



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

VALDEMIR RIBEIRO DE SOUZA

**ESTUDO SOBRE OS PRINCÍPIOS QUE NORTEIAM A
TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL**

Ariquemes-RO

2016

Valdemir Ribeiro de Souza

**ESTUDO SOBRE OS PRINCÍPIOS QUE NORTEIAM A
TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Licenciatura em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, como requisito parcial a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof^o. Esp. Isaías Fernandes Gomes

Ariquemes-RO

2016

Valdemir Ribeiro de Souza

ESTUDO SOBRE OS PRINCÍPIOS QUE NORTEIAM A TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL

Monografia apresentada ao curso de graduação em Licenciatura em Física da Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA, como requisito parcial a obtenção do grau de Licenciado.

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador: Prof. Esp. Isaias Fernandes Gomes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Esp. Fabrício Pantano.
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof^a. Esp. André Luis Neves da Costa
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Ariquemes, 05 de Julho de 2016.

A minha querida e amada mãe

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar às dificuldades.

Ao meu orientador, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Agradeço a minha mãe Maria Leidi, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

“Espaço, tempo, energia e matéria são 4 faces da mesma moeda.”

— Albert Einstein

RESUMO

A cada momento o mundo passa por transformações, a física não é diferente até porque a Física é o Ramo que estuda o universo. No período de Aristóteles tinha um pensamento que o sol era o centro do universo, e quando era lançado corpos de massas diferentes eles não chegariam no mesmo instante de tempo no solo, mas Galileu Galilei reformulou esse pensamento. Na verdade todos os corpos chegariam ao solo no mesmo instante de tempo quando era desprezado a resistência do ar, ai surgiu a mecânica clássica. O grande Issac Newton utilizou esse conhecimento para formular a suas três leis. Chegou um momento que umas dessas leis não explicava algumas questões do eletromagnetismo, coube à Albert Einstein dizer se as leis da mecânica clássica deveria ser modifica ou deveria ser reformulada novas leis, eles respondeu essas questões através da teoria da relatividade especial ou restrita, algumas coisa que a mecânica clássica dizia ser absoluto na verdade não era, como o espaço e tempo

Palavras-chaves: teoria da relatividade, Albert Einstein, inércia, espaço e tempo.

ABSTRACT

Every time the world goes through transformations, physics and not different because the physics and the branch which studies the universe. In the period of Aristotle had a thought that the sun was the center of the universe, and when it was released the bodies of different masses they wouldn't get the same instant of time on the ground, but Galileo Galilei reformulated this thought. In fact all the bodies would come to the ground the same moment of time when I was despised air resistance, there arose the classical mechanics. The great Isaac Newton used this knowledge to formulate your tree laws. There came a moment that some of these laws do not explain some issues of electromagnetism, the Albert Einstein saying if the laws of classical mechanics would have to be modified or have that recasts new laws, they responded behind the theory of special relativity, some thing that classical mechanics used to say be really wasn't as absolute space and time.

Keywords: theory of relativity, Albert Einstein, inertia, space and time

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 18
Figura 02 19
Figura 03 22
Figura 04 26
Figura 05 27

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO	13
3 METODOLOGIA	14
4 REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1 A CONCEPÇÃO DO MUNDO PELO PENSAMENTO DE ARISTÓTELES	15
4.1.2 Conceito da Inércia	16
4.1.3 Princípio da Relatividade de Galileu	17
4.1.4 Sistemas de Referência	18
4.1.5 O Teorema da Adição das Velocidades de Acordo a Mecânica Clássica	19
4.1.6 Mecânica de Newtoniana	21
4.2 TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL (TRE)	23
4.2.1 Simultaneidade	24
4.2.2 Dilatação do tempo	26
4.2.3 Paradoxo dos gêmeos	28
4.2.4 Contração do Comprimento	29
CONSIDERAÇÃO FINAL	31
Referência bibliográfica	23

INTRODUÇÃO

Em 1905 Albert Einstein publicou um artigo que ressaltava a ideia do espaço e do tempo, esse artigo foi chamado de Teoria da Relatividade Especial (TRE), tal teoria mostra que o espaço-tempo são relativos, no qual depende do movimento do observador, ou seja, essa teoria só é válida para observadores com movimento uniforme, deste modo são referenciais inerciais. (STEINER, 2010).

Mas antes de mencionar só sobre a TRE devemos saber alguns conceitos que eram apresentados, diante disto temos as ideias de Aristóteles, onde dizia que Terra era o centro do universo e em seu redor estaria às estrelas, o Sol, a Lua e os planetas conhecidos da época. Todos os objetos teriam o seu lugar natural, como se jogasse uma pedra para o alto ela voltava para o seu lugar natural, e ela também fazia parte do elemento Terra, e os movimentos eram violento ou natural conforme o seu pensamento. (GIL, 2001?).

Segundo a física aristotélica, a Terra está em repouso absoluto no centro do universo, e tendo como base nesse pressuposto foi preciso criar uma nova física para explicar os movimentos dos corpos na qual a Terra era o centro do universo. (BALOLA, 2010). Os pensamentos de Aristóteles prevaleceram por muitos anos até que Galileu Galilei (1564-1642) reformulou essas ideias, assim surgiu uma nova ciência, e sendo ele considerado o pai da Física Clássica, no qual utilizou experiências como o do plano inclinado onde chegou ao conceito da inércia. (MARICONDA, 2006)

No mesmo pressuposto de Galileu, na mecânica clássica, Isaac Newton considerava que o tempo era absoluto verdadeiro e matemático, e o espaço também era absoluto, por sua própria natureza, e sem relação com qualquer coisa externa sempre permanecendo imóvel e similar. Newton através de suas ideias formulou três leis da dinâmica. (VALERO et al., 2014).

Segundo Ramayana (2005) a Física baseada nas leis de Newton chegou a um ponto que não explicava algumas questões, diante disso aparece no cenário histórico Albert Einstein, onde em 1905 publicou cinco artigos que revolucionaram a Física, um desses artigos foi a (TRE), cujo objetivo era

explicar os referenciais em que as leis de Newton não explicavam. Novos conceitos nasciam e o conceito do tempo e o espaço absoluto não passava a ter valor algum, e o único valor absoluto na natureza é a velocidade da Luz. Sendo que Einstein foi considerado um dos melhores físicos do século XX, ou até mesmo o melhor da história. (CARLOS, 2009).

