



Licenciatura em Física

Bruno da Silva Gonçalves

**O Nascimento da Relatividade: A Física pré-relativística e as questões que
motivaram Einstein**

Birigui-SP
2016

Bruno da Silva Gonçalves

O Nascimento da Relatividade: A Física pré-relativística e as questões que motivaram Einstein

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Birigui, como requisito para obtenção de graduação/Licenciatura em Física.

Orientador: Donizete Aparecido Buscatti Junior

Birigui-SP
2016

Gonçalves, B.S.

O Nascimento da Relatividade: A Física pré-relativística e as questões que motivaram Einstein / Gonçalves, S.B. – Birigui, 2016. 48f.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de São Paulo, Câmpus Birigui.

Orientadores: Donizete Aparecido Buscatti Junior.

1. Relatividade. 2. Gênese. 3. Motivação. 4. Evolução. I. Buscatti Junior, D.A. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruno da Silva Gonçalves

O Nascimento da Relatividade: A Física pré-relativística e as questões que motivaram Einstein

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Câmpus Birigui, como requisito para obtenção de graduação/Licenciatura em Física.

Comissão examinadora

Prof. Ms. Donizete Aparecido Buscatti Junior (Orientador do candidato) – IFSP

Prof. Ms. Deidimar Alves Brissi – IFSP

Prof. Ms. Leandro Vinício Lopes – IFSP

Birigui, 20 de dezembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e segundo dedico esse trabalho a minha esposa e companheira eterna, Joeni Luiza Goulart da Silva, que sempre foi a minha base, me dando estrutura e dividindo todos os momentos que passei durante o curso, sejam eles bons ou ruins, te amo.

Depois agradeço enormemente a minha mãe, Mara Regina da Silva, linda, maravilhosa e especial, que sempre foi minha fonte de inspiração para os estudos, obrigado mãe por sentar naquela cadeira de metal me ensinando amar o estudo.

Meu Pai, Claudemir Gonçalves, o senhor não poderia faltar, te amo muito obrigado por toda estrutura força e companheirismo que sempre me deu.

Agradeço e dedico fortemente esse momento especial para com outras duas pessoas, Emir da Silva e Rosangela Goulart da Silva, meus sogros tão especiais quanto esse momento, obrigado por toda a força e companheirismo.

Do mais, agradeço aos amigos de caminhada, quero dizer que conheci pessoas de valor imenso durante o curso, e desejo sucesso a todos.

A todo o corpo docente que esteve presente em nossa sala, um muito obrigado por todas as lições de aprendizagem e momentos descontraídos.

Obrigado de coração a minha banca examinadora, o Prof. Ms. Deidimar Alves Brissi e o Prof. Ms. Leandro Vinício Lopes.

Por fim agradeço ao meu orientador Donizete Aparecido Buscatti Junior, dizendo que foi um prazer assistir suas ótimas aulas e saber que temos uma grande afinidade, o gosto pelos trabalhos de Albert Einstein.

“E nunca considere seu estudo como uma obrigação, mas sim como uma oportunidade invejável de aprender, sobre a influência libertadora da beleza no domínio do espírito, para seu prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual pertencerá seu trabalho futuro. ”

(Albert Einstein)

RESUMO

A Física no século XIX estava imersa em ideais mecanicistas (newtonianos), refletidas sobre conceitos como de referenciais inerciais, onde subjazem ideias de tempo e espaço absolutos. Contudo, o conjunto de leis estabelecidas com a Mecânica Clássica não era capaz de solucionar alguns conflitos que a natureza mostrava-se ser diferente das previsões teóricas existentes, resultando em um viés de hipóteses que culminaram em uma nova teoria relativística. Metodologicamente partimos de uma revisão bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de reconhecer e recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta, e assim expor resumidamente as principais ideias discutidas por outros autores pertinentes ao tratamento do problema, levantando críticas e dúvidas quando necessário, juntamente de uma análise das principais obras literárias sobre a relatividade presentes nos cursos de graduação, com a perspectiva das intrínsecas relações históricas problemáticas anteriores que trouxeram a necessidade de uma nova teoria relativística, sendo assim sistematicamente vistos os conceitos evolutivos da Física, em meio de uma análise dentre referenciais clássicos e contemporâneos que guiam aulas no ensino superior sobre a temática, a relatividade de Einstein. Decorrente a análise, evidencia-se a negligência sobre o contexto problemático antecessor a sua teoria, o qual se faz necessário para a introdução do tema de forma contextualizada em uma aula reflexiva, problemática, instigante e motivadora. Visto que para o ganho na qualidade de ensino, a aproximação do aluno sobre a teoria despertando seu maior interesse é absolutamente essencial para ampliação de bons resultados na educação de forma geral, sendo assim, neste trabalho buscou-se evidenciar o início da teoria da relatividade, ou seja, a teoria pré-relativística e seu desenvolvimento, em meio de algumas das grandes questões que a Física do século XIX enfrentava, as quais foram precursoras e nortearam os ideais revolucionários do físico teórico Albert Einstein.

Palavras-chave: Relatividade. Gênese. Motivação. Evolução.

ABSTRACT

Physics in the nineteenth century was immersed in mechanistic (Newtonian) ideals, reflected on concepts such as inertial references, where ideas of absolute time and space underlie. However, the set of laws established with Classical Mechanics was not able to solve some conflicts that nature was shown to be different from the existing theoretical predictions, resulting in a bias of hypotheses that culminated in a new relativistic theory. Methodologically we start with a bibliographical review, looking for theoretical references published with the objective of recognizing and collecting information or previous knowledge about the problem in which the answer, and thus briefly expose the main ideas discussed by other authors relevant to the treatment of the problem, raising criticisms and doubts when necessary, together with an analysis of the main literary works on relativity present in undergraduate courses, with the perspective of the intrinsic previous problematic historical relations that brought the necessity of a new relativistic theory, being thus systematically seen the evolutionary concepts of Physics, in the middle of a analysis of classic and contemporary references that guide classes in higher education on the subject, Einstein's relativity. After the analysis, it is evident the negligence on the problematic context predecessor to its theory, which becomes necessary to introduce the theme in a contextualized way in a reflexive, problematic, thought-provoking and motivating class. Whereas for the gain in teaching quality, the pupil's approach to theory arousing his or her greatest interest is absolutely essential for In this work we sought to highlight the beginnings of relativity theory, that is, pre-relativistic theory and its development, in the midst of some of the great questions that the physics of the century XIX confronted, which were precursors and guided the revolutionary ideals of theoretical physicist Albert Einstein.

Keywords: Relativity. Genesis. Motivation. Evolution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Colisão Inelástica.....	19
Figura 2 - Mudança de Referencial.....	23
Figura 3 - Transformação Generalizada (rotação)	24
Figura 4 - Método de Römer para medida da velocidade da luz.....	34
Figura 5 - Representação esquemática do Interferômetro.....	36
Figura 6 - Representa o fluxo teórico que levou a problemática.....	37
Figura 7 - Simultaneidade de um evento.....	42
Figura 8 - Representa o fluxo teórico problemático que levou a reflexão.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

P	- Momento (kg m/s)
m	- Massa (kg)
v	- Velocidade (m/s)
γ	- Fator de Lorentz
c	- Velocidade da luz no vácuo (m/s)
E	- Campo elétrico (N/C)
B	- Campo magnético (A/m)
ϵ_0	- Permitividade elétrica ($8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$)
μ_0	- Permeabilidade magnética ($1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$)
ρ	- Densidade de carga total (C/m^3)
I	- Corrente (A)
J	- Densidade de corrente total (ρ/v)
$Q(V)$	- Carga envolvida superfície gaussiana
∇	- Operador divergência
$\nabla \times$	- Operador rotacional
∇^2	- Laplaciano
dA	- Infinitesimal de superfície A
dl	- Infinitesimal tangencial a curva l
$\oint_{\partial s}$	- Integral de linha fechada
$\oiint_{\partial v}$	- Integral de superfície fechada
$\frac{\partial}{\partial t}$	- Derivada parcial em relação ao tempo

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 2 - LEGADO MECANICISTA	12
2.1 Referencial e Massa Inercial	16
2.2 O Tempo e Espaço Absolutos	19
2.3 Relatividade de Galileu e suas Geradoras	21
2.4 O Éter	26
CAPÍTULO 3 - PISTAS	29
3.1 Ondas Eletromagnéticas	29
3.2 Experiência de Michelson e Morley	33
3.3 Referencial e Simultaneidade Clássica	39
3.4 As Transformações de Lorentz	43
3.5 Conclusão	45
CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS:	47

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O questionamento do homem sobre os fenômenos da natureza junto do reconhecimento de padrões trouxe consigo a gênese da Física, iniciando assim conjuntos de paradigmas formulados por meio de hipóteses e interpretações. Contudo sabe-se pouco que a ciência em geral é uma evolutiva de conceitos teóricos que se sustentam de forma coerente e crescente durante a história. Munido dessa falha, atualmente o ensino é proposto de forma sistemática e Matemática sobre conceitos físicos, podendo ser dito como banal em todos ciclos de ensino, fundamental, médio e superior.

Devido a abordagem empobrecida da cultura que radica toda a teoria moderna, exemplificaremos em visão do nível superior a fim de uma maior reflexão contextual do ensino, que por fim trará sugestivamente o desenvolvimento de todo esse trabalho.

É habitual um docente ao ministrar o conteúdo sobre a relatividade de Einstein para o curso de graduação de Física, sem qualquer abordagem histórica fundamental sobre o assunto, descaracterizando todo o paradigma anterior a teoria e inibindo qualquer relacionamento com problemáticas anteriores vivenciadas, ficando à margem do processo educativo questões precedentes fundamentais em vista motivacional, desperdiçando inúmeros pontos reflexivos sobre o conteúdo que versará o desenvolvimento da nova teoria a ser trabalhada.

Com essa perspectiva serão abordadas grandes questões que fundamentaram a gênese da relatividade de Einstein, mediante uma abordagem histórica reflexiva, qual a trajetória será melhor detalhada a seguir.

Iniciando pela metodologia aristotélica, advinda do século IV a.C. que analisa os fenômenos em uma perspectiva intuitiva, e que teve seu declínio por meio do método científico proposto por René Descartes (1596–1650), com o centro de seu pensamento incumbido de chegar a verdade através da dúvida. Depois tratando em conjunto do formato investigativo do pensamento, Galileu Galilei (1564-1642) é visto que a realidade (verdade) não se sustenta em bases reflexivas e intuitivas, mas sim naquele que busca evidencia, fato, lógica e raciocínio associado de empirismo, nascendo aqui, um novo tipo de ciência que viria a ser a base fundamental de todo e qualquer processo de pesquisa científica.

Em decurso de nossa pesquisa sobre evolução dos conceitos da ciência que gerariam alguns conflitos pertinentes a relatividade, trataremos sobre sua fase conhecida como o Renascimento Científico, cercando-nos por nomes como Nicolau Copérnico, Galileu Galilei, Johannes Kepler, René Descartes, Isaac Newton dentre outros grandes, adentraremos sobre a ideologia da época, onde foram construídos pensamentos e estruturas teóricas que até hoje se

sustentam devidamente em bases sólidas, passando por inúmeras comprovações e uso durante os séculos, destacando casos especiais, como a relatividade de Galileu e o eletromagnetismo de Maxwell, duas teorias fortemente estabelecidas, mas que não atribuíam concordância dentre alguns fatos relevantes.

É nesse momento que surge um nome familiar aos físicos de hoje, Albert Einstein, na época um jovem desconhecido de vinte e poucos anos que mudaria a perspectiva de como a Física no século seguinte seria vista, Atento! Que trataremos de ideais da Física Clássica, a qual está imersa em conceitos mecanicistas e o conceito de campo estava tomando força. Portanto idealmente tudo poderia ou deveria ser explicado através de tais conceitos precedentes, mas como dito anteriormente, havia algumas “pedras no sapato”, onde nosso visionário Einstein necessariamente teve de se manifestar.

Veremos então a estrutura da Física Clássica e o que não era capaz de respaldar, assim não sustentando alguns aspectos teóricos vigentes da época, como exemplo, a ideia do éter, a propagação de ondas eletromagnéticas instantaneamente, todos resultando de ligações a conceitos de tempo e espaço absoluto, os quais radicavam de pressupostos teóricos mecanicistas, associados das novas equações do eletromagnetismo, e assim acabaram norteando as principais questões que levariam o jovem rapaz Albert em 1905 a publicar um trabalho intitulado *Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento* e desenvolver uma nova teoria relativística, que foi dividida em duas partes, a relatividade especial (1905) qual não considera referenciais acelerados e em 1916 a relatividade geral, generalização da gravitação de Newton, qual não trataremos nesse trabalho, mas que responde a vários outros pontos problemáticos.

