CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

OS CONCEITOS DE ESPAÇO E TEMPO NO ENSINO DE FÍSICA: UMA POSSIBILIDADE DE ATUAÇÃO EM SALA DE AULA

Ueslei Vieira dos Reis

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador:

José Claudio de Oliveira Reis

Rio de Janeiro
Abril, 2015

OS CONCEITOS DE ESPAÇO E TEMPO NO ENSINO DE FÍSICA: UMA POSSIBILIDADE DE ATUAÇÃO EM SALA DE AULA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

Ueslei Vieira dos Reis

Aprovado por:

_____
Presidente, Prof. José Claudio de Oliveira Reis, D.Sc. (orientador)

_____
Profª. Andreia Guerra de Moraes, D.Sc.

_____
Prof.ª Marília Paixão Linhares, D.Sc. (UENF)

Rio de Janeiro
Abril, 2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

R375 Reis, Ueslei Vieira dos
Os conceitos de espaço e tempo no ensino de física : uma possibilidade de atuação em sala de aula / Ueslei Vieira dos Reis.— 2015.
xiv, 195f. + apêndices : il. (algumas color.) , tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2