Durante este estudo, serão discutidos alguns dos principais resultados obtidos pela Teoria da Relatividade Especial de Einstein tais como a simultaneidade de eventos separados espacialmente, a dilatação temporal, e a contração espacial.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Descrever os conceitos de espaço e tempo desde a antiguidade até os trabalhos de Einstein.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar o espaço e tempo de Newton segundo a sua argumentação;
- Apresentar o conceito da Teoria da Relatividade Especial sobre o espaço-tempo;

3. METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa de revisão bibliográfica, no qual foram usados artigos publicados em revista eletrônica, a Revista brasileira de Ensino de Física, Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência, Caderno Brasileiro de Ensino de Física entre outras. Também foram utilizados conteúdos de bancos de dados de institutos, faculdade e universidades, busca em sites como Google Acadêmico, Scientific electronic Libray (SCIELO) foi indispensável o uso de livros para o estudo da pesquisa, e algumas palavras-chave como: teoria da relatividade, Albert Einstein, inércia, espaço e tempo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A CONCEPÇÃO DO MUNDO PELO PENSAMENTO DE ARISTÓTELES

De acordo com o Giorddan (1999) o pensamento aristotélico predominou por toda a idade média entre aqueles que se propunham exercer o entendimento sobre os fenômenos da natureza. Os gregos tinham um instrumento que utilizavam para fazer marcações dos fenômenos, este instrumento nada mais era do que a relação natural com fenômeno particular, ou seja, a imaginação, a observação e a lógica, essa observação natural que sustentou sua base empírica, qual marcava o tempo através da rotação do sol.

Para Aristóteles todos os objetos teriam o seu lugar natural, se um móvel era removido do seu lugar natural, ele retornaria para o seu lugar com movimento retilíneo (OSVALDO, 2010). Segundo Porto (2009) a grande ideia desta teoria consistia em que um lançador imprime uma tendência para que o objeto tenda a prosseguir no movimento, no decorrer, o movimento iria se enfraquecendo, até quando esse movimento antinatural não existisse por completo.

A fumaça seria constituída pelo elemento ar, a rocha seria elemento Terra. Ainda sobre o pensamento de Aristóteles, seguindo esse caminho de raciocínio, um objeto de maior volume cairia mais rapidamente que um de menor volume, e o movimento do objeto só seria capaz de ocorrer quando uma força sobre ele atuasse. (GIL, 2001?). E quando continuasse o movimento, era porque o ar da frente da rocha se deslocaria para traz, ocasionando uma força sobre ela e causando o seu movimento. (OSVALDO, 2010).

A ideia de Aristóteles sobre o movimento permaneceu por volta de dois mil anos, até que Galileu Galilei (1564 – 1642) reformulou essa ideia. Galileu utilizou um experimento para demonstrar que corpos de massas diferentes caíam no mesmo instante de tempo ao solo. A sua experiência foi através de um plano inclinado no qual ele deixava rolar vários objetos esféricos de massas diferentes e desprezando o atrito do ar, o resultado foi que todos os corpos chegariam com a mesma velocidade e mesma aceleração. Isso contradiz o

pensamento de Aristóteles, que corpos de massas diferentes lançados da mesma altura chegariam ao solo em instantes diferentes. Galileu além de introduzir o conceito de inércia, utilizou também o princípio da relatividade do movimento ou princípio da independência, onde será visto mais adiante. (MARICONDA, 2006; GIL, 2001?).

4.1.2 Conceito da Inércia

Galileu estabeleceu sua ideia sobre a inércia e também sobre as quedas dos corpos. Mas, a final, o que é inércia? Imagine uma esfera em repouso sobre superfície de gelo, sem nenhum atrito, essa esfera irá permanecer em estado de repouso, logo se aplicar uma força sobre a mesma, ela irá iniciar um movimento para frente devido à força aplicada. Esse movimento retilineamente para frente, a esfera não poderá mudar de direção por si mesma, agora se colidir com um objeto a esfera terá a sua direção modificada, e/ou até mesmo parar. Observa-se que para os objetos parem de mover é necessário uma força ou ação de alguém, ou seja, teria que ter um objeto em sua frente para ele colidir, ou com a ação do atrito com solo ou a resistência do ar. (GIL, 2001?).

“Inércia é resultante das forças que agem sobre um corpo em repouso ou em movimento retilíneo uniforme é nula” (PRAZERES, 2006, p. 10)

Vários momentos em nosso cotidiano provam esta questão de Galileu, por exemplo, imagine um garoto sobre um cavalo em repouso, logo o animal se movimenta rapidamente, o garoto tende a permanecer no seu devido lugar, agora imagine um garoto sobre o animal com velocidade constante o mesmo para repentinamente o garoto tende a manter o seu movimento natural. Este e outras experiências do cotidiano demonstram que os objetos tendem a manter o seu lugar natural, quando estão em movimento tendem a permanecer em movimento e quando estão em repouso tendem a permanecer em repouso. (LUIZ; ALVARENGA, 2007).

4.1.3 Princípio da Relatividade de Galileu

O princípio da relatividade de Galileu diz que uma lei física em certo referencial, seria diferente se fosse analisada em outro referencial. (RAMAYANA, 2005). Galileu fez experimentos que envolvia um observador no solo e outro em um navio com velocidade constante em linha reta. Para ele as experiências dariam os mesmos resultados, tanto para o observador no navio quanto para o observador na terra. Galileu disse também que uma pessoa na terra não sabia dizer corretamente, se ela estava em repouso ou em movimento, devido à rotação da Terra. (AUGUSTO, 2010).