Vale salientar, que a visão objetiva do trabalho se fez com o intuito do enriquecimento do ensino da teoria da relatividade, mediante a história científica existente que a precedeu, viabilizando motivação e entusiasmo do estudante para o início do conteúdo. Afirmando que apesar da qualidade de inúmeras obras literárias sobre a temática, a gosto de estruturas históricas fundamentais, a maioria deixa a desejar, resultado do pouco debate existente na academia.

CAPÍTULO 2 - LEGADO MECANICISTA

Partindo da Grécia antiga com Aristóteles, em uma visão diferente da filosofia de Platão, o mundo material era de maior importância, abrindo terreno para novas interpretações da realidade, onde a sensação é ponto central para o conhecimento, assumindo papel de articulador da realidade onde o caráter intuitivo experimental decorre conseqüentemente dentre as ligações de memorização e raciocínio, em outras palavras, o amago de sua ciência, é que da sensação chega-se a epistem.

Esclarecendo todo o raciocínio e pensamento da época, a visão de universo é o ponto chave e partida de todos os conceitos a serem definidos posteriormente. Essa visão é o geocentrismo, definindo assim que a Terra está no centro do universo estaticamente, e cada elemento possui seu lugar definitivamente de origem, permitindo assim todo um desenvolvimento teórico, ficando tácito todos os seguintes argumentos relevantes da época, inclusive sobre o movimento.

Obrigatoriamente antes de adentrarmos sobre a perspectiva de movimento para Aristóteles, devemos definir um conceito base, *a causa*, que difere da visão moderna mecanicista. A causa não somente está ligada ao fator de um agente que causa a coisa (reação, produto final), e sobre essa teoria são feitas quatro divisões, a causa *material*, está dita do que o ser e composto, exemplo uma mesa que é composta de madeira, ou seja, a causa pela qual ela existe é a madeira do tronco, depois temos a *formal*, que retrata diretamente o formato qual a mesa possui, dando o conjunto de características que fazem com que seja reconhecida como tal, em seguida temos a causa *eficiente* (motora), a mais relevante em nosso estudo sobre movimento, pois para Aristóteles essa é a causa que produz o que diz ser a potência de ser, no ato de ser, e por último a causa *final*, que seria a finalidade que a mesa teria, como sustentar colheres, copos e pratos em um jantar, concluindo que esse contexto passa a lidar com o conceito de movimento na relação entre matéria ou potência de ser, com o ato, pois quando o ser é formado a partir da potência ele se transforma em ato.

Além disso, a filosofia aristotélica agrega ao caráter de movimento de forma geral outro fator de extrema importância, só que para essa abordagem, devidamente vamos fixar que quando tratamos de movimento estamos subjazidos do conhecimento que movimento (nesta visão) é o envolvimento entre a substância (matéria+forma) e seus estados, seja de potência ou em ato em meio da transição por alguma causa, finalmente o fator mencionado acima é a condição inicial a todo o mundo material, mais especificamente, a sua estrutura organizacional que resultara no universo em questão, gerando o equilíbrio com o ideal intrínseco dos elementos

que o compõem e todas as outras substâncias, sendo elas, a terra, água, ar e o fogo, ordenando respectivamente quem fica abaixo e acima.

As coisas estão (ou devem estar) distribuídas e dispostas de uma maneira bem determinada; estar aqui ou ali não lhes é indiferente, mas, ao invés, cada coisa possui, no universo, um lugar próprio conforme a sua natureza. (É só no seu lugar que se completa e se realiza um ser, e é por isso que ele tende para lá chegar). Um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar; a noção de 'lugar natural' traduz esta exigência teórica da física aristotélica. (KOYRÉ, A, 1986, p.22)

Com essa organização, é evidente como certos fenômenos físicos eram tratados na época, quando uma pedra caía de uma montanha, simplesmente era devido a busca pelo seu local de origem (equilíbrio), causa natural.

Aristóteles (384 A.C 322 A.C) em sua obra, *Física*, dedica detalhadamente o conhecimento sobre movimento, atribuindo seu significado como mudança, de forma geral, para o ser entre a potência e ato de ser, levando em conta noções empiristas (sensações), o qual durante muito tempo a Física ficou presa sobre esse olhar racional junto de seu grande respeito na Europa, assim atrasando de “certa forma” o avanço da ciência, disse de certa forma pois se não fossem pensadores como ele, a ciência não teria sequer início, quanto mais atraso.

Para nós hoje o movimento é algo tão simples? Pois então daremos um salto, e faremos uma linha de raciocínio atribuída ao cenário anterior a Galileu e Newton.

Em um pensamento intuitivo e de experiência contínua, leva-nos a acreditar e até arriscar que para um corpo alterar sua posição é necessário exercer sobre ele uma força (puxar, empurrar), e ainda quanto maior a força maior será a sua velocidade. Concluindo, podemos dizer que a velocidade está direta e necessariamente ligada a ação, mas é correto esta afirmação?

Para responder essa questão analisaremos algumas conclusões feitas por Galileu, um dos precursores do método científico, lembrando ideal de pensamento chave para a compreensão da Física real do mundo. Então usaremos puramente o raciocínio lógico e sistemático para chegar a uma conclusão final sobre o movimento, e que vira a ser base para um fruto maior da mecânica.

Imagine que mora perto de um supermercado, e vá certo dia às compras, presumidamente pegou um carrinho de compras que possui e foi levemente caminhando em uma rua plana horizontal até lá.

Posteriormente, já com a compra feita volta através da mesma rua e nota que a força necessária para o deslocamento na volta é muito maior do que na ida, certo quem lê em dizer que até o momento nada em novidade está se observando, pois o carrinho com uma maior massa

gera maior atrito entre as rodinhas e a rua, resultado na necessidade de maior força de tração para o mesmo deslocamento.

Mas agora imagine que por algo inexplicável o chão da rua está ficando cada vez mais liso, dessa forma diminuindo a força de atrito contrária ao movimento existente, e logo você irá sentir um alívio ao ter de suar menos a camisa para empurrar o carinho. Pois bem, leve a situação de perda de atrito ao extremo e idealize essa rua com um comprimento infinito, perceberá que não será mais necessário o uso de força alguma sobre o mesmo para que o movimento seja mantido indefinidamente.

Uma observação que deve ser feita, é a respeito da força gravitacional, logo pois estamos em um referencial atribuído de campo gravitacional e possui-se massa, contudo a força da gravidade na situação idealizada somente oferece a permanência sua e do carrinho ao solo, (plano) sem qualquer influência exceto essa, contudo, a questão entre *massa inercial e gravitacional* é ponto crucial para a relatividade geral, então necessariamente vamos nos ater a massa inercial e o movimento, que por fim foi perpetuado.

Refletindo: mas como assim, sem força alguma atuante o movimento se tornou constante? Sim e então vimos que a relação entre força e movimento anteriormente estabelecida por conceitos intuitivos (errados), mostrara-se falsos, fechando sobre as palavras de Galileu Galilei:

Qualquer velocidade, uma vez imprimida a um corpo em movimento, será rigidamente mantido enquanto estiverem ausentes as causas externas de aceleração ou retardamento, condição essa que só é encontrada nos planos horizontais; porque, no caso dos planos em declive, já está presente uma causa de aceleração, enquanto nos planos em aclave há um retardamento; segue-se daí que o movimento em um plano horizontal é perpétuo; pois, se a velocidade for uniforme, não poderá ser diminuída ou retardada e muito menos destruída. (EINSTEIN; INFELD, 2008, p.18)

Como notável, fez-se necessário a luz de uma nova metodologia para cuidar da busca e melhor compreensão da realidade, intitulada de *metodologia científica*, a qual pode-se numerar os seus aspectos principais, 1- *Observação e experimentação*, 2- *Abstração e indução*, 3- *Leis e teorias Físicas*, 4- *Domínio e validade*. A correlação entre os quatro aspectos dão sustentação ao modelo, onde a primeira é o ponto de partida para elaboração de qualquer lei Física, a segunda se faz devido a vários fatores se mostrarem não essenciais ao contexto, para a terceira deve ressaltar-se a capacidade de reduzir grande número de fenômenos, em um pequeno número de leis, e por último a quarta dita a veracidade da lei sugerindo sua aplicabilidade, sendo assim, pode ser dito que era insuficiente traduzir o movimento como uma

simples medida (comprimento), e necessário definir alguns outros conceitos físicos, dando ênfase em toda a estrutura de notação vetorial para classificação fenomenológica.

Em virtude do momento abordaremos mais profundamente a mecânica clássica, qual se refere a três fundamentações precedentes a mecânica relativística, são elas a Newtoniana, Lagrangiana e Hamiltoniana, onde ambas estudam o movimento, variação de energia e forças atuantes em um corpo, divididas entre Estática, Cinemática e Dinâmica, com objetivo principal a relação de leis que determinam as forças e movimento das partículas envolvidas em um sistema.

Para sequência iremos nos focar na mecânica de Newton, formulada em seu livro *Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*, publicado em 1687 é parte que fundamenta a mecânica clássica atribuído de seus axiomas, as bases (definições) necessárias para seu desenvolvimento.

Newton em sua obra detalha o comportamento de corpos em movimento seguindo de três leis fundamentais, que veremos a seguir com maior profundidade. Antes de referenciar a sua obra monumental, esclareço que esse processo analítico sobre sua teoria é necessário para a profunda compreensão do enraizamento de seus ideais e reflexo sobre a Física Clássica no início do século XX; agora sim as três leis de Newton:

I- *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.*

II- *Mutationem motis proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimatur.*

III - *Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sine corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.*

Em português:

Princípio da Inércia

I- Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

Princípio da Dinâmica

II- A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

Princípio da Ação e Reação

III- A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

2.1 Referencial e Massa Inercial

Tratar o assunto sobre referencial inercial é parte fundamental para revolução do conceito relativístico, então vamos fazer uma breve análise crítica sobre a obra de Newton citada acima, a fim de detalhar seus princípios e fundamentações na busca de uma melhor compreensão da necessidade de uma nova formulação para a relatividade galileana.

Iniciaremos pela definição da inércia, lembrando como dito anteriormente, segundo os ideais precedidos de Aristóteles, para um corpo ser colocado em movimento ou mantido é necessário que uma força atue sobre ele, vimos que essa conclusão advém de um pensamento qualitativo intuitivo errôneo, e que Galileu refuta-o em 1632 ao publicar seu, *Diálogo sobre os dois Principais Sistemas do Mundo*, e posteriormente quase cego seu livro, *Discursos e Demonstrações Matemáticas sobre Duas Novas Ciências*, mediante a abstração e indução que radicam do novo método científico, e estão decorrentes de um diálogo entre 3 personagens (Salviati, Simplicio e Segredo) em sua obra, ressaltando que nenhuma definição de inercia foi feita por Galileu, somente sabemos que a evolução de um conceito científico não é dado de forma breve, mas sim em uma continua crescente do conceito que o precedeu.

Partindo desta visão consideramos esse um dos pontos principais para início do princípio da *inércia*, o qual contribuiu para lei consagrada de Newton.

A primeira referência concreta que temos a um tipo de inércia em Galileu surge em Abril de 1607, numa carta de Benedetto Castelli que menciona que [...] Galileo has a doctrine of motion that he taught to his pupils of which Castelli specifically mentions an inertial principle: a mover is necessary to commence a motion, but to continue it absence of resistance is enough. (HALL, RUPERT, 196, p. 192.)

O *Princípio da Inércia* é algo habitual para quem está no ramo da Física, mas o que exatamente nos diz a Lei da Inercia de Newton? A primeira vez que ouvi se falar sobre o

conceito de inércia com Newton foi em sua obra *De gravitatione*, inércia é a força interna do corpo para que o estado do corpo não seja facilmente alterado por uma força externa, valendo enfatizar que para essa definição inicial o movimento não goza de naturalidade, porém é a Descartes que devesse a introdução na Física do movimento retilíneo e uniforme como o movimento próprio dos corpos, e levando o nome de *movimento inercial*, o detalhe é que o princípio físico instituído por Descartes não será a lei de inércia postulada por Newton.

Para a estruturação de Newton qualquer corpo que esteja fora da influência de força externa devesse manter em repouso ou em movimento uniforme a sua trajetória, e para tal temos de levar em conta o referencial adotado, estabelecendo a relação entre corpo e movimento; para melhor compreensão de forma simples e apropriada usaremos novamente a abstração na validação do contexto abordado.

