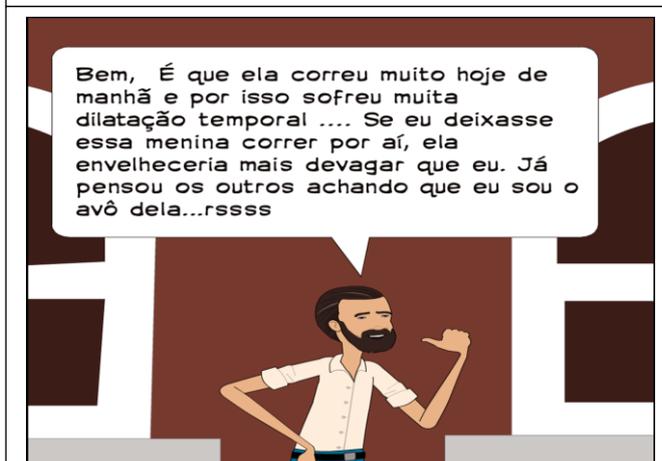
© 2017 PIXTON.COM

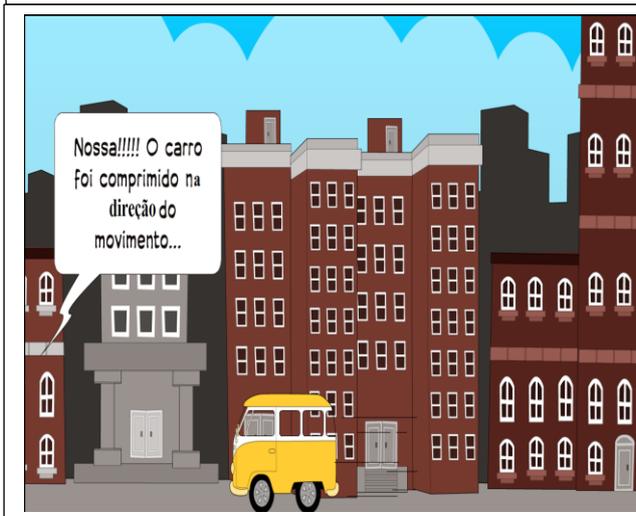


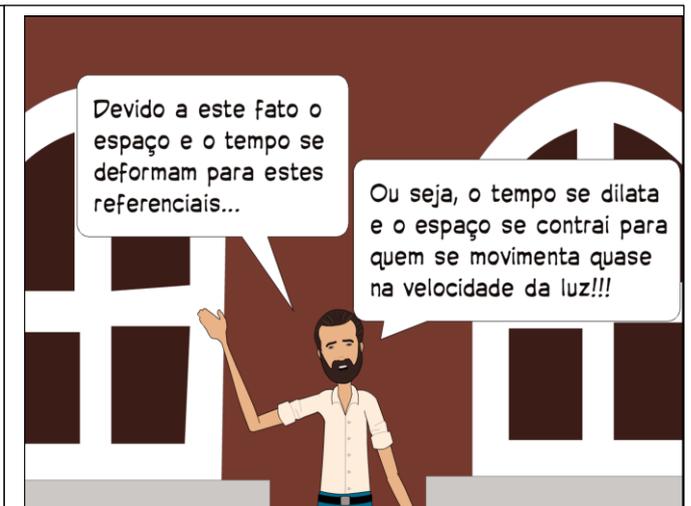
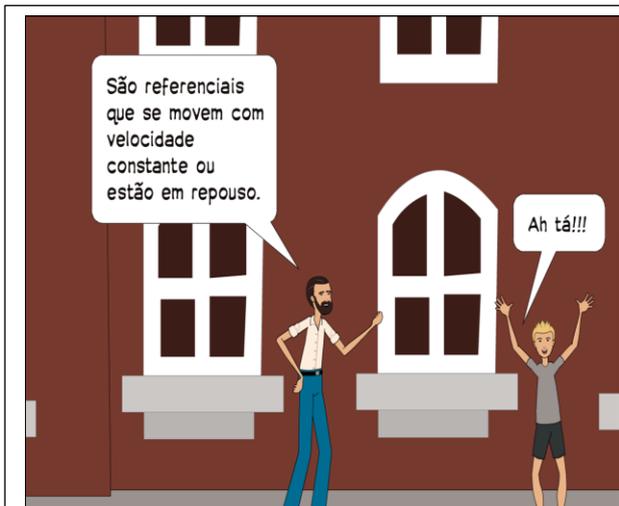
© 2017 PIXTON.COM