Para demonstrar essa asserção imagine uma pessoa dentro de uma cabine de um navio, dentro da cabine pendure um balde com água no teto e faça um furo no fundo para que a água saia gota a gota do balde, coloque também vários pássaros em uma gaiola, e um aquário com vários peixes. Observe que os pássaros voam em todas as direções da cabine, e o nadar dos peixes, e as gotas que saem do balde caem no mesmo lugar. Agora imagine o navio em movimento constante sem mudar de direção, observe que nenhuma questão mudou, os pássaros ainda voam em todas as direções com a mesma frequência e velocidade, e as gotas que saem do balde continuará a cair no mesmo lugar e que os peixes ainda continuará nadando com a mesma forma, quando o navio estava em repouso. (FRAGATA, 2013; Gil, 2001?).

Poderá extrair os mesmos resultados através de vários experimentos do cotidiano, como, por exemplo, se estiver dentro de um carro com velocidade constante, e sem alterar a direção do movimento, colocando umas cortinas nas janelas do carro para não observar os objetos de fora se movimentando, terá a impressão que está em repouso. (GIL, 2001?).

Através dessas conclusões Galileu estabeleceu o princípio da relatividade, ou seja, quais quer que sejam os sistemas de referência que esteja em movimento retilíneo uniforme em relação a outro, deste modo um observador que se mova em linha reta com uma velocidade constante terá as mesmas leis da mecânica se estivesse em repouso. (SEIXAS, 2006).

4.1.4 Sistemas de Referência

São sistemas utilizados para descrever as posições de objetos ou fenômenos ocorridos. Os fenômenos físicos que ocorrem no espaço no decorrer do tempo, estão sujeitos a modificar no espaço a cada instante de tempo, desta forma para cada modificação terá várias sequências de eventos, na medida em que esses ocorrerem serão obtidas várias posições, e essas posições são caracterizadas como sistemas de referência ou referencial, para isso é preciso ter um sistema de coordenadas (sistemas de eixos) nas quais se encontram os eventos, onde serão identificados (Figura 01).

Para exemplificar um sistema de referência imagine um objeto qualquer em um ponto O no espaço (Figura 01) que são ordenados pelas as coordenadas x , y e z , pode encontrar o objeto utilizando a projeção dessas coordenadas, e quando esse objeto se movimenta terá várias projeções de várias coordenadas no espaço.

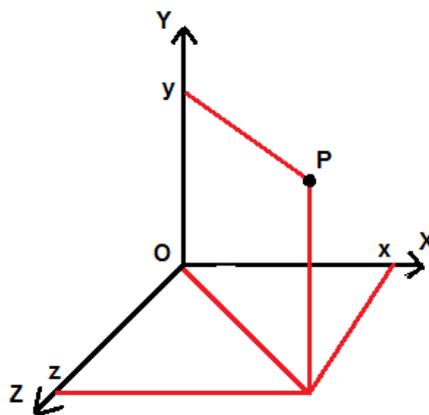


Figura 02 - representação de um sistema de referência com os eixos X , Y e Z . O ponto O e a origem das coordenadas e o ponto P são representados pelas coordenadas (x,y,z) .

Agora Considere um objeto livre sem força ou cuja força resultante é nula, de acordo com a primeira lei de Newton é possível encontrar um referencial ou um ordenado de referenciais, em que o objeto livre sempre permanecerá em repouso ou em movimento retilíneo com velocidade

constante. Estes referenciais são chamados de referenciais inerciais, ou seja, quando as três leis de Newton são válidas para um movimento. Qualquer corpo que se movimenta com velocidade constante em relação a um referencial inercial, também é chamado de referencial inercial. Quando for possível encontrar um referencial inercial, é possível também encontrar um agrupado de referenciais inerciais. (ANDRÉ, 2010)

4.1.5 O Teorema da Adição das Velocidades de Acordo a Mecânica Clássica

Trata-se de um teorema onde a velocidade resultante é a soma da velocidade entre dois corpos em movimento. (GIL, 2001?).

Suponhamos que um foguete está viajando no espaço em uma velocidade constante v , conforme a (Figura 02), na ponta do foguete o astronauta colocou uma fonte luminosa (lanterna), esse feixe de Luz que sai da lanterna tem uma velocidade c , de acordo com a mecânica clássica a velocidade do feixe luminoso tem uma velocidade W , que será a somatória da velocidade do foguete mais o feixe de Luz, portanto $W = v + c$. Porque o foguete está viajando na mesma direção do feixe de Luz. Se o foguete estivesse viajando no sentido oposto do feixe de Luz, seria $W = v - c$. (EINSTEIN, 1999).

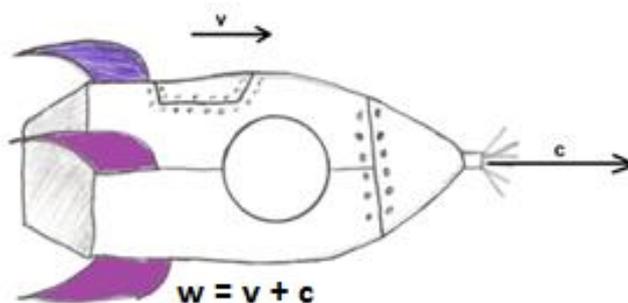


Figura 03: foguete viajando com uma velocidade v emitindo pulsos luminosos com uma velocidade c .

Segundo Einstein (2005), esse teorema só é válido para a física clássica, quando for aplicada no eletromagnetismo terá uma grande dificuldade, ou seja, essa lei que descrevemos não é exata.

4.1.6 Mecânica de Newtoniana

O Grande Isaac Newton nasceu no ano de 1642 na cidade de Lincolnshire. Nessa época a ciência e o conhecimento humano passavam por uma grande modificação. O pensamento aristotélico sobre o movimento era muito criticado, portanto surgiu a matemática para explicar os fenômenos físicos da natureza. Em 1687 Isaac Newton publicou uma das maiores obras da ciência, intitulada *Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural (Principia Mathematica Philosophiæ Naturalis)*, essa obra tratava sobre a cinemática de Galileu e do movimento dos planetas escrito por Kepler e na geometria de Descartes. (WOLFF e MACHADO, 2005). Neste contexto Newton afirmou que “Se consegui enxergar mais longe, é porque estava apoiado sobre ombros de gigantes”. (ZANETIC, 1988, p. 11).