Imagine por um instante que exista um cometa viajando no espaço, onde dentre o mesmo nada está contido (vácuo absoluto) além do cometa, fica perceptível a impossibilidade de estabelecer qualquer relação cinemática ao cometa, pois não há modo algum de se referenciar deslocamento ao corpo, logo não faria sentido algum, qualquer análise do tipo, ficando obvio a necessidade de estabelecer um referencial adequado a situação. Portanto assim surge o conceito de *referencial inercial*, e não deixando de ser redundante, vamos acrescentar mais uma questão: O que poderia ser um referencial inercial ideal?

Se nos referirmos a Terra como um bom referencial, não podemos nos esquecer que ela está em rotação em seu próprio eixo, que por si está em translação com o Sol e sem mais delongas está em rotação com centro galáctico a 26.100 anos luz a uma velocidade de 240 quilômetros por segundo (km/s). Sei que agora deve estar se indagando, como posso relacionar tantos movimentos e referenciais ao mesmo tempo? Uma boa saída seria as estrelas distantes (fixas), elas estabelecem uma boa aproximação de um referencial inercial ideal, contudo não é que não possamos de forma usual vincular o laboratório de Física como um referencial de boa aproximação ao inercial, pois devidamente sua contribuição a influencias externas serão um tanto ínfimas (desprezíveis) para verificar-se algo anômalo a quaisquer medidas, lembrando-nos os pontos de indução e abstração da nova visão da ciência (metodologia científica), e por conseguinte generalizando qualquer referencial que estiver em movimento uniforme com a um sistema de referencial inercial, também pode ser considerado inercial, sugerindo a possibilidade de inúmeros referenciais inerciais a serem adotados.

De modo mais frutífero, abordaremos o *Princípio da Dinâmica* nos referindo às definições feitas por Newton anteriores a sua obra comumente conhecida, o *Principia*, essas definições são um total de oito e podem ser divididas em três tipos, matéria, movimento e força.

Segundo a I definição de Newton quantidade de matéria é resultado do produto entre a densidade e volume de um corpo, atribuindo a ela o nome de massa, especificamente *massa inercial*, notoriamente faço um esforço em distingui-la da massa gravitacional, que terá por fim papel fundamental na generalização da teoria da relatividade de Einstein. Na 2ª definição Newton diz que a *quantidade de movimento* resulta da quantidade de matéria e a velocidade do corpo, com as seguintes III, IV e V, redijo o entendimento respectivamente de Newton as três por ser, uma força inerente a matéria que dita sua tendência a resistir ao movimento ou mantê-lo, a força impressa sugestivamente retrata uma força externa aplicada, e pôr fim a centrípeta onde um corpo apresenta uma tendência de movimento circular ao ser impelido de alguma forma a ficar a volta de um determinado ponto.

Sessaremos aqui a busca de maior definição e profundidade do princípio da Dinâmica, o qual nos remete a ação de uma força ser proporcional a variação do momento linear (quantidade de movimento), cabido ao restante se fazer desnecessário para o desenvolvimento dos ideais do trabalho, somente demandando tempo de forma não proveitosa.

Refletindo sobre o ultimo princípio, *Ação e Reação*, o abordaremos de forma simplória em meio a exemplificação de conservação de momento que anteriormente foi definida como o produto entre massa inercial e a velocidade do mesmo, vetorialmente ($P = mv$).

Para essa análise iremos relacionar diferentemente dos outros, a força existente em mais de um corpo, visualizando (imaginação) a colisão de duas esferas, 1 e 2 de massa (m) perfeitamente iguais. Partindo desse pressuposto as esferas agora são colocadas em movimento na mesma direção, sentidos opostos e velocidades respectivas v e $-v$, a conservação de momento para uma colisão perfeitamente inelástica (sem perda de energia) nos diz que momento inicial P é igual a momento final P' .

Definindo P e P' :

$$(P = P_1 + P_2 = 0), \text{ onde } P_1 = mv \text{ e } P_2 = -mv$$

Agora:

$$P' = (P'_1 + P'_2 = 0), \text{ onde } P'_1 = -mv \text{ e } P'_2 = mv$$

Podendo-se deduzir com uso de matemática vetorial simples a troca no sentido das esferas 1 e 2 em meio a mudança de sinais (+ -) e seus respectivos momentos conservados, contudo, a visão que deve ser dado enfoque, fica por conta de que a esfera 1 exerce uma ação

(força) em 2, e em reação a esfera 2 proporcionalmente faz ação a esfera 1, concluindo que o momento total em sistema fechado (sem influencias externas) é conservativo, onde aplicando a 2º lei Newton (dp/dt) durante a colisão, $F_{1(2)} = F_{2(1)}$, ou seja, a força exercida em 1 é igual e contrária a força exercida sobre 2 (par ação-reação), a figura 1 demonstra os momentos anterior e posterior a colisão das esferas.

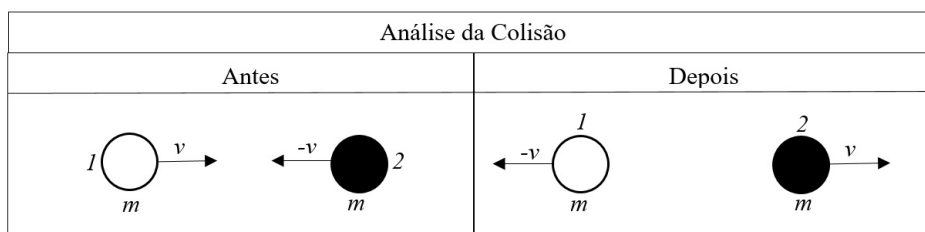


Figura 1: Colisão Inelástica.

A ilustração dada por Isaac Newton:

Se um cavalo puxa uma corda amarrada a uma pedra, o cavalo será igualmente puxado para trás pela pedra; com efeito, a corda distendida, pela mesma tendência a se relaxar ou soltar, puxará tanto o cavalo para a pedra como a pedra para o cavalo, e obstruirá tanto o avanço de um deles quanto facilita o da outra. (NUSSENZVEIG, 2006, p.105)

2.2 O Tempo e Espaço Absolutos

O registro de passagem do tempo é uma prática que o homem pode estar se dedicando há mais de 20 mil anos, e a cerca de 5 mil anos os babilônios e egípcios criaram calendários para regular o plantio e outras atividades ligados a passagem do tempo, assim foram medidos o dia solar, o mês lunar e o ano solar, mas somente a partir do século XIII o relógio mecânico iniciou uma revolução ao fazer uma medida registrando os batimentos de um oscilador.

“Em 2001 uma equipe da França e Holanda estabeleceu um recorde na subdivisão do segundo por intermédio da luz de um estroboscópio a laser, emitindo pulsos na duração de 250 bilionésimos de um bilionésimo de segundo, permitindo que em um futuro esse equipamento de base a uma máquina capaz de fotografar o movimento de elétrons individuais.”(STIX, 2002, p.53)

Continuaremos adentraremos aos conceitos mecanicistas de Newton, sobre a perspectiva de relação entre tempo e espaço, onde iniciando em seu Escólio Newton explica o que entende por espaço absoluto e relativo, tempo absoluto e relativo, lugar, movimento absoluto e relativo e como se diferenciam.

Para enfocarmos sobre espaço e tempo, devemos estar guarnecidos de que três leis Newton são devidamente validadas em conjunto da definição de referencial inercial, e que para todo outro referencial que se mova uniformemente com ele também se julga inercial. Dessa forma diferimos que para um referencial que se move aceleradamente essas leis não são aplicáveis, porém poderíamos inverter a situação ao dizer que os outros referenciais estão acelerados em relação ao que julgávamos acelerado, no entanto segundo a Mecânica Newtoniana, possuísse um critério para tais diferenciações de caráter de aceleração absoluta, sendo eles o *espaço e tempo absolutos*, os quais veremos através das próprias palavras de Newton, juntamente de maiores detalhes em análise, buscando uma inteligibilidade de suas distinções. “O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si só e por sua própria natureza, flui uniformemente, sem relação com nenhuma coisa externa, e também chamado de duração.” (BRANCO, 1996)

Ao assumir uma hipótese não Física de que o tempo não poderia ser afetado por condições físicas, foi cometido um erro fatal, Newton descreve o tempo relativo “vulgar” simploriamente como medida sensível, ou seja, é parte relativa da duração absoluta, exemplo dia, mês e ano.

Com essa definição Newton afasta o conceito temporal de qualquer condição física externa, sem ser criterioso ao mencionar anteriormente *flui uniformemente*, ficando visível em sua denotação o contraponto de que ao se referir a questões de fluxo é subentendido que a alguma variação de movimento, e que para tal devidamente tende-se a saber o que varia, e em relação ao que se varia.

Posteriormente diferencia o espaço absoluto e relativo. “O espaço absoluto, na sua própria natureza, sem relação com nada daquilo que lhe é externo, permanece sempre similar e imóvel.” (BRANCO, 1996)

Imóvel em relação ao que? Newton sabe que o espaço é homogêneo, e perante os nossos sentidos as suas partes são indistinguíveis à nossa percepção, em consequência a essa definição podemos discernir facilmente que o espaço relativo é uma vulgar medição arbitrária feita por nossos sentidos dentro do espaço absoluto, finalmente podendo dizer que tais medidas absolutas são independentes e invariáveis para ele.

O impacto da teoria de Newton sobre a Ciência foi profundo e universal, conduzindo o pensamento humano a relacionar e limitar os fenômenos físicos a um determinismo sem precedentes. Um grande exemplo é fornecido pela proclamação do matemático francês Pierre Simon de Laplace, dizendo que para uma inteligência capaz de conhecer as posições e velocidades de todas as partículas materiais, bem como as forças que sobre elas atuam, todo o

passado e futuro do universo seriam dados. Sucintamente a luz dessa ideologia se constitui o determinismo mecanicista de Newton.

Na história da Ciência verifica-se tentativas constantes de reduzir a aparente complexidade dos fenômenos naturais a ideias e relações fundamentalmente simples. E sim, a maioria das ideias fundamentais da Ciência são essencialmente simples, podendo em geral ser expressas em linguagem inteligível, porém associado a essa perspectiva, quando se estuda mecânica primariamente julga-se facilmente que no ramo da Física tudo é simples, fundamental e resolvido.

Assim adentraremos ao conceito da relatividade de Galileu, um dos que iniciou a busca fundamentalmente simplória, lógica e racional entre fenômeno (experiência) e teoria, culminando a outros pontos crucialmente problemáticos que a Física Clássica na tentativa de reduzir todos os fenômenos desde partículas aos movimentos planetários, a questões de força e relação a sua distância, vivenciava sem solução até o século XIX.

2.3 Relatividade de Galileu e suas Geradoras

Galileu Galilei nasceu 1564 em Pisa na Itália, uma região toscana onde futuramente faria seus experimentos para dar veracidade ou não as ideias de Aristóteles, as quais perduravam livremente sem comprovação. Recebeu educação Aristotélica convencional, sendo seu pai quem o enviou para estudar medicina, porém, teve maior interesse pela área da Matemática. Já com 26 anos em Florença foi nomeado professor de Matemática da Universidade de Pisa, época que fez várias inimizades por seu caráter independente de pensar, posteriormente foi para Pádua onde ficou por 18 anos como professor de Matemática.

Naquele tempo (1589-1590), ele estava convencido de que a investigação dos efeitos da natureza exigia necessariamente um conhecimento verdadeiro da natureza dos movimentos, de acordo com o axioma ao mesmo tempo filosófico e vulgar *ignorato motu ignoratur natura*. Foi então que, para grande indignação de todos os filósofos, ele demonstrou como auxílio de experiências, provas e raciocínios exatos a falsidade de numerosíssimas conclusões de Aristóteles sobre a natureza do movimento, conclusões que, até então, eram tidas como perfeitamente claras e indubitáveis. Assim, entre outras, a de que as velocidades de móveis da mesma matéria, desigualmente pesados e movendo-se através do mesmo meio, não obedecem à proporção de seus pesos, como é declarado por Aristóteles, mas se movem, todos, com a mesma velocidade. O que demonstrou em repetidas experiências, feitas no alto do campanário de Pisa, na presença de todos os outros professores e filósofos de toda a Universidade. (VIVIANE, apud KOYRÉ, 1988, p.200)

Em Pádua defendeu a teoria heliocêntrica de Copérnico, resultando em sua prisão na Toscana em 1610, pela Inquisição, período que fez seus celebres trabalhos em forma de diálogos já citados anteriormente no primeiro capítulo. Agora convenientemente dando sequência em nossa perspectiva, o tratamento até aqui empregado na mecânica faz-se uso de referenciais inerciais, certo? Vamos um pouco mais a fundo nessa relação investigando o seguinte tratamento, *a mudança de um referencial de Galileu!*

Temos um referencial inercial S , e outro referencial S' que faz movimento em relação a S , assim faremos uso de um sistema de coordenadas cartesianas (x,y,z) e um relógio para medida de tempo (t) , fixando que para abordagem de um específico (x,y,z,t) será definido como *evento* correspondendo as essas medidas espaciais e temporal.