© 2017 PIXTON.COM

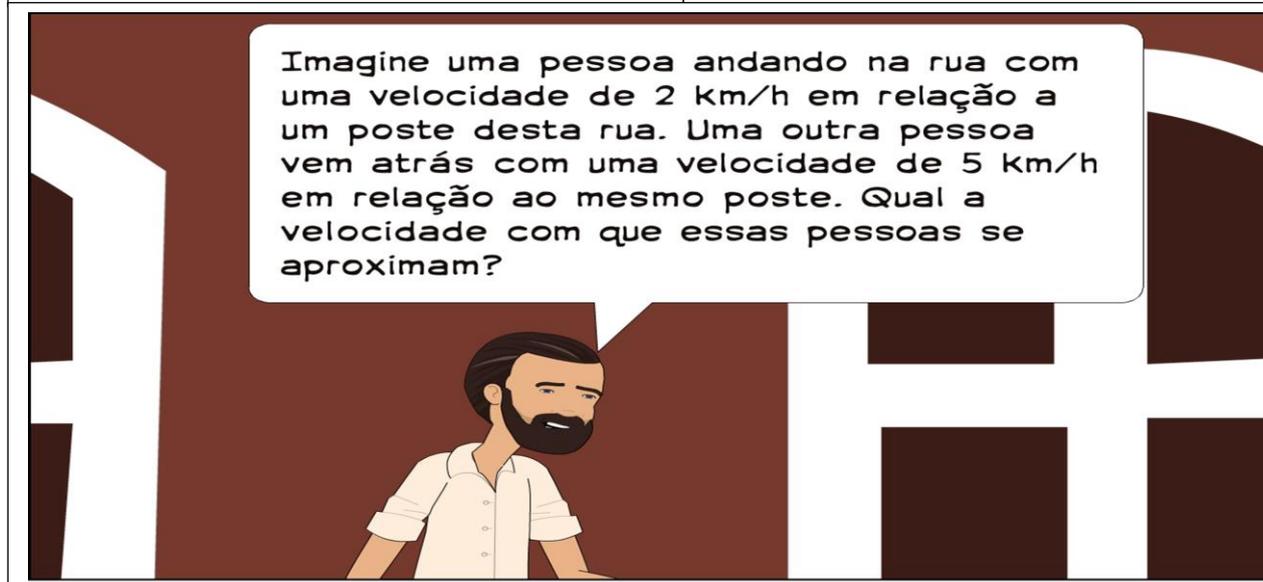


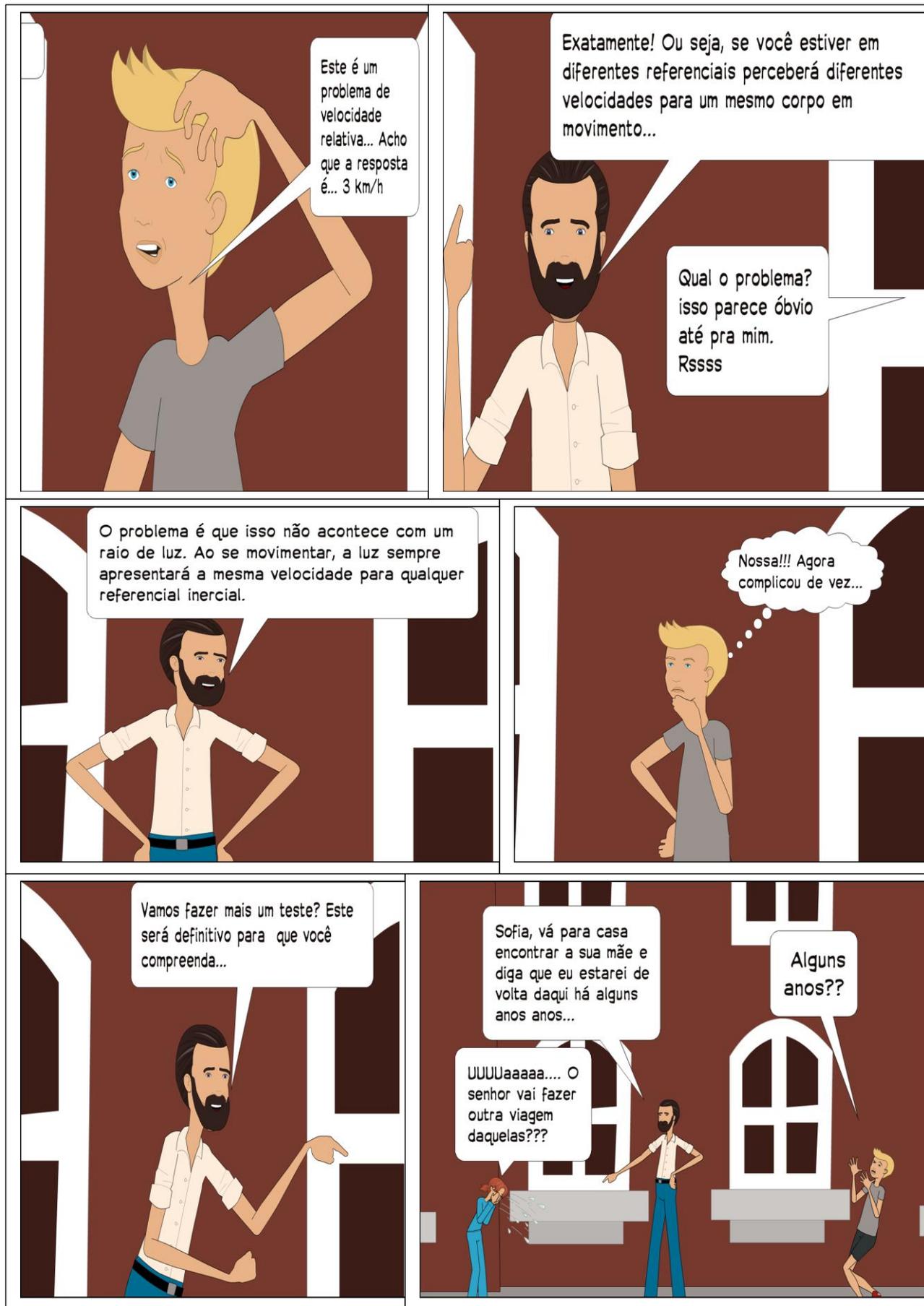


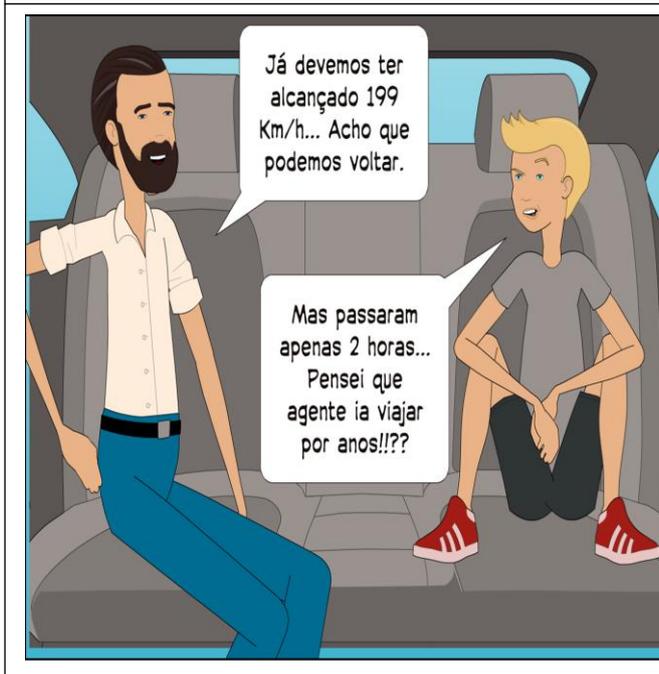
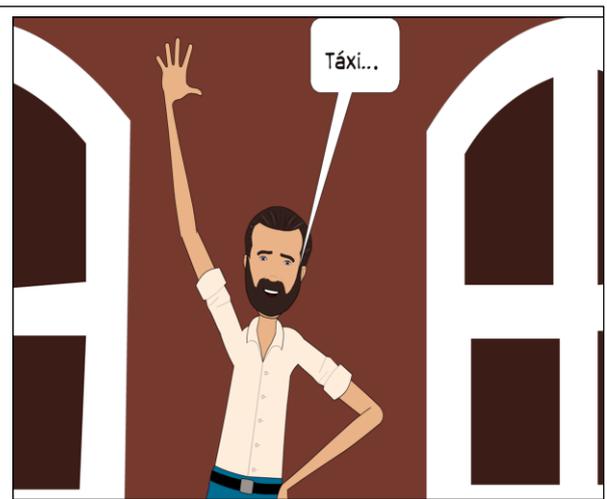














Apêndice B

Questionários utilizados antes e após a aplicação do produto:

11/05/2017

1) Você já ouviu falar sobre a relatividade do tempo?

Sim Não

2) Onde?