A Mecânica de Newtoniana se baseia nos conceitos clássicos de tempo e espaço, onde a sua compreensão sobre as experiências cotidianas são extremamente fácil, diferentemente disso, as compreensões de Einstein sobre o mesmo assunto, é um pouco difícil à interpretação, e que logo mais veremos no decorrer do trabalho. (ANDRÉ, 2010).

Segundo Gil (2001?) no sistema de Newton, o tempo era verdadeiro, absoluto e matemático por si mesmo e por sua própria natureza física, onde o meio externo não interfere em seu estado. Todo evento ocorrido em diferente ponto do universo, terá o seu tempo definido ou marcado pelo um relógio ou calendário, e também o tempo será o mesmo para qualquer observador em qualquer referencial. Assim todos que observarem um evento concordaram entre si, em qual posição o evento ocorreu, de forma que se poderão estabilizar com grande exatidão os eventos ocorridos antes e até mesmo depois dele. O espaço de Newton é dito como absoluto, e como um palco de teatro no qual os eventos ocorrem, mas para isso é preciso de um ponto de referência em repouso.

- I. O tempo absoluto, verdadeiro e matemático flui sempre igual por si mesmo e por sua natureza, sem relação com qualquer coisa externa, chamando-se com outro nome “duração”
- II. O espaço absoluto, por sua natureza, sem nenhuma relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel (SEIXAS, 2006, p. 5)

Na mecânica de Newton o espaço e tempo constituem separadamente e absolutos, ou seja, todos os observadores inerciais terão que concordar que os resultados são o mesmo para todos os referenciais entre dois pontos de eventos. (VALERO et al., 2014).

Não se pode deixar de falar sobre as leis de Newton, visto que esses conceitos são muito importantes para compreender o movimento dos corpos e da relatividade. Newton na obra *Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* diz que: “Um corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme a menos que se compelido por uma força a ele aplicada a mudar esse estado”. (BRENNAM, 2003, p. 46).

Como já foi dito o exemplo da esfera sobre um a superfície de gelo conforme a (Figura 03), na situação **A**, a esfera está em repouso onde não há nenhuma força atuando sobre ela, ou seja, ela continuará em repouso sobre a superfície. Já na situação **B**, a esfera está em movimento onde não há nenhuma força atuando sobre ela. Assim como não há força atuando sobre a esfera ela não irá aumentar e nem diminuir a sua velocidade, e até mesmo, nem mudar a sua direção. (GASPAR, 2004). “A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual a força é imprimida”. (ASSIS, 2002, p. 13).

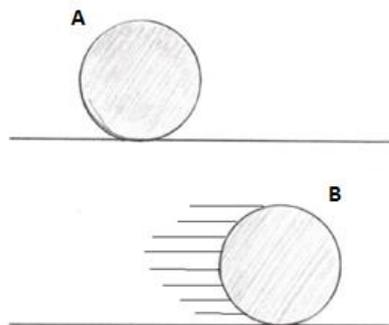


Figura 03: mostra duas esferas sobre um plano horizontal sem atrito. Na situação A sua velocidade é nula, na situação B ela está em movimento.

Usando o mesmo exemplo, para explicar a Segunda Lei de Newton. Agora transfira uma força à esfera, a mesma terá o movimento na direção da força aplicada, onde essa força será o produto da massa da esfera vezes a aceleração decorrente do impulso, sendo que quanto maior for à força, maior é a aceleração da esfera. (GIL, 2001?).

A lei da inércia, princípio fundamental da mecânica de Galileu e Newton, não é só sobre o movimento dos objetos, mas também sobre o sistema de referência ou sistema de coordenadas (Figura 01). Para uma grande aproximação exata da lei da inércia é o movimento das estrelas fixas em relação a um referencial fixo na Terra ou até mesmo a Terra, devido a Terra está em movimento sem aceleração e as estrelas em repouso, portanto estão em inércia. (EINSTEIN, 1999). Segundo Falciano (2010), Newton comparava as estrelas fixas com a lei da inércia, por elas estarem paradas com relação ao espaço absoluto, portanto ela não teria nenhum movimento, e por fim elas seriam um corpo que se encaixava perfeitamente na lei da inércia se for analisada com relação ao espaço absoluto.

4.2 TEORIA DA RELATIVIDADE ESPECIAL (TRE)

Segundo Halliday (2009) a Relatividade é o campo de estudo dedicado a medidas de acontecimentos, e também a relatividade está ligada no valor que indica os sistemas em referenciais que se move em relação a outro referencial.

De acordo com Brennan (2003), o termo Relativo é fácil assimilar, por exemplo, um objeto é grande ou pequeno em relação a outro, ou seja, uma bola de basquete é grande comparada a uma semente de ervilha, e pequena comparada a Lua. Quando se diz que algo é absolutamente grande ou pequeno, essa pronuncia está totalmente errada, para isso é preciso dizer em relação a que. O termo velocidade também é um conceito relativo. Um carro é rápido comparado a uma bicicleta e lento comprado a uma espaçonave. Algumas outras coisas também são relativas, como o movimento para cima e para baixo e etc.

A propósito, a teoria da relatividade não afirma que tudo é relativo [...] coisas que o mundo havia considerado absolutas, como o tempo e o espaço, são relativas e algumas coisas que o mundo considerava relativas, como a velocidade da Luz, são absolutas. A teoria de fato sustenta que, para todos os sistemas de referência, a velocidade da Luz é constante e, se todas as leis naturais forem as mesma, tempo e movimento se revelarão ambos relativos ao observador. (BRENNAN, 2003, p. 73).