Merecidamente sem deixarmos as margens do trabalho, o sistema cartesiano foi estruturado por René Descartes (1596-1650), filósofo, metafísico e matemático francês, em 1637 em um pequeno texto nomeado de *Geometria*, retratando que o método matemático era capaz de adquirir o conhecimento de todas as áreas, tendo como pilar de fundamentação a geometria Euclidiana, campo da Matemática que utiliza métodos algébricos e símbolos para resolução de problemáticas geométricas, trazendo correspondência entre as suas equações algébricas e curvas geométricas. Sucintamente é usado para manipular equações em planos, retas, curvas e círculos com duas, três ou mais dimensões.

Para o nosso caso serão vistas três (plano x, y, z) nos viabilizando três coordenadas respectivas, referindo-se a um ponto espacial, esclarecendo que para essa estrutura (sistema) tridimensional ser obtida, os três eixos devem interceptarem em um ponto único o qual se denomina origem, todos marcando uma distinção angular de 90° (reto) um em relação ao outro, é possível maior compreensão esquemática na figura 2 que evidencia a mudança de referenciais que trataremos.

Justificando os pormenores, estamos retratando os aspectos teóricos geométricos-matemáticos para o esclarecimento da visão espacial Euclidiana da época, outro cerne problemático para nova teoria de Einstein, portanto antes de adentrarmos as transformadas de Galileu, vale uma breve ênfase a alguns pontos da geometria Euclides que implicam diretamente a outros fundamentos aqui já tratados sobre a Física Clássica ligados a Isaac Newton.

A chamada geometria Euclidiana trouxe base a analítica, estudou inicialmente as relações entre ângulos e distancias no espaço em caráter bidimensional, depois Euclides trabalhou a geometria dos sólidos (tridimensional) com seus axiomas codificados em um espaço abstrato (espaço euclidiano) bi ou tridimensional, mas podendo ser compreendido em qualquer

dimensão, ou seja, n -dimensões; outra propriedade essencial para o espaço euclidiano é sua planitude, diferido de outros espaços, exemplo, o espaço-tempo da teoria da relatividade de Einstein. O espaço euclidiano tridimensional pode ser definido com as dimensões de altura, largura e profundidade, ligados ao estudo dos sólidos. Já a geometria analítica tridimensional é descritiva e trata o espaço tridimensional de forma diferente, mas com certa aproximação entre a linguagem Matemática e geométrica, os quais como justamente ditos anteriormente a Mecânica Newtoniana está baseada enraizando os conceitos de espaço, tempo e movimento absoluto; por fim os intervalos de tempo são idênticos em quaisquer condições, e as dimensões dos corpos rígidos não dependem do estado de movimento.

Sendo mais meticolosos para verificarmos a influência desses conceitos sobre a obra de Newton, registro que os axiomas de Euclides permanecem verdadeiros para *todo* o universo, com Newton definindo que a propagação da luz se faz de forma retilínea em um espaço *euclidiano*, finalmente podemos dizer que todos esses pontos mencionados dentre outros iram trazer problemas, que por sua vez trarão a necessidade de uma nova teoria Física.

Seguimos as vertentes anteriores, mesmo ficando um pouco além do foco, exclusivamente para entendermos com maior criticidade a influência da geometria Euclidiana mediante ao seu caráter fomentador das bases esquemáticas e linguagem das transformações de um referencial inercial para outro, de Galileu, as quais veremos agora iniciando o estudo por meio de um referencial S' que está em movimento retilíneo uniforme e velocidade V em relação ao eixo x , coincidindo com a origem do referencial S no instante $t = 0$ do evento. Veremos agora mais detalhadamente como se dá essa mudança de forma visual junto de um plano cartesiano com a figura 2 e matemática necessária na sequência.

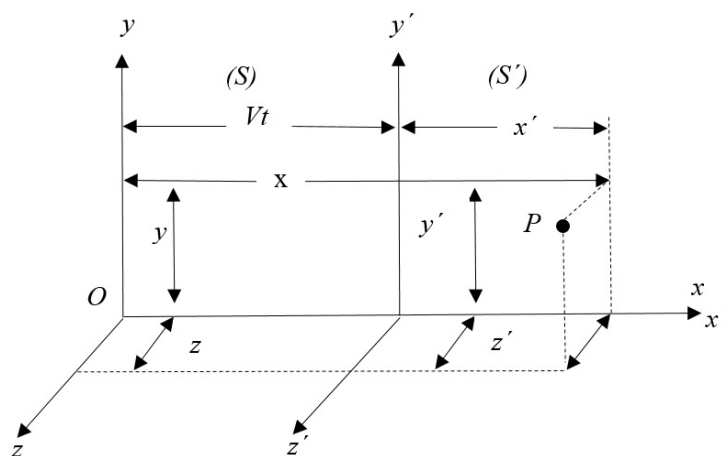


Figura 2: Mudança de Referencial.

Como relatado, a relação dada por essa teoria subjaz de conceitos como espaço, tempo e movimento absolutos, onde os intervalos de tempo são idênticos em quaisquer condições e as dimensões dos corpos rígidos não se alteram.

Seguindo tais precedentes podemos estabelecer que:

$$x' = x - Vt;$$

$$y' = y;$$

$$z' = z;$$

$$t' = t$$

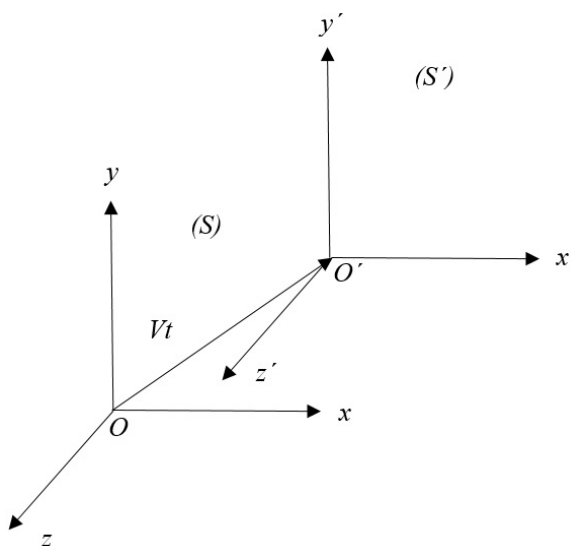


Figura 3: Transformação Generalizada (rotação).

Com a figura 3 podemos analisar S' se movendo de maneira uniforme e retilínea em relação a S , tomando as origens paralelas coincidindo no instante inicial, posteriormente havendo uma rotação espacial, sendo que V é o vetor velocidade de S' em relação a S .

Derivando para relação entre, velocidade e aceleração do sistema:

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - V = v_x - V; \quad v'_y = v_y; \quad v'_z = v_z$$

Derivando a relação entre as componentes da velocidade do referencial S e S' chegamos a:

$$v'_x = v_x - V_x; \quad v'_y = v_y - V_y; \quad v'_z = v_z - V_z$$

Ou seja, a velocidade relativa:

$$v' = v - V$$

Podendo novamente ser derivada comprovando que a aceleração em relação a S', é a mesma em S:

$$a' = a$$

Tal demonstração Matemática foi feita a fim de relacionar a 2ª lei de Newton no referencial S' e sua direta implicação sobre a massa no referencial S seriam as mesmas:

$$m' = m$$

Ou seja, a equação da 2ª lei de Newton nos diz que, $F' = m'a'$, relatando sua covariância através das transformações de Galileu, respaldando validade com tais mudança de referencial.

Esclarecendo toda a Matemática, imaginemos para tal relação uma situação simples do cotidiano, onde um homem pega o ônibus para ir ao trabalho, determinemos que seja nosso referencial S', e outro homem que fica em repouso relativo ao ponto de ônibus, será o referencial S. Agora o nosso passageiro S' descontente e mal-educado, cuspe um chiclete na direção do banco do passageiro a sua frente que conversa ao celular com a voz alta sem perceber que poderia gerar incomodo; assim faremos a seguinte pergunta, qual seria a velocidade do chiclete ao ser cuspidos? Em resposta, dependeria do referencial adotado, para S' seria uma velocidade V , enquanto que para S seria a soma da velocidade V que o cuspe proporcionou mais a velocidade relativa do ônibus V_x já em movimento uniforme.

Além de todo o conceito da relatividade galileana já trabalhado, tomemos cuidado e definimos que o uso dessa teoria é feito em relação a eventos de velocidade cotidianas ao homem, ou seja, bem menores que a velocidade da luz ou até 10% de c .

2.4 O Éter

Para pautarmos a visão histórica do éter, o que o éter? Respondendo em caráter de definição, o éter é uma substância hipotética de densidade relativa que permeia todo o cosmos sendo estacionário, foi assim postulado pelos cientistas próximo ao início do século XX com intuito teórico formado de um conjunto de ideias buscando respaldar (embasar) as teorias físicas do período. Nomes como, Hendrik Lorentz (1853-1928) e Henri Poincaré (1854-1912) ficaram conhecidos como defensores dessa teoria.

Podemos estabelecer uma relação inicial para a criação do éter resgatando algumas ideias que são muito anteriores aos nomes citados acima e fundamentais da Física Aristotélica. Tendo-se em mente a visão da constituição do cosmos para Aristóteles, e sua ideia de vácuo como a *existência do nada*, ou seja, *nada ser* é paradoxal, uma impossibilidade lógica, portanto absurda para ele, sobre esse entendimento, seu universo era completamente preenchido. Obviamente o aparato experimental disponível aos gregos da época para qualquer medida e hipótese que refute esse pensamento era algo de se levar em consideração.

Contudo, sobre sua visão de universo, Aristóteles limitava-o em uma esfera sublunar e outra a esfera celeste, ambas concêntricas ao centro do universo. O mundo sublunar (terrestre) compreendido pelos elementos que dispunha, os mais pesados, e a parte externa, os mais leves; com a esfera celeste foi dito ser preenchida pela quinta-essência (*éter*), um elemento puro, inalterável e transparente que contrastava com os encontrados na esfera sublunar, sendo assim, um elemento que só pertencia especialmente àquele região, e obviamente requisito para explicação da perfeição alienada aos astro em um sistema incorruptível, já que a esfera sublunar não dividia de tal perfeição.

Esse padrão arquitetado na época, onde a uma radical divisão entre dois mundos formados por matérias distintas e sujeitas a princípios diferentes, evidentemente está longe de qualquer semelhança com o contemporâneo, entretanto entendemos que a ciência é uma constante crescente, mesmo advindas de ideias absurdas como essas para nós hoje em pleno século XXI, assim uma nova concepção científica foi necessária para outra visão da Física, em um formato mais amplo e factível por meio da adoção da linguagem Matemática como forma de expressão de seus mecanismos e causa dos fenômenos.

Esta nova Física difere fortemente da visão aristotélica que é carregada de interpretações sem qualquer caráter quantitativo, sem esquecer notadamente o poder da metodologia científica e de vários outros nomes como Descartes, que estão envolvidos ao conceito evolutivo do éter; porém nosso foco não é uma reflexão minuciosa historicamente do conceito, e sim o fato sobre a preocupação que a Física sempre teve a respeito da estrutura da matéria em geral.

Portanto, agora acompanhando uma questão de suma importância, *a composição da luz*, que acabou por resultar na divisão de pontos de vista, uma teoria sustentando a perspectiva corpuscular (partícula) e outra a ondulatória (onda).

A teoria corpuscular da luz vem desde o atomismo de Epicuro e Lucrécio, contudo se consolidou através de Isaac Newton que além de sua tamanha contribuição na mecânica trabalhou intensamente entre 1670 e 1672 sobre problemas da óptica e conseqüentemente a natureza da luz, ele demonstrou precisamente que a luz branca era composta de um conjunto de outras cores, denominando-as de espectro, posteriormente Newton criou a teoria das cores escrevendo em 1704 sua obra *Opticks*, que trata sua ideia corpuscular da luz explicando os fenômenos de reflexão, refração e dispersão da luz com uma interpretação de que os desvios na direção de propagação são atribuídos a forças que atuam sobre os corpúsculos na interface entre dois meios, analogamente relacionados a distância, como na força gravitacional.

