

Uniuibe

Licenciatura em Física

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

Guanhães, M.G.

2021

Wilson Ancelmo

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

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
Uniube Universidade de Uberaba,
como requisito para obtenção de graduação/
Licenciatura em Física.

Guanhães-M.g.
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e segundo dedico esse trabalho a minha esposa e companheira eterna, 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 aos meus filhos, minha família, e a todos que de alguma forma me apoiou e torceu pela minha conquista, obrigado a todos.

Meus Pais, senhores não poderia faltar, amo muito vocês obrigado por toda estrutura força e companheirismo que sempre me deu.

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.

Por fim agradeço ao meu orientador Wellington, 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.

Sumário

INTRODUÇÃO	07
LEGADO MECANICISTA	09
2.1 Referencial e Massa Inercial	13
2.2 O Tempo e Espaço Absolutos	16
2.3 Relatividade de Galileu e suas Geradoras	18
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS	24

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.

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.

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 consequentemente 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 substancias, 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 continua, 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 aclive 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 dá 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 imprimitur.*

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.

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' .

(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 2ª lei Newton ($F = ma$) durante a colisão, $F_{12} = -F_{21}$, 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.

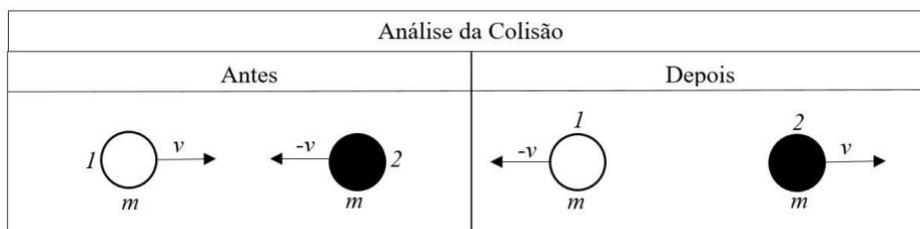


Figura 1: Colisão Inelástica.

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 uma 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 plenitude, 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 em relação

Ao eixo x , coincidindo com a origem do referencial S no instante

Agora mais detalhadamente como se dá essa mudança de forma

Cartesiano com a figura 2 e matemática necessária na sequência.

Do evento.
Veremos
Visual junto de um plano

=0

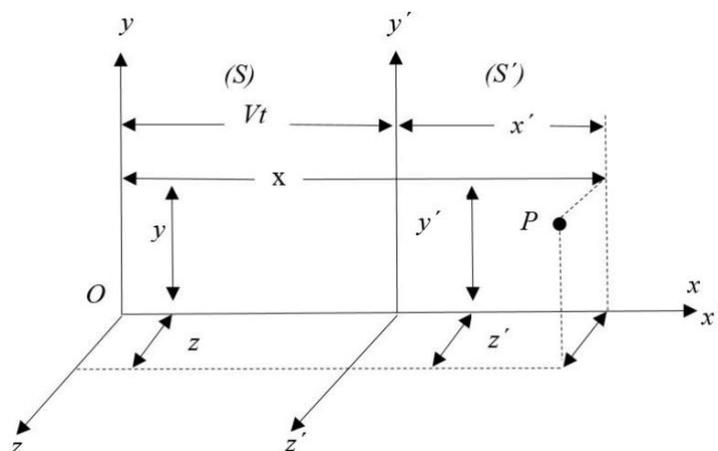


Figura 2: Mudança de Referencial.

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:

$$\begin{aligned} x' &= \gamma(x - vt) \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned} ;$$

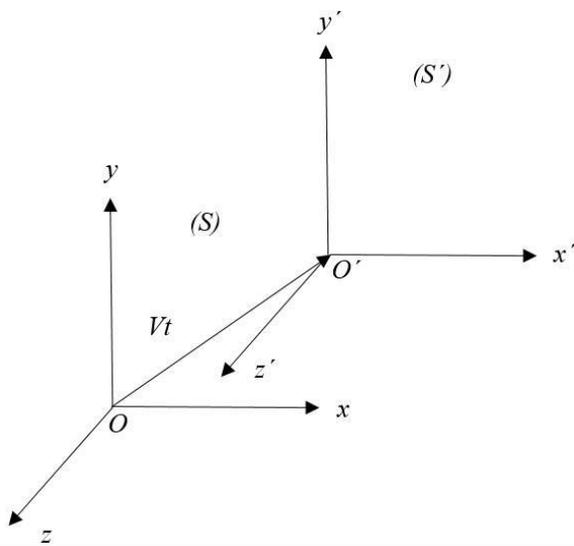


Figura 3: Transformação Generalizada (rotação).

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 é o vetor velocidade de S' em relação a S.

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 cuspidor? Em resposta, dependeria do referencial adotado, para S' seria uma velocidade, enquanto que para S seria a soma da velocidade que o cuspe proporcionou mais a velocidade relativa do ônibus já em movimento uniforme.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o desenvolvimento desse trabalho foi preciso a percepção de como a época contemporânea é despossuída 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 produtividade 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.