Com a Teoria da Relatividade Especial, publicada por Albert Einstein em 1905, onde revolucionou toda a Física introduzindo em seu trabalho dois postulados que são:

1. O princípio da relatividade: As leis da física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.
2. O princípio da constância velocidade da Luz: A velocidade da Luz no espaço tem o mesmo valor c em todos os referenciais inerciais (RESNICK, HALLIDAY, KRANE, 2014, p.176)

Analisando o primeiro postulado, já que a leis da física são as mesmas para todos os referenciais inerciais, elimina-se a ideia do referencial absoluto descrito por Galileu. Conclui-se que em diversos observadores em estado de movimento uniforme, pode ser considerado em repouso e os observadores que estão em repouso pode ser considerando em movimento. Por exemplo: Uma pessoa que se distancia da Terra em um avião ele pode afirmar que a Terra está se afastando dele, e não ele da terra. (GIL 2001?).

O efeito do segundo é que, a velocidade da Luz é a mesma para qualquer referência, isto é, dois ou mais observadores que se movam com velocidade variante em relação à fonte da Luz, eles obterão o mesmo valor da Luz no vácuo. A TRE proporciona uma revisão de vários conceitos físicos. RAMAYANA (2005).

A partir destes dois princípios é possível desenvolver uma serie de consequências que modicam sensivelmente as noções clássicas de espaço e tempo. De fato, as noções de espaço e de tempo passam a depender do estado de movimento do observador inercial. Isto significa que, ao contrário do caso newtoniano, dois referenciais inercias com velocidades diferentes não irão mais concordar. (FALSIANO, 2009, p. 1)

4.2.1 Simultaneidade

Para Newton o tempo era absoluto e poderia ser marcado por um relógio universal, ou seja, se aqui na Terra um relógio marcava 4:20 h, em Vênus, marte ou em outro lugar do universo, também seria 4:20 h. De acordo com as

ideias de Newton dois ou mais eventos que ocorriam simultaneamente era porque o tempo é absoluto. Já para Einstein esta ideia é totalmente errada, visto que a Luz tem uma velocidade absoluta, ela levaria certo tempo para ir de um ponto a outro. (BRENNAM, 2003).

Considere uma situação representada na (Figura 04), imagine um trem, a princípio com velocidade V qualquer. No trem está um observador S' que vamos chamar de João, e outro observador S que se encontra no solo, fora do trem, vamos chamar de Maria, em um determinado momento em que estão se cruzando, acontece dois raios que atingem nas posições, traseira e frontal do trem. Agora vamos analisar a imagem de acordo com o ponto de vista de Maria. Lembrando que os raios acontecem ao mesmo tempo. Então os eventos são simultâneos, porque os feixes de Luz chegaram ao mesmo tempo em Maria, agora no ponto de vista de João os eventos não são simultâneos, ou seja, ele observaria primeiro o feixe de Luz do raio que atingiu a parte frontal do trem, pois é neste sentido que se descola o trem, e depois observaria o feixe traseiro. De acordo com o segundo postulando de Einstein é correto afirmar que o feixe de Luz tem o mesmo valor de c para qualquer observador inercial, ou seja, ambos os feixes se movem com a mesma rapidez. Analisando as duas situações, ambos estão corretos, embora pareça estranho, não terá uma única resposta para essas questões. A simultaneidade é relativa e não absoluta. (WOLFF, 2005).

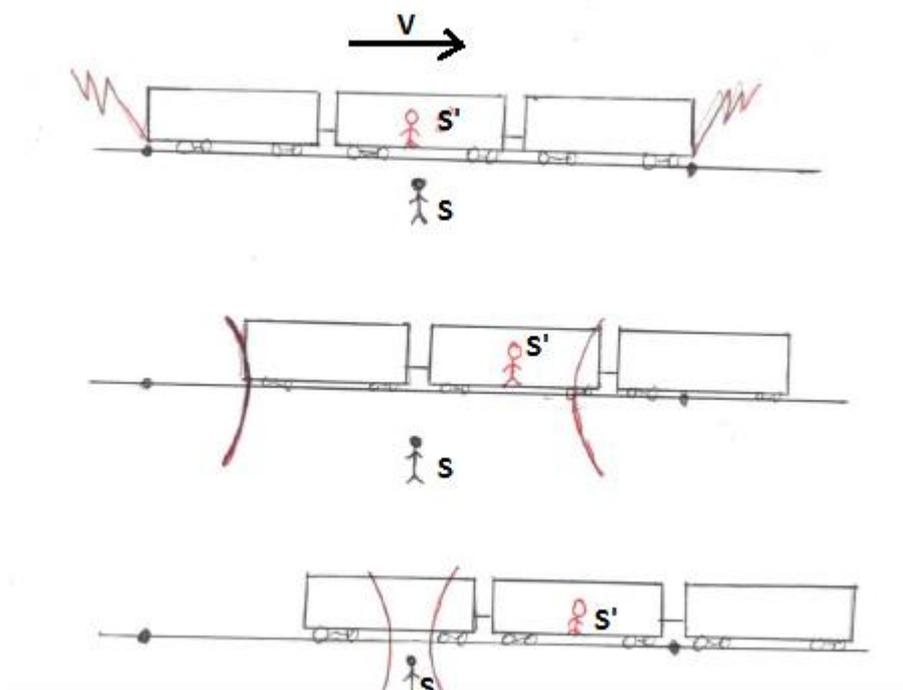


Figura 04: representa um trem viajando com uma velocidade v . sobre ele uma pessoa no referencial S' , e outra pessoa parada no solo com referência S .

A questão do tempo que os feixes de Luz são vistos para ambos os observadores contrariam o senso comum. Para todos os observadores os efeitos sempre será precedidos de suas causas, no exemplo citado os raios aconteceram no mesmo instante de tempo. Mas para um observador, o tempo de um dos dois feixes, no momento do acontecimento até a observação foi maior que o outro. (GIL, 2001?). Essa questão sobre a relatividade do tempo irá argumentar em seguida no próximo tópico

4.2.2 Dilatação do tempo

Foram inúmeros autores que estudaram as simples transformações de espaço e tempo da teoria da relatividade. Quando foram justificar a dilatação do tempo e a contração do comprimento, sempre obtiveram um problema físico não muito óbvio, mas muito importante. Quando for denominado um determinado tempo em que ocorram alguns eventos, esse tempo será o intervalo entre dois eventos que ocorrem em uma mesma posição para um dos

dois referenciais. Pode concluir-se que o tempo entre dois eventos não é o mesmo valor, então eles estão em referenciais diferentes. (MARTINS, 1998).