Apesar de toda sua obra, a teoria de Newton não suportava comprovação experimental, abrindo um viés de questionamentos, hipóteses e novas teorias, donde surge outro nome conhecido na Física, Christiaan Huygens (1629-1695), físico, matemático e astrônomo holandês, discordando dos aspectos da teoria de Newton e trabalhando em sua teoria no livro intitulado, *Tratado sobre a luz*, apresentado em 1678 a Academia Real de Ciências da França, o qual discutia as propriedades e a natureza da luz dando ênfase em sua perspectiva ondulatória, que era defendida por meio das similaridades com os fenômenos de reflexão, refração e difração ocorridos em ondas, exemplo na água. Podemos ver essa influência com suas palavras. As demonstrações relativas à Óptica são fundamentadas sobre verdades tiradas da experiência (HUYGENS, p. 10).

Sua perspectiva fenomenológica foi corroborada e ganhou força com o passar do tempo junto de nomes como, James Clerk Maxwell, Francesco Maria Grimaldi, Thomas Young, Augustin Fresnel, Jean Bernard Léon Foucault, deixando por último Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) que influenciou de forma conclusiva o declínio da teoria corpuscular em uma cartada que trataremos melhor a frente.

Esclarecendo antes, que o ponto de vista mecanicista da óptica de Newton, para haver a propagação da luz não se faz necessário a existência de meio para tal, exemplificando, imagine que um feixe de luz é composto de pequenas partículas como pequenas gotas de água que compõem o esguicho da mangueira, dessa forma não a necessidade alguma de meio para sua propagação, diferindo do caso das ondas a base estruturada por Newton tem força devido a sua simplicidade em relação ao movimento de propagação, obvio que fortemente ligado a todo o peso de sua obra mecanicista, porém sabemos que essa história não teve um fim tão simples como se espera. *Onda ou partícula?*

Chegando a cartada de Hertz, que por volta de 1883 depois de ser assistente de Hermann von Helmholtz ocupa o cargo de professor na universidade de Kiel, onde inicia seus estudos sobre eletrodinâmica de Maxwell, o qual se opunha à eletrodinâmica mecanicista e as anteriores teorias sobre a natureza da ação a distância. A partir desses estudos ele descobre a produção e propagação das ondas eletromagnéticas previstas teoricamente por Maxwell, finalizando com a descoberta de sua velocidade e similaridade com a propagação da luz no vácuo. Por último aperfeiçoou a teoria da óptica ondulatória, embasando-a matematicamente e experimentalmente, resultando na lenta depreciação e rejeição da teoria corpuscular.

Coube a Hertz, em 1887, a confirmação experimental da teoria de Maxwell. Ele notou que saltavam faíscas quando da descarga de uma bobina de indução. Ele produziu ondas eletromagnéticas com um oscilador e verificou que estas possuíam propriedades idênticas às da luz. (MOREIRA DA SILVA, 2002, p. 80)

Sem perdermos o foco, vimos que a teoria da óptica ondulatória venceu esse embate, *onda partícula*, ressaltando que o modelo corpuscular atual não é o mesmo do tratado aqui. Por fim o amago dessa discussão advém da necessidade de um meio de propagação para luz, já que é uma onda presumisse o requisito de tal meio, e foi devido a esse caráter que Huygens propôs inicialmente o hipotético meio do *Éter*, trazendo base ao fenômeno ondulatório de sua teoria, mesmo apesar de tal meio não ter sido constatado experimentalmente. Ficando uma brecha em toda a teoria existente do éter, e que será outro fato importante entre as questões relativísticas pertinentes ao nosso trabalho de investigação.

CAPÍTULO 3 - PISTAS

Até o dado momento fizemos uma viagem por vários conceitos, pressupostos, hipóteses e teorias do século XIX, passamos inicialmente por uma análise conceitual dos primórdios da Física através das ideias de Aristóteles e sua vasta contribuição para o cenário da Ciência e compreensão do universo, seguimos pelo desenvolvimento do pensamento humano sobre a Ciência e sua metodologia com Descartes e Galileu, depois submergimos ao legado da mecânica newtoniano, seus aspectos, características e embasamentos, mediante a uma reflexão individual de vários conceitos genitores de toda sua teoria. Assim enviesamos toda a Física Clássica pré-relativística qual é necessariamente atribuída das problemáticas que concernem nosso trabalho analítico evolutivo conceitual sobre a gênese da relatividade de Einstein, chegando aqui ao ponto onde evidenciaremos algumas tentativas frustrantes da Física Clássica de explicar questões fundamentais até então sem resposta.

3.1 Ondas Eletromagnéticas

Não a como falar sobre o eletromagnetismo sem mencionar, James Clarck Maxwell, então ao invés de irmos diretamente para sua contribuição chave em nosso trabalho, faremos um inicial apanhado bibliográfico sobre esse grande e influente nome da Física. Ele nasceu em Edimburgo vindo de uma família abastada com títulos da Aristocracia, seu pai John Clerk Maxwell Advogado, irmão do 6º Barão Panicuik, foi muito influente em sua formação.

Seus pais se casaram depois dos 30 anos, o que não era comum para época, onde primeiramente tiveram uma menina chamada Elizabeth, porém veio a falecer na infância, sua mãe já tinha quase 40 anos quando Maxwell nasceu, o nome *James* vem de seu avô e alguns ancestrais; Maxwell cresceu na fazenda onde sua educação até os 8 anos foi responsabilidade da sua mãe, que em 1839 faleceu de cancro (câncer).

Após a morte de sua mãe, Maxwell teve aulas com um tutor que por fim não resultaram muito bem, depois em 1841 aos 10 anos sua tia Jane mandou-o para a escola em Edimburgo, onde ficaria na casa da Irma de seu pai, foi quando elaborou seu primeiro artigo aos 14 anos sobre uma figura oval, perfeita matematicamente e artisticamente, trabalho influenciado pelo artista decorador D.R Hay. O trabalho de Maxwell foi de forma simples apresentado para resolver o problema de desenhá-las com a definição de uma classe mais geral de curvas que agora são por vezes chamadas de *curvas de Maxwell*. Nessa época fez amizade com alguns professores, inclusive um que seria seu professor de Física na universidade Edimburgo.

Em outubro de 1847 aos 16 anos foi para a universidade de Edimburgo, onde achou ter mais chances de ser cientista, publicou mais alguns 3 ou 4 artigos sobre geometria e graduou-se em filosofia natural (Física), filosofia moral e filosofia mental (tema predominante na época). Já em 1850 foi aceito em Cambridge indo estudar Matemática precisamente no Trinity College devido à concorrência e as chances de bolsa serem maior.

Nesta época era dominante o estudo da Matemática abrangendo toda a Física, e foi nesse momento que Maxwell começa seus estudos sobre as *equações do eletromagnetismo* que continuariam por toda sua vida.

Contudo, Maxwell vive um desconforto devido ao estilo matemático técnico de Cambridge, que por fim limitava-o, fazendo sofrer sobre suas perspectivas de inovação do conhecimento, resultado mediante ao simples requisito de não atingir ou negligenciar as bases tradicionais do ensino. Mesmo assim em 1854 forma-se no Trinity College apresentando a sociedade filosófica de Cambridge o artigo *Transformation of Surfaces by Bending*, trabalho puramente matemático.

Depois em 1855 teve de cuidar de seu pai que adoeceu e viria a falecer um ano mais tarde; foi aqui que começou a estudar as linhas de força de Faraday (desenvolvido mediante a analogias entre Matemática e Hidrodinâmica) corroborando para eletricidade demonstrando como expressar diferencialmente a indução magnética, que mais tarde seria chave para verificar as *ondas eletromagnéticas*, já no ano seguinte foi nomeado Professor de filosofia natural de Aberdeen, universidades que em 1860 se fundiram e Maxwell seria nomeado a cadeira do Kings College de Londres e membro da Royal Society, permanecendo até 1865.

Entre 1861-1865 utilizou esse tempo colocando suas ideias em ordem sobre as equações e teorias eletrodinâmicas, fechando seus trabalhos sobre as linhas de força. Por fim, durante viagens continentais escreveu seu tratado da eletricidade e magnetismo em 1873.

Em conclusão histórica, as equações de Maxwell são um grupo de equações diferenciais parciais, que juntamente com a lei da força de Lorentz, compõe a base do eletromagnetismo clássico estando embebida de toda a óptica clássica. Em fim veremos na forma Matemática diferencial e integral as equações de Maxwell, examinando-as de forma conceitual buscando maior compreensão de sua influência sobre a relatividade einsteiniana.

As equações:

Lei de Gauss para eletricidade:

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad \oiint_{\partial V} E \cdot dA = \frac{Q(V)}{\epsilon_0}$$

A lei de Gauss para eletricidade nos fornece a relação entre a carga envolvida pela superfície gaussiana fechada, e o campo elétrico existente, em outras palavras, as linhas de campo que atravessam a superfície gaussiana representam a intensidade do fluxo elétrico do sistema.

Lei de Gauss para o Magnetismo:

$$\nabla \cdot B = 0, \quad \oiint_{\partial V} B \cdot dA = 0$$

A lei de Gauss para o magnetismo fornece a relação de fluxo magnético através de uma superfície gaussiana fechada, estabelecendo um valor nulo (zero) em consequência das linhas de campo magnético serem fechadas, ou seja, todo o fluxo magnético pertinente a saída da superfície retorna a mesma.

Lei de Faraday para Indução:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}, \quad \oint_{\partial S} E \cdot dl = -\frac{\partial \phi_{B,S}}{\partial t}$$

A lei de Faraday demonstra a indução eletromagnética, também conhecida como a força eletromotriz, denotando que a variação de um campo magnético em relação ao tempo, gera campo elétrico, e proporcionalmente a variação de um campo elétrico em relação ao tempo, gera campo magnético, a variação de intensidade de fluxo fica dada através da passagem do mesmo pela superfície amperiana.

Lei de Ampère Maxwell:

$$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \phi_{E,S}}{\partial t}, \quad \oint_{\partial S} B \cdot dl = \mu_0 I_s + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \phi_{B,S}}{\partial t}$$

A lei de Ampere e Maxwell dá o tratamento sobre corrente e campo variando no espaço, descrevendo a relação existente entre a geração de campo magnético por meio da

corrente elétrica, ou a variação de campo elétrico no vácuo gerando campo magnético, sendo que última atribuição foi a contribuição feita por Maxwell a lei de Ampère.

Esse conjunto de leis sintetizou todos os fenômenos eletromagnéticos por intermédio de formalismo matemático adequado, resultando em uma teoria que fundamentaria novos pensamentos físicos para época munidos de previsões teóricas cerne da necessidade de uma nova teoria relativística.

Veremos abaixo com a forma diferencial, a demonstração da previsão teórica Matemática das ondas eletromagnéticas e sua velocidade, mediante a devida utilização do ferramental matemático e atribuição das condições de contorno necessárias para tal, como a não presença de correntes e cargas elétricas, especificamente no vácuo em um meio linear, homogêneo e isotrópico, com suas constantes elétrica ϵ_0 de permissividade e magnética μ_0 de permeabilidade. Assim tomam a forma:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot E &= 0 \\ \nabla \cdot B &= 0 \\ \nabla \times E &= -\frac{\partial B}{\partial t} \\ \nabla \times B &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \phi E_s}{\partial t}\end{aligned}$$

A equação de onda é uma equação diferencial parcial, tendo seu formato mais simples com a variável em relação ao tempo t , e uma ou mais variáveis espaciais ($x_1, x_2, x_n \dots$):

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = v^2 \nabla^2 x$$

Fazendo uso de uma identidade vetorial, obtemos a solução dessas equações em termos simples de ondas planas senoidais progressivas, com a direção ortogonal entre os campos elétricos e magnéticos:

$$\begin{aligned}\nabla \times \nabla \times E &= \nabla(\nabla \cdot E) - \nabla^2 E = \nabla \times \left(-\frac{\partial B}{\partial t}\right) = -\frac{\partial \nabla \times B}{\partial t} \\ \nabla \times \nabla \times B &= \nabla(\nabla \cdot B) - \nabla^2 B = \nabla \times \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}\right) = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \nabla \times E}{\partial t}\end{aligned}$$

Onde:

$$0 - \nabla^2 E = -\frac{\partial}{\partial t} \left(\mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \right)$$

$$0 - \nabla^2 B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(-\frac{\partial B}{\partial t} \right)$$

Propiciando as equações de ondas eletromagnéticas:

$$\nabla^2 E = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad \nabla^2 B = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2}$$

Finalmente, por meio da semelhança entre a equação diferencial de onda plana e a eletromagnética, encontramos a velocidade de propagação:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 299.792.458 \text{ m/s}$$

Visto que para nosso trabalho toda abordagem necessária sobre as equações das ondas eletromagnéticas e sua resolução, foi trabalhada de forma simplória devido o objetivo principal ficar por conta dos resultados finais, a constatação teórica da *fenomenologia ondulatória e a velocidade de propagação*, cerne do fato que Maxwell vê a possibilidade de relacionar a velocidade da onda no vácuo com outra velocidade. Mas que velocidade? Para responder essa possibilidade o próximo capítulo é dedicado a um experimento famoso.