Filmes Séries Livro Outros Nunca ouvi falar

Se lembrar o nome escreva na linha abaixo:

3) Por que não conseguimos observar este fenômeno em nosso cotidiano?

Isto não existe na vida real
 Não temos um instrumento de medida adequado para medir
 Não sei do que está falando

4) João está assistindo um filme e José assiste aula de matemática simultaneamente. Para qual deles, o tempo passa mais devagar?

João
 José
 O tempo passa igualmente para os dois

5) João e José têm a mesma idade e fazem aniversário no mesmo dia. Após um longo período de tempo fazendo suas atividades, João terá:

mais idade que José
 menos idade que José
 a mesma idade que José

6) João demora 3 h para chegar no trabalho se for de ônibus. Mas, se for de carro demora a metade do tempo, ou seja, 1,5 h, para chegar no trabalho. Podemos dizer então, que quando João vai de carro para o trabalho o tempo passa mais devagar pra ele?

() Sim

() Não

31/08/2017

- 1) O que você entendeu sobre os fenômenos descritos na HQ?
- 2) Por que os fenômenos da dilatação do tempo e contração do espaço não são visualizados em nosso cotidiano?
- 3) O que você achou do roteiro da HQ? O que você mudaria?

14/09/2017

- 1) O que vem a sua mente, quando ouve o termo dilatação do tempo?
- 2) Você compartilhou ou comentou sobre a HQ com alguém fora do colégio?
- 3) O que mais te chamou atenção na HQ?
- 4) Por que não observamos os efeitos da relatividade especial em nosso cotidiano?
- 5) Quantos personagens existem na HQ?
- 6) Você relacionou a HQ com algum filme ou livro que tenha visto?
- 7) Você se lembra do que é um referencial inercial?
- 8) Segundo a HQ, o que faz o tempo passar diferentemente para cada personagem?

Referências Bibliográficas

BAROJAS, J. (Ed.) *Cooperative networks in physics education*. New York: American Institute of Physics, (AIP Conference Proceedings, 173). 1988. OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.5, n.1, p. 23-48, 2000.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/>>. Acesso em 15 de janeiro de 2013.

BRASIL. Parâmetros Curriculares Nacionais, parte III. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em 15 de janeiro de 2013.

BRUINI, Eliane da Costa. A aprendizagem por descoberta. **Brasil escola**.

CABELLO, Karina Saavedra Acero et al. Uma história em quadrinhos para o ensino e divulgação da hanseníase. 2010.

CARUSO, Francisco; FREITAS, Nilton de. Física moderna no ensino médio: o espaço de Einstein em tirinha. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis**, v. 19, n. 1, 2009.

DOS SANTOS, Roberto Elísio. Aplicações da história em quadrinhos. **Comunicação & Educação**, n. 22, p. 46-51, 2001.

GAMOW, George. O incrível mundo da física moderna. 3. ed.. São Paulo: IBRASA, 1980.

GUIMARÃES, Edgard – HISTÓRIA EM QUADRINHO COMO INSTRUMENTO EDUCACIONAL - artigo apresentado no XXIV Congresso Brasileiro da Comunicação – Campo Grande /MS – setembro, P. 7-8, 2001.

MARTINS, Roberto de Andrade. O surgimento da teoria da relatividade restrita. **Tópicos de história das ciências naturais. São Paulo: Editora Manole (no prelo)**.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. F. Relatividade restrita no ensino médio: contração de Lorentz-FitzGerald e aparência visual de objetos relativísticos em livros didáticos de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v.19, n.2, p. 176-190, ago. 2002.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala

de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.18, n.2, p. 135-151, ago. 2001.

PINHEIRO, Marcos César de Oliveira. A HISTÓRIA EM QUADRINHOS COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA. **REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM**, v. 3, 2014.

PEZZIN, C. C.; SZYMANSK, MLS. Falta de desejo de aprender: Causas e Consequências. 2015.

SANTOS, Roberto Elísio. A história em quadrinhos na sala de aula. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO**. São Paulo: Intercom, 2003.

SILVEIRA, Fernando Lang da; BRAUN, Luci Fortunata Motter; BRAUN, Thomas. Colisão com o'efeito estilingue'. **Revista brasileira de ensino de física. São Paulo. Vol. 32, n. 3 (set. 2010), 3305, 6 p., 2010.**

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2 grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

ZUIN, V. G.; FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. R. G.; PRUDENCIO, C. A. V. Análise da perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade em materiais didáticos. **Ciencias & Cognicao**. v. 13. p. 56-64, 2008.