Pode-se analisar o tempo através de um relógio de Luz no qual o Feynman (1965) utilizou para a explicação sobre o conceito, porém é um método antigo, mas é o tipo de análise muito prático no entendimento do conceito.

Imagine o trem que foi citado anteriormente nele encontrasse um observador no qual já chamamos de João. O Trem está em movimento constante, com sua aceleração Zero. Iremos introduzir um marcado de tempo imaginário, que iremos chamar de relógio de Luz. Ele é construído por fonte de Luz F , esse relógio de Luz é colocado na parte inferior do trem. E um espelho situado a uma distância D . Este relógio de Luz tem a função de emitir pulsos luminosos e registra a emissão de pulsos de Luz refletido pelo o espelho, como mostra a (Figura 05).

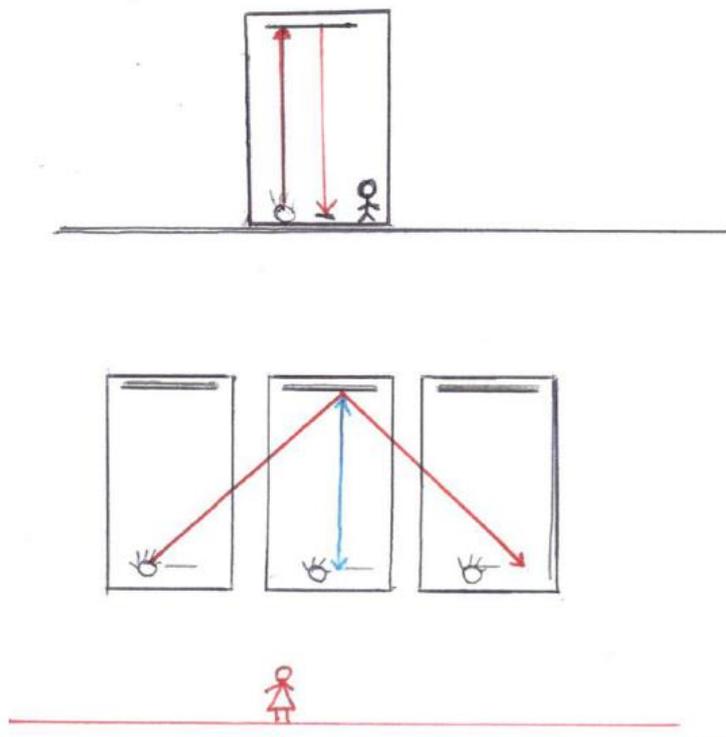


Figura 05: um trem com um observador e uma fonte de Luz F situado na parte inferior do trem, e um espelho a uma distância d na parte superior. E outro observador no solo.

Teoricamente quando o pulso de Luz é refletido no espelho ouvimos um tique e a reflexão do mesmo pulso no relógio inferior ouvimos um taque. Cada vez que isso aconteça, podemos afirmar que o intervalo de tempo que o João

observa no relógio de Luz entre esse tique-taque é de 1 (um) tempo. Vamos analisar o ponto de vista de Maria que está em um referencial **S**, para ela o relógio e o espelho estão se deslocando, e o feixe de Luz terá que fazer um trajeto já não vertical, mais inclinando, para se refletir no espelho e retornar ao relógio durante um tique-taque, passando a percorrer uma distância maior. Como já foi relatado anteriormente que a velocidade da Luz **c** é inalterável, isto é, o feixe não irá fazer a trajetória mais rapidamente essa distância maior no mesmo período de tempo igual a 1, conclui-se que a unidade de tempo será maior, ou seja, o tempo irá se dilatar em relação a Maria. (ALEXANDRE, 2011; MARTINS; 1998; RAMAYANA, 2005).

Segundo Ramayana (2005), pode-se concluir que o observador que está em **S'** medirá um intervalo de tempo entre dois eventos menor do que um observador **S**, que está em outro referencial, ou seja, que o relógio de S é mais rápido, portanto, ele se adiantará.

4.2.3 Paradoxo dos gêmeos

Para um exemplo da contração do tempo, pode-se usar uma experiência mental denominado paradoxo dos gêmeos:

[...] onde dois gêmeos se separam num dado instante, iniciando um deles uma viagem numa nave que se desloca a uma velocidade próxima da velocidade da luz ($v \approx 1$) até uma estrela distante, e regressa logo em seguida à Terra. Ao encontrar-se com o seu gêmeo que ficou na Terra verifica que este está muito mais velho, significando isto que o tempo anda mais lentamente para o gêmeo viajante. (CRAWFORD, 2012, p. 7)

De acordo com o primeiro postulados de Einstein, pode-se dizer que o gêmeo que está na espaçonave está em repouso e o outro que está viajando com a velocidade próxima à da Luz, porque ele verá o seu irmão se distanciando de si. (FALCIANO, 2007). “[...] sendo o movimento um conceito relativo, qualquer dos gêmeos poderia admitir que estava em repouso no seu referencial e o outro em movimento. Sendo assim não se percebia a assimetria do resultado”. (CRAWFORD, 2012, p. 7).

Este evento está associado em referenciais inerciais, contudo o gêmeo que está viajando possui velocidade constante próximo a velocidade da Luz. A

simetria associado ao evento está quando o gêmeo retorna a Terra, ele precisa de uma aceleração para mudar de direção para retornar, e o gêmeo que está na Terra permanece com velocidade constante, portando o gêmeo viajante muda de referencial ao longo de sua viagem. (FALCIANO, 2007).

Outra consequência que a Relatividade de Einstein traz para as velocidades altíssimas é a contração dos corpos em movimentos, no qual será discutido e analisado no próximo tópico.

4.2.4 Contração do Comprimento

Assim como o tempo, o comprimento também altera os seus valores, serão diferente em relação a outro observador.