Com este resultado matemático e com o conhecimento dos resultados da experiência de Weber e Kohlrausch, Maxwell afirma que a luz é "*uma perturbação eletromagnética que, sob a forma de ondas*", se propaga no éter. E mais, desenrolou um panorama de ondas de diferentes comprimentos de onda que ia das ondas eléctricas às ondas visíveis. O mundo científico teve uma atitude céptica e trocista pelo facto de Maxweel afirmar que a luz consiste em ondas eletromagnéticas. (MOREIRA DA SILVA, 2002, p. 80)

3.2 Experiência de Michelson e Morley

Anteriormente ao século XVII pensava-se que a velocidade da luz era infinita, vários filósofos como Empédocles, Aristóteles na Grécia, Johannes Kepler, Francis Bacon e René Descartes na Europa deixaram sua opinião sobre o assunto, assim diremos que em consequência

da evolução dos conceitos Galileu fez um esforço para medir sua velocidade. Sua experiência foi realizada em Florença 1667, por ele e um amigo, onde cada um estava acima de um morro, possuindo uma lanterna e estando divididos por uma grande distância. A proposta era de que as lanternas estariam cobertas inicialmente e um deles descobriria a sua primeiramente enquanto o outro observa, e quando o outro visse a luz da primeira lanterna destamparia a sua com exatidão no momento.

Apesar de haver lógica já sabemos que a velocidade da luz é algo muito além dos nossos sentidos serem capaz de determinar por simplória instrumentação, então agora daremos o relato que trouxe acidentalmente um dos primeiros valores mais próximos da real magnitude da velocidade da luz.

O astrônomo Ole Rømer em 1675 ao analisar o eclipse de Io, uma lua de Júpiter, observa uma discrepância no período que o fenômeno leva para ocorrer quando a Terra se afastava e quando se aproximava de Júpiter. Vamos observar o esquema da figura 4 para melhor compreensão do caso.

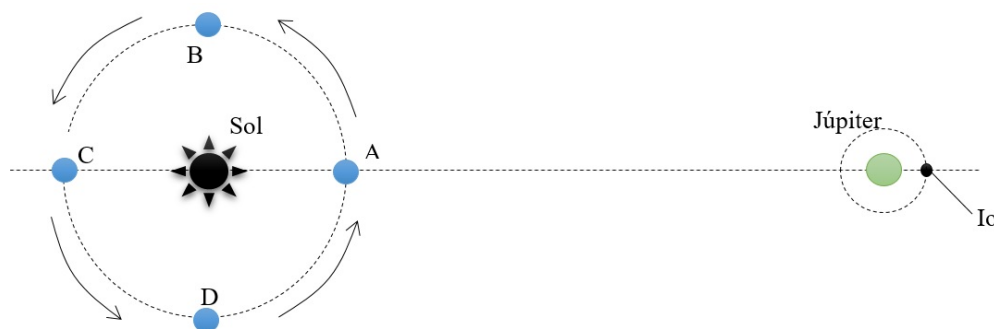


Figura 4: Método de Rømer para medida da velocidade da luz.

Esse fenômeno ocorre quando Io fica atrás de Júpiter com o período de aproximadamente 42.5 horas, porém essas medidas são afetadas devido ao movimento relativo da Terra a Júpiter, note que quando o planeta Terra está ao longo da trajetória ABC observamos o afastamento, fornecendo um período maior, mas quando as medidas são feitas sobre a trajetória CDA, estamos observando a aproximação, e conseqüentemente um período de menor duração do eclipse. Foi assim de Rømer analisando os dados colhidos durante 6 meses entre os fenômenos em que distam do ponto A (maior aproximação) e do ponto C (maior afastamento)

e ajuda de cálculo, estabeleceu uma ainda distante margem do valor real da velocidade c , mas muito maior do que as anteriores.

Em 1849 o físico francês Armand Fizeau realizou a primeira medida sobre a velocidade da luz não utilizando a Astronomia, Fizeau elaborou um sistema de lentes de maneira pelo qual a luz refletia por um espelho semitransparente e fosse focalizado em um espaçamento entre duas rodas dentadas, e colocou um espelho que refletia a luz de volta estando sobre uma colina distante cerca de 8000 metros; por fim o método utilizado foi aperfeiçoado por Jean Foucault, que em 1850 conseguiu medir que a velocidade da luz na água, a qual era menor do que no ar, fato que influenciou mais uma vez fortemente o declínio do conceito corpuscular da luz de Newton, e em consequência fortaleceu a teoria ondulatória. A 22 de Setembro de 1862 que Le Verrier apresenta uma nota de Foucault à Academia de Paris dizendo que a velocidade da luz é 298000 ± 500 km/s. (MOREIRA DA SILVA, 2002, p. 66)

De acordo com a restrita análise histórica que fizemos sobre o conceito que concerne o éter e a estrutura luz, podemos ver que a visão ondulatória teve êxito sobre a teoria corpuscular, tendo como grande pilar o eletromagnetismo de Maxwell, que além de sua elegância, demonstra previsões teóricas como as ondas eletromagnéticas já citadas e que futuramente foram comprovadas por Hertz.

Caminhando de frente ao nosso objetivo, fora demonstrado através das equações de Maxwell que a velocidade de propagação de uma ondas eletromagnéticas no vácuo é igual a, $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$, uma constante universal, e com maior critério relatamos que a velocidade referida é exatamente 299.792.458 m/s. Ainda assim onde está a relação entre ondas eletromagnéticas e o reconhecimento da velocidade da luz? Pode parecer uma pergunta incoerente para os físicos de hoje, mas retratando esse momento histórico ainda não se tinha conhecimento de que a luz visível era uma onda eletromagnética, portanto, versando com o intuito de retratarmos o momento em que foi relacionado os dois conceitos, onda eletromagnética e luz, abordaremos a sequência do trabalho de Foucault realizado pelo físico americano Albert Michelson que utilizou da mesma metodologia experimental de Foucault e estabeleceu medidas de maior precisão.

Em uma série de experimentos realizados entre 1881 e 1887, A. A. Michelson e E. W. Morley no observatório astronômico Monte Wilson localizado nas montanhas San Gabriel próximo a Pasadena (Los Angeles) buscaram encontrar diferenças na velocidade de propagação da luz por meio de seu interferômetro, resultando na averiguação com precisão da velocidade de propagação da luz, a qual estabeleceu a relação chave entre o conceito de ondas

eletromagnéticas e a luz, tão desejada em nosso trabalho, e ilustrando mais uma vez a forte teoria ondulatória do momento.

Veremos a seguir com maiores detalhes o experimento mencionado de Michelson e Morley por meio da figura 5, que ilustra o esquema experimental fundamental da averiguação da velocidade da luz.

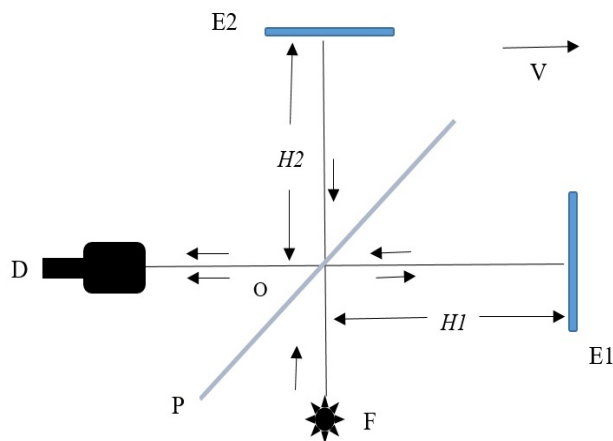


Figura 5: Representação esquemática do Interferômetro.

Os braços do equipamento têm comprimento H_1 e H_2 , uma fonte de luz F , uma placa semiespelhada P que divide o feixe de luz, E_1 e E_2 são os espelhos e por último D se trata da luneta de observação.

O aparelho usava um feixe de luz monocromático vindo a 45° no vidro semiespelhado, uma parte do feixe refletia-se para um dos espelhos e a outra parte atravessava o vidro indo para o segundo espelho, após a reflexão em ambos o primeiro raio atravessaria em parte e chegaria a luneta, com o outro sendo refletido no segundo espelho e lançado na mesma luneta, então mediante a diferença de caminho entre H_1 e H_2 a luz formaria um *esperado* padrão de interferência construtivo e destrutivo devido o movimento da Terra em relação ao éter, possibilitando medir suas diferentes velocidades; esse instrumento tinha capacidade de detectar a interferência de $1/6$ da velocidade de translação do planeta Terra, mas isso não aconteceu! A teoria einsteiniana depende inteiramente do resultado da experiência de Michelson e pode ser derivada dele (PETZOLD, apud THUILLIER, 1994, p. 237).

O detalhe que devemos ressaltar, é o fato de que os dois cientistas ao realizarem seu experimento repetidamente, não tinham somente a intenção do reconhecimento da velocidade de propagação da luz, mas sim se ela faria diferença de velocidade conforme a mudança de propagação em relação ao seu devido meio, o éter.

Sendo esse uma das grandes chaves (questões) que culminaram na teoria nova proposta por Einstein sobre a relatividade, a situação deve ser vista com maior dedicação e reflexão, relembrando fatos já vistos por nós e de grande significância, e são eles:

Primeiramente os valores da mecânica newtoniana os quais estão fortemente embasados sobre o conceito de espaço e tempo absolutos (referenciais privilegiados), em segundo, levantamos as transformações de Galileu entre sistemas de referenciais inerciais em consonância com as leis da mecânica, demonstrando a covariâncias entre as leis da Física no caso dos referenciais *inerciais*, que são fundamentais na formulação das leis de Newton. Por último trouxemos os conceitos pertinentes a evolução da estrutura teórica da luz, alinhados com as ondas eletromagnéticas, evidenciando o necessário meio de propagação para tais, o éter anteriormente postulado por Huygens. Concluímos que esse entrelaçamento histórico foi feito para observamos a convergência de um grande problema retirado do fato decorrente dos resultados obtidos por Michelson e Morley.

A figura 6 a seguir relaciona o tratamento dado por nós a fim de levantar uma das questões de principal influência na gênese da relatividade einsteiniana até o momento, onde fiz passar os mencionados através da “lente convergente de Einstein” que nos levava sempre ao foco objetivado.

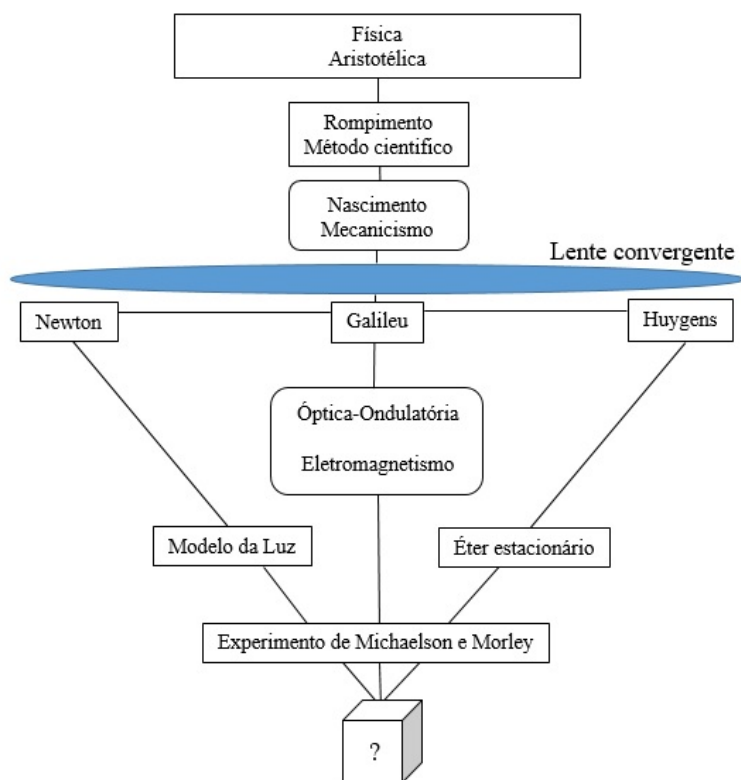


Figura 6: Representa o fluxo teórico que levou a problemática.

A fim de entendermos melhor a importância e significado desse experimento para com a gênese da relatividade de Einstein, vamos imaginar a seguinte situação.

Você é um físico viajante intergaláctico tripulante da nave USS Enterprise NCC-1701 que está em busca de novos mundos e formas de vida além das fronteiras, quando um dia perde a hora dormindo até mais tarde, logo ao acordar e nota que toda a tripulação saiu da nave sem qualquer explicação. Ficando preocupado corre a cabine de comando para falar com o capitão James T. Kirk, e ao chegar lá rapidamente toma um escorregão caindo de cabeça sobre os comandos e botões da nave, acionando a dobra espacial.

Depois de horas, acorda e desliga o motor a fim de parar a viagem sem rumo, logo ao sair da dobra espacial se depara com um tipo de espaço bem diferente do nosso, nota-se que nada há a sua volta, além de uma espécie de fluido azulado meio transparente, no qual faz com que a nave e você perda todas as características de um corpo massivo. Assim idealizamos em analogia como a USS Enterprise sendo o nossa planeta Terra e o fluido azulado o hipotético éter que permeia o espaço; ao tentar mexer sobre os comandos da nave percebe-se que não pode toca-los, então sem pensar muito vai ao quarto do capitão James T para ver se encontra algo que fale sobre esse lugar estranho (não sei como poderia se deslocar, mas por fim conto a generosidade do leitor), entrando no quarto vê uma luz brilhante que emana de uma gaveta em seu guarda roupas, ao abri-la encontra um objeto estranho de forma não convencional e percebe que consegue interagir com o objeto sem parecer mais um fantasma, porém, o mais estranho é que ao movimentar o objeto dentro do fluido azul observa um padrão de onda em altíssima velocidade formados a sua volta, como na água, em seguida vai a cabine de comando para religar a nave e voltar pra casa.

Antes disso, sendo um físico muito curioso com o que o rodeia, liga os sensores de movimento da nave, e faz um movimento súbito e forte com objeto desconhecido, formando assim uma onda que se propaga em todas as direções. Ao observar os dados apresentados pelo computador, vê que é denotado uma velocidade de 1000 km/s referente a onda. Pois bem e interessante, foi constatado a velocidade absoluta da onda no meio e como estamos devidamente parados, essa velocidade é relativa a nave.

Agora com pressa de ir embora, aciona o motor que coloca a nave em velocidade constante, exatamente 15.000 km/s, ou seja, 5% da velocidade da luz, já em seguida estando com o objeto estranho na mão ao meio da nave, faz-se novamente um movimento súbito forte, formando uma onda que se propaga em todas as direções como antes. Posteriormente, observa no computador central os dados recolhidos sobre o movimento da onda produzida; e o que é esperado? Seguindo os padrões de cálculo normal, ou seja, as *transformações de galileu*

rodeada por todos os fatores decorrentes da mecânica newtoniana, o valor da velocidade da onda denota pelo sensor traseiro seria de aproximada 16.000 km/s, já o sensor na parte frontal da nave mostraria cerca de 14.000 km/s.

Podemos pressupor com certa tranquilidade os resultados que seriam obtidos pelo computador, porém, já dissemos que a experiência de Michaelson e Morley não demonstrou essa trivialidade espera pelas leis regentes da época, pois a luz se mostrou ter velocidade constante c de propagação em toda e qualquer direção, sentido e referencial de medição.

Para tal experimentação eles usaram do suposto movimento do planeta Terra em relação ao éter estacionário em um referencial inercial privilegiado, no espaço absoluto estático de Newton, firmando que a lei básica da dinâmica não se altera nos referenciais inerciais, entretanto se tentarmos estender as leis da relatividade galileana ao eletromagnetismo, nos deparamos imediatamente com um grande problema, a constante velocidade da luz. Sendo admitindo valer as leis da mecânica clássica o resultado não deveria valer em outro referencial movendo-se de forma retilínea e uniforme.

Em efeito da composição da velocidade de Galileu temos:

$$c' = c - V$$

Resultando, c' seria diferente de c , contradizendo as previsões do eletromagnetismo e sendo necessário a existência de um meio (éter) dotado de um referencial privilegio para manter sua concordância, mas já vimos que essa hipótese foi derrubada pela experiência citada acima. Ou seriam as leis do eletromagnetismo que estavam incorretas tendo de ser modificadas.

Contudo podemos afirmar que aqui ouvi uma grande quebra de paradigma conceitual, abalando conceitos usados pelas teorias mecanicistas envolvidas, uma delas, as transformações de galileu, norteadas grande ponto de reflexão para Einstein e sua futura proposta teórica.

3.3 Referencial e Simultaneidade Clássica

Depois dos resultados obtidos por Michelson e Morley a comunidade científica ficou movimentada, vários físicos ao saber dos fatos experimentais alcançados tentaram se manifestar, as opiniões divergiam muito, e não era para menos, os resultados sobre a velocidade da luz ao mesmo tempo que trouxeram a relação importantíssima entre a ondas eletromagnéticas e a luz, gerando segurança e evidencia de que a luz se tratava de um fenômeno

ondulatório causado pela perturbação dos campos elétrico e magnético, conseqüentemente trouxe a indispensabilidade de um meio de propagação para elas (éter), munido e tendo base ao conceito de referencial privilegiado, qual radica do conceito newtoniano sobre espaço absoluto, sustentando assim a constância da velocidade c .

O problema é que as experiências em Monte Wilson durante meses deixaram muito claro o fato de que as velocidades encontradas eram as mesmas, porém em qualquer que fosse o sentido de propagação através do hipotético éter, que em consequência desestrutura todo esse suposto modelo de propagação.

Como dito, os físicos ficaram intrigados com os novos dados, e logo começaram as tentativas de explicação para as discordâncias entre os modelos atuais.

Pois como assim a velocidade da luz é constante? E a relatividade onde fica? Respondendo esses questionamentos, alguns nomes surgiram e vieram a contribuir significativamente mais uma vez para as ideias de Einstein, um deles o engenheiro, físico e matemático Jules Henri Poincaré (1854-1912). Poincaré afirmou que não somos capazes de diferir sobre a igualdade de dois intervalos de tempo, apontando diretamente para outra grande questão, a simultaneidade, qual levou nosso físico Albert a profunda reflexão.

Simultaneidade, essa palavra levada ao sendo comum, faz com que pensemos na ocorrência de fatos quaisquer, como sua mãe dizendo, as 12:00 você irá chegar e o almoço vai estar sobre a mesa. Revelando simetria temporal entre fatos distintos, o horário da sua chegada em casa e a comida estando sobre a mesa naquele dado instante, usamos o termo simetria, pois sua definição vem de tudo aquilo que pode ser dividido em partes correspondentes a um único ponto (tempo), bem sugestivo a estabelecer relação entre fato (ponto, evento) e relativos referenciais, não necessariamente se tratando de uma perfeita simetria.

Indo mais a fundo na perspectiva da Física Clássica, esse aspecto é tratado de uma forma absolutista na mecânica. Nesse contexto teórico a informação se mostra instantânea entre um evento e dois referenciais diferentes no espaço, ou de dois eventos para um referencial, mas quando articulamos a questão de simultaneidade de um evento com o fato da constante velocidade da luz c , chegaremos a mais uma das grandes questões que nortearam os pensamentos e Einstein.

A questão de simultaneidade é fundamental na Física, especialmente para modelagem dos seus fenômenos, distinguindo com base em um tempo coordenado a percepção do evento por observadores diferentes, é claro que para um evento *próximo* de diferentes referenciais ou eventos diferentes para um único referencial não há problema em estabelecer certa relação de forma precisa, contrariamente do que ocorre quando tratamos referenciais a grandes distancias,

obviamente a menos que consideremos a proposta clássica de que um sinal é transmitido no evento para tais sistemas de referenciais com uma velocidade infinita. Portanto devemos dizer que levava um determinado tempo para transmissão de um sinal (informação) entre referenciais distintos, levando-nos a conclusões diferentes a respeito da simultaneidade do evento para os diferentes referenciais.

A Física pré-relativística esta intrinsicamente ligada ao conceito de troca de informação instantânea, donde um evento físico é testemunhado (comunicado) para todos os referenciais ao mesmo tempo, baseando-se na hipótese de tempo absoluto de Newton, assim evitando toda a questão que levantaremos a seguir.

A medida de intervalos de tempo é que dá a base da simultaneidade dos eventos, e para isso e necessário a sincronização dos relógios nos diferentes referenciais. Para tal sincronia, a luz não poderia ficar de fora em meio a sua invariância de velocidade, permitindo assim uma nova e confiável estruturação.

Einstein com suas próprias palavras disse:

Todos os nossos julgamentos com respeito ao tempo são sempre julgamentos de eventos simultâneos, por exemplo, quando se diz “O trem chega aqui às 7 horas”, isto significa: “ A chegada do trem e a observação de que os ponteiros do relógio marcam 7 horas são eventos simultâneos. ” (NUSSENZVEIG, 2013, p.183)

Mas como podemos saber que dois eventos que ocorrem em lugares distantes tais como x_1 e x_2 são simultâneos? Partiremos do pressuposto de que a velocidade de propagação da informação seja c , e não mais infinito, como o modelo antigo que vem sendo derrubado pelos novos fatos.

Podemos então dizer que quando cada evento coincide com a leitura t_1 em x_1 e t_2 em x_2 sendo que t_1 é igual a t_2 , é evidente o requisito de que os dois relógios estejam sincronizados devidamente! Esse devidamente pode ser estruturado da seguinte forma; imagine um sinal sendo enviado de x_1 para x_2 , se c é a velocidade do sinal e o tempo de envio do sinal de t_1 ser igual a t_0 , basta que o relógio em t_2 no momento da recepção seja ajustado para $t_2 = t_1 + \frac{l}{v}$, onde l é a distância percorrida pelo sinal.

Vamos exemplificar a situação para melhor compreensão. Você lembra da USS Enterprise, pois é, ela está voltando daquela viagem turbulenta onde verificamos a velocidade

de propagação das ondas, com seu motor todo danificado sendo preciso fazer um pouso a moda antiga na pista de decolagem.

Veja na figura 7 o esquema e observe que a um astronauta perto da pista olhando o movimento da nave. Com isso distribuiremos nossos dois sistemas de referências inercial, sendo S o sistema do astronauta, e S' você dentro da USS em movimento retilíneo uniforme, escolhemos também que em um dado tempo $t = t' = 0$ as origens dos sistemas se coincidem.

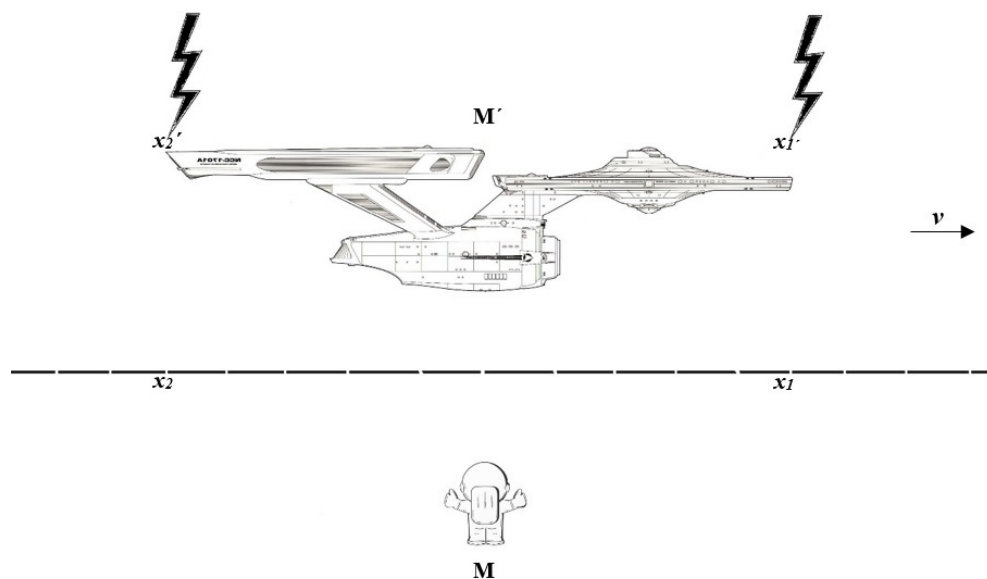


Figura 7: Simultaneidade de um evento.

Suponhamos agora que os dois eventos decorrentes para análise são os dois relâmpagos x_1' e x_2' que caem nas duas extremidades da USS Enterprise. O referencial S' se desloca com uma dada velocidade v , em relação ao astronauta (referencial S), e cada um dos relâmpagos gera um sinal de luz com velocidade invariante c ; se o evento da queda dos dois relâmpagos for simultâneo em S, concordamos que as ondas luminosas se encontraram no ponto médio M do astronauta, certo? Porém esse não é o ponto médio M' da nave, devido a M' estar se deslocando com velocidade v no sentido de x_1 , assim recebendo o sinal de x_1 , primeiro que o de x_2 .