Pelo que vimos anteriormente, há uma perfeita simetria entre os diferentes referenciais inerciais. A dilatação do tempo ocorre porque se faz uma comparação entre um relógio de um referencial e dois relógios espacialmente separados de outro referencial [...] Na realidade, a dilatação do tempo e a contração dos comprimentos não são efeitos independentes, na mesma medida em que o tempo e o espaço não são coordenadas independentes. (CRAWFORD, 2012, p. 5)

A contração do comprimento vai ser sempre em relação do movimento, ou seja, o comprimento vai ser menor somente na direção em que o objeto está se movendo, e sua altura vai ser a mesma (WOLFF, 2005).

Segundo Resnick et. al., (2013) O comprimento que um objeto tem, quando está em repouso é denominado comprimento próprio. Imagine que um referencial que se move em uma velocidade V próxima a velocidade da Luz paralela a uma régua, e um observador R' em repouso. Como outro observador verá esse objeto? Esse observador vê uma extremidade do objeto passando por ele, e em um determinado tempo depois verá a outra extremidade passando. E assim medisse o tempo gasto transcorrido entre as duas passagens. Essa contração do comprimento pode ser representada pela fórmula abaixo.

$$L = \frac{L_0 \sqrt{1 - V^2}}{c^2}$$

Portanto, L é o comprimento do objeto em movimento, L_0 é o comprimento do objeto parado em relação ao referencial, e V será a velocidade de um referencial em relação ao outro referencial, onde c é a velocidade da Luz no vácuo. (RESNICK et. al., 2013)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conceitos sobre a questão de espaço e tempo da época de Aristóteles, Galileu e Newton não é inválido ou um conhecimento que não tenha valor algum, pelo contrário, esses conceitos tem um grande valor para o desenvolvimento da Física, mesmo que matematicamente possua alguns erros, porém os conceitos de Newton sobre velocidade, espaço e tempo são válidos quando se trata de velocidades relativamente baixas, como por exemplo, o movimento de um automóvel, ônibus, trem, entre outros do dia a dia. Já a Teoria da Relatividade Especial, formulada por Einstein, nos permite estudar e compreender de forma mais precisa movimentos com velocidades próximos da velocidade da luz, e também esses fenômenos através de um novo conceito na Física que fala sobre o Espaço-tempo, possibilitando uma nova maneira de estudar o universo.

Referência Bibliográficas

ANDRÉ, Rogemar Riffel. **Uma Introdução a Teoria da Relatividade especial**. Santa Maria, Julho de 2010. p. 1-74. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/rogemar/docs/relatividade.pdf>> acesso em: 21 set. 2010

ARRUDA, M. Sergio; VILLANI, Alberto. Sobre as origens da relatividade especial: relações entre a quanta e reatividade em 1905. **Caderno brasileiro ensino de física**, Florianópolis, V.13, P. 32-47, abr. 1996 Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7077/6548>> acesso em: 19 de out. 2015

ASSIS, André Koch Torres. **Uma Nova Física**. 1. Ed. São Paulo: Perspectiva. 2002.

AUGUSTO, César zen Vasconcellos. Teoria da Relatividade Especial: transformações de Lorentz. **Instituto de física**. Universidade federal do rio grande do sul 2012 Disponível em: <<http://www.cesarzen.com/FIS1056Lista6.pdf>> acesso em: 21 ago. 2015

BALOLA, Raquel. **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural: A lei de inércia**. Lisboa, 2010, p. 1-119. Disponível em: <http://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/5363/2/ulfl109993_tm.pdf> acesso em: 19 ago. de 2015

BARBOSA, Patrícia Valero; POLITO, Antony Marco Mota; DA SILVA FILHO, Olavo Leopoldino. Espaço, Tempo e Realidade: um estudo comparativo entre três concepções de mundo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 571-600, 2014. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165322>> acesso em ago. 2015

BRENNAN, Richard P. **GIGANTES DA FÍSICA: Uma história da física moderna através de oito**. Ed. rev. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2003.

SANTOS, José Carlos; Minkowski, geometria e realidade. **Revista Brasileira de História da Matemática**, Vol. 9, n. 18, p. 115-131, julho. 2009. disponível em: < [http://www.rbhm.org.br/issues/RBHM%20-%20vol.9,%20no18,%20outubro%20\(2009\)/2-%20Jos%C3%A9%20Carlos%20Santos%20-final.pdf](http://www.rbhm.org.br/issues/RBHM%20-%20vol.9,%20no18,%20outubro%20(2009)/2-%20Jos%C3%A9%20Carlos%20Santos%20-final.pdf)> acesso em: 20 out. 2010

CONTO, G. D; A. Lima; P.H. Ortega; E.R. Schmitz. Calculo K: Uma abordagem alternativa para a relatividade especial. **Revista brasileira ensino de Física**, são Paulo, v.35, n. 4 p. 4307- 43017, outubro 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n4/a07v35n4.pdf>> acesso em: 02 out. 2015

CRAWFORD, Paulo. Viagens no Espaço-tempo e Paradoxo dos Gémeos. **Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa**. Ed. C8; 1749-016 Lisboa – Portugal, março de 2012. Disponível em: <http://api.ning.com/files/XE0HtJOdcFDdITlwNwQ5v9plzJ2IH5J-2jdA4N*WhaGG-mmm9cur0xwRp0W3YaqD7JRRa4zoSBOvWAvtAjDkNA1*QW650EKx/Paradoxo_gemeos.pdf>. Acessado em 01 de julho de 2016.

EINSTEIN, Albert. **A Teoria da Relatividade especial e Geral**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Contro Ponto, Dezembro de 1999.

EINSTEIN, A. Sobre o princípio da relatividade e suas implicações. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 37-61, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n1/a05v27n1.pdf>> acesso em 28 out. 2015

FALCIANO, F. T. Geometria Espaço-tempo e Gravitação: Conexão entre Conceitos da Relatividade Geral. **Revista Brasileira Ensino de Física**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 4, 4308-4318, (2009) 18 fevereiro de 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n4/v31n4a10>> acesso em 29 out. 2015

_____, F.T. Cinemática relativística: paradoxo dos gêmeos, **Revista Brasileira Ensino de Física**, Rio de Janeiro. v. 29, n. 1, p. 19-24, (2007) disponível em: < http://www.scielo.br/readcube/epdf.php?doi=10.1590/S1806-11172007000100006&pid=S1806-11172007000100006&pdf_path=rbef/v29n1/a06v29n1.pdf&lang=pt> acesso em: 05 nov. 2015

FEYNMAN, Richard P. LEIGHTON, Robert B. & SANDS, Matthew. The Feynman lectures on physics. 3. v. Reading: Addison-Wesley, 1965.