Com a mecânica newtoniana já sabíamos que a diferença na posição entre dois referenciais em movimento era relativa aos referenciais, entretanto quando se tratava do instante de eventos distantes e sua simultaneidade era dada a relação de que $t' = t$. Essa suposição somente seria concreta se o sinal da propagação de informação fosse instantâneo, o que não é.

Em resultado da não simultaneidade esperada classicamente, cada referencial possui seu próprio tempo, devendo-se concluir que o espaço e o tempo estão intimamente ligados, e a alteração sobre um deles influencia diretamente sobre o outro.

Fica perceptível a incoerência das transformadas de Galileu, que necessariamente deveriam ser corrigidas para dar sustentação a substituição das quatro coordenadas de um evento (x,y,z,t) .

3.4 As Transformações de Lorentz

Um físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), buscava uma estrutura consistente entre os fenômenos elétricos, magnéticos e luminosos; como inicialmente relatamos, ele defendia a condição de existência do éter em suas teorias, as quais explicavam inúmeros fenômenos.

Em 1887, levou muito a sério os resultados encontrados sobre a constante velocidade da luz c de Michelson e Morley, o qual o fez mais tarde abandonar a hipótese do éter devido a negativa dos resultados experimentais e verificações.

Outro físico FitzGerald propõe uma teoria que tenta explicar a uniformidade da velocidade da luz, relacionando uma contração no tamanho dos corpos por meio da força intermolecular de possível origem elétrica e seu movimento através do éter, assim resultando na alteração das medidas de velocidade, mediante a própria contração do equipamento pelo seu movimento relativo; contudo, mesmo não seguindo exatamente esse esquema teórico e antes de abandonar seus ideais, Lorentz faz uma tentativa de superar as dificuldades impostas, e propõem uma teoria similar, porém carregada da analogia de contração dos campos eletrostático. Com maiores detalhes sugeriu as mesmas hipóteses, mas assegurando a impossibilidade de encontrar o éter, e acrescentando haver a mudança no *tempo local* registrado pelos relógios utilizados no experimento.

Esses princípios introduzidos por Lorentz, demonstram a *covariância total* entre certas equações físicas, ou seja, é possível alterar as coordenadas de um sistema específico sem alterar suas propriedades inerentes.

Essa ideia pode ser abrangida ao conceito de que todas as leis da Física tomam a mesma forma em qualquer tipo de referencial inercial adotado, e foram apresentadas em 1904, descrevendo o efeito de *diminuição do comprimento e dilatação do tempo* para objetos que se movem a velocidades próximas à da luz.

[...] O indubitável resultado dos experimentos de Michelson podia ser visto como fonte de uma base experimental para a compreensão da teoria da relatividade que, por outro lado, parecia contrária ao próprio senso comum; a teoria da relatividade, por sua vez, podia fornecer uma explicação do resultado experimental de Michelson de forma não artificial ou ad-hoc, como parecia ser baseada na suposta contração de Lorentz-FitzGerald. Isto provou ser um casamento de longa duração (HOLTON, apud VILLANI, 1981, p. 37)

Sucintamente veremos as novas equações de transformação de Lorentz, as quais mostram como as medidas de tempo e espaço se alteram entre dois referenciais inerciais, pois as medidas de tempo entre dois referenciais em movimento podem ser diferentes como observado no caso da simultaneidade da nossa nave.

O fator de Lorentz matematicamente é descrito como:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

Para sistemas de referências na configuração padrão pode ser apresentada como:

$$\begin{aligned}t' &= \gamma(t - vx/c^2) \\x' &= \gamma(x - vt) \\y' &= y \\z' &= z\end{aligned}$$

Chegamos aqui em um ponto decisivo para Einstein e sua grandiosa obra teórica, onde se faz mão de fatos históricos frutos da importante experiência de Michaelson e Morley, carregando a bagagem sobre os aspectos da simultaneidade levantada por Poincaré, que posteriormente foram seguidas de dois fatores de relevância, a contração do espaço iniciada por FitzGerald e que por fim, Lorentz atribuiu a questão da dilatação temporal ou *tempo próprio*.

Finalizando com a passagem esquemática pelo espelho convergente de Einstein na figura 07, que retrata toda a conversão problemática atribuída ao momento.

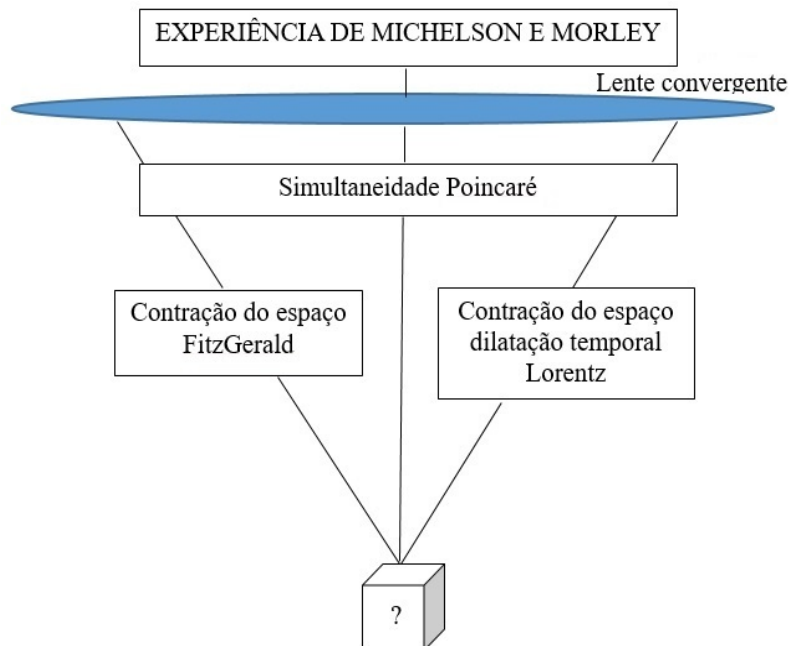


Figura 8: Representa o fluxo teórico problemático que levou a reflexão.

3.5 Conclusão

Visando em nosso caso específico, tratamos a evidente negligência sobre os conceitos pré-relativísticos do século XIX que nortearam as grandes questões precursoras da teoria da relatividade einsteiniana, essencialmente resultando no descarte de grandes contribuições e nomes da história; contudo, o conteúdo foi tratado reflexivamente sobre um olhar investigativo para os conceitos julgados principais, arquitetando uma estrutura por meio da inicial Ciência da antiga Grécia e levado até o momento do renascimento científico no século XVII, o qual estava impregnado de fatores mecanicistas como as ideias de Newton e Galileu, e que acabaram estabelecendo fortes muros teóricos para época.

Seguida e intencionalmente, abordamos o caráter evolutivo sobre a estrutura do éter e da luz, os quais envolvia conceitos necessariamente ligados a relatividade galileana e o eletromagnetismo de Maxwell, principais temas para relatividade de Einstein que se preocupava exclusivamente com as transformações de grandezas físicas entre referenciais inerciais sem atingir princípios básicos de covariância entre as leis já presentes.

CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento desse trabalho foi preciso a percepção de como a época contemporânea é desprovida de conteúdo histórico conceitual das temáticas abordadas em sala de aula, sejam em quais quer níveis de escolaridade, assim descontextualizando o ensino e acarretando em uma grande perda no ponto de vista motivacional.

Sabemos de forma geral que o ensino atual no Brasil passa por grandes dificuldades, sejam elas, financeiras, estruturais, organizacionais, políticas ou culturais, porém não podemos de forma alguma descartar duas outras grandes parcelas decisivas nesse contexto, a primeira sendo do profissional de maior importância do processo educativo, o professor, o qual é responsável pelo completo domínio de sua área de conhecimento e atuação, seja ela qual for, Física, Matemática, Português e etc.... Sendo assim, atribuído de todo o cenário existente é demandado um profissional (professor) de formação sólida para encerrar tais dificuldades, viabilizando flexibilidade aos ajustes necessários para uma aula produtiva e eficiente nesta atualidade conturbada. Em segundo e não menos importante, o material didático e teórico de apoio ao docente está defasado, contribuindo para uma avalanche problemática no processo da educação, iniciada mediante uma desnutrição didática-pedagógica e teórica, resultando na má formação do profissional que em consequência acaba por retribuir involuntariamente com uma aula de baixa qualidade, desinteressante, monótona e por fim ineficiente.

Outro grande fator presente ao déficit literário educativo na Física, é a inadvertência do contexto histórico evolutivo ao conceito contemporâneo, fator que pode nortear peças fundamentais no ganho de produtividade do ensino, como a motivação e contextualização da aula, culminando em inúmeros pontos reflexivos da estrutura teórica a ser abordada, permeando resolução a defasagem do ensino, mediante ao simples alcance das problemáticas envolvidas anteriores a nova teoria, tendo sempre em vista o apoio histórico, físico-matemático mínimo que o docente necessita para uma aula bem estruturada, rica e produtiva para seus discentes.

Finalmente esse trabalho de forma sucinta trouxe a convergência dos principais pontos de reflexão teóricas problemáticas históricos pertinentes ao caráter evolutivo da relatividade de Einstein, os quais não somente preconizaram, mas fundamentaram sua nova teoria.

REFERÊNCIAS:

ARRUDA, S. M. Villani, A, **Sobre as Origens da Relatividade Especial: Relação Entre os Quanta e Relatividade em 1905**, São Paulo Cad.Cat.Ens.Fis., v.13,n1: p.32-47, abr.1996.

BALOLA, Raquel, **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural: A lei de inércia**, Lisboa, tese de Mestrado em Estudos Clássicos, Universidade Nova de Lisboa, 2010.

BRANCO, Maria do Rosário, **A Física de Descartes e a física de Newton: os temas controversos**, Lisboa, tese de doutoramento Filosofia e História da Ciência, Universidade Nova de Lisboa, 1996.

BUTKOV, Eugene . **Física Matemática: Butkov**. 1. ed. Rio de Janeiro: Livraria da Física, 2013. 720 p. v. 1.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A evolução da Física**. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2008. 245 p. v. 1.

Fabris, J.C, Velten, H.E.S, **Cosmologia neo-newtoniana: Um passo intermediário em direção a relatividade geral**, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, Recebido em 29/6/2012; Aceito em 22/8/2012; Publicado em 7/12/2012.

HALL, Alfred Rupert, **Galileo and the Science of Motion, in The British Journal for the History of Science**, vol. 2, n.º 3 (Jun.), 1965, pp. 185-199, p. 192.

HUYGENS, C. **Tratado sobre a luz**. Caderno de História e Filosofia da Ciência, suplemento 4, p. 3-99, 1986.

KOYRÉ, A. **Estudios de historia del pensamiento científico**. México: Siglo Veintiuno, 1988.

KOYRÉ, A. **Estudios galilaicos**. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1986. p.22-23.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. **Einstein e a Educação**.1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006. 249 p.v.1.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Ótica Relatividade Física Quântica**. 10. ed. São Paulo: Blucher, 1998. 427 p. v. 4.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2013. 389 p. v. 1.

PRASS, Alberto Ricardo. **O Teoria Geral da Relatividade**. Disponível em: <<http://www.Física.net.com>>. Acesso em: 18 out. 2016.

PINHEIRO, Guilherme, Bastos, **A Construção da Relatividade Especial e da Relatividade Geral e suas Validações Experimentais**, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Católica de Brasília, 2008.

Porto, C.M, **A Física de Aristóteles: Uma construção ingênua**, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Recebido em 15/7/2009; aceito em 29/7/2009; Publicado em 18/2/2010.

SILVA, Rui M. M. **Experiências históricas para a determinação da velocidade da luz**. Tese de Mestrado.

RENN, Jürgen, **A Física Clássica de Cabeça para Baixo: Como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial**, Berlin, Alemanha, Instituto Max Planck para a História da Ciência, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, (2004).

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein**. Rio de Janeiro: Zahar, 1994.

STIX, Gary. **Tempo Real**. *Scientific American*, [S.l.], v. 1, n. 5, p. 50-53, out. 2002.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para Cientistas e Engenheiros: Eletricidade e Magnetismo, óptica**. 6. ed. Rio de Janeiro: Gênio, 2012. 527 p. v. 2.

VILLANI, A. **O confronto Einstein-Lorentz e suas interpretações. Parte 1: A revolução einsteiniana**. Revista de Ensino de Física, v. 3, n. 1, p. 31- 45, 19.