GASPAR, Alberto. **Física Serie Brasil**. 1. Ed. São Paulo: Ática, 2004.

GIL, Cleber. **Teoria da relatividade anotações de um leigo**. [S.l.:s.s.], [2001?]. Disponível em: <<http://www.gilcleber.com.br/adm/arquivos/teoria%20da%20relatividade.pdf>> acesso em: 12 ago. 2015.

GIORDAN, Marcelo. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, v. 10, n. 10, p. 43-49, 1999. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/iienpec/Dados/trabalhos/A33.pdf>> acesso em: 27 out. 2015

Luz, Antônio Máximo Ribeiro da, Alvarenga, Beatriz. **Física**: volume único. São Paulo: Scipione, 2007

MARICONDA, Pablo Rubén: Galileu e a ciência moderna: **Cadernos de Ciências Humanas - Especiaria**. V. 9, n.16, p. 267-292, jul./dez., 2006. Disponível em: <http://www.uesc.br/revistas/especiarias/ed16/16_2_galileu_e_a_ciencia_moderna.pdf> Acesso em: 20 ago. 2015

MARTINS, R. de A. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. *In*: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006, pag. 167-189. Disponível em: <<http://professorbiriba.com.br/boilerplate/pdf/maca-newton.pdf>> acesso em: 02 out. 2015

_____. COMO DISTORCER A FÍSICA: CONSIDERAÇÕES SOBRE UM EXEMPLO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA 2 - FÍSICA MODERNA. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**. Campinas Grande: Instituto de física. V. 15, n. 3, p. 265-300, dezembro 1998. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6887/6346>> acesso em: 02 out. 2015

_____. O ÉTER E A ÓPTICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO: A TEORIA DE FRESNEL E AS TENTATIVAS DE DETECÇÃO DO MOVIMENTO DA TERRA, ANTES DOS EXPERIMENTOS DE MICHELSON E MORLEY. **Caderno brasileiro ensino de física**, Campina Grande, v29 n. 1, p. 52-80, abril. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n1p52/21603>> Acesso em: 02 outubro de 2015

MIGUEL, Luiz, Bernardo. Concepções sobre a natureza da Luz no século XVIII em Portugal: **Revista da sociedade brasileira de história da ciência**, n.19, P. 3-12, 1998. Disponível em: <http://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=23> acesso em: 20 set. 2015

OSVALDO, pessoa jr: A ciência aristotélica e seus sucessores: Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência Faculdade de filosofia. **Letras e ciências humanas**, São Paulo, ano 2010, p.1-4, março 2010. Disponível em: <<http://www5.usp.br/?s=A+CI%C3%80NCIA+ARISTOT%C3%89LICA+E+SEUS+SUCESSORES>> acesso em: 28 ago. 2015

PORTO, C. M. A Física de Aristóteles: Uma Construção ingênua. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 4, p. 4601-4609, fev. 2010 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n4/v31n4a19.pdf>> acesso em: 20 ago. 2015

PRAZERES, Luiz Carlos. Extensivo e Terceirão: **Memorex**. [et al.] Curitiba: Positivo, 2006

RAMAYANA, Gazzinelli. Teoria da Relatividade Especial.1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KARNE, S. Kenneth. **Física 2**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

HALLIDAY, David; Resnick;jearl walker: Fundamentos de física: óptica e física moderna: v. 4, Rio de Janeiro: LTC, 2009

SOARES, Evanna. "O conceito aristotélico de justiça." *Revista do TRTN2 Região 2* (2013). Disponível em: <<http://servicos.prt22.mpt.mp.br/artigos/trabevan19.pdf>> acesso em: 27 outubro de 2015

STEINER, João. BURACOS NEGROS: SEMENTES OU CEMITÉRIOS DE GALÁXIAS. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. Especial: p. 723-742, nov. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27nespp723/17204>> acesso em: 19 out. 2015

TORT, Alexandre C. **Uma introdução à Relatividade Restrita e Geral para professores do ensino médio Parte I: Relatividade Restrita**. Rio de Janeiro, 2011. p. 1-44, disponível em: <http://www.academia.edu/5128075/Uma_introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_Relatividade_Restrita_e_Geral_para_professores_do_ensino_m%C3%A9dio._Parte_I_Relatividade_Restrita> acesso em: 21 ago. 2015

UCHÔA, Alessandra. **A história da relatividade especial de Einstein: elaboração de uma proposta para o ensino superior**. Campina Grande, 2013. p. 1-69.. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAAahUKEwj1i7vUu-3IAhWBdSYKHRARBlw&url=http%3A%2F%2Fpos-graduacao.uepb.edu.br%2Fppgecm%2Fdownload%2Fdisserta%25C3%25A7%25C3%25B5es%2Fmestrado_profissional%2F2013%2FAlessandra%2520Uchoa.pdf&usq=AFQjCNH7VLI1s7mHgNO-Wpa0y0dA_jfwOg&sig2=fXPSrJ6NYLGuKHRyaEdEYA&bvm=bv.106379543,d.eWE> acesso em: 15 set. 2015

URIAS, Guilherme. ANÁLISE DE BIOGRAFIAS DE EINSTEIN EM DOIS LIVROS DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 29, n. 2: p. 207-228, ago. 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29n2p207/22912>> acesso em: 19 out. 2015

WOLFF, Jeferson Fernando de Souza; MORS, Paulo Machado. **Relatividade: a passagem do enfoque Galliano para a visão de Einstein**. Rio Grande do Sul, Vol. 16, n. 5, p. 1-68. (2005). Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/Textos_Apoio/Wolff&Mors_v16n5.pdf> acesso em: 12 ago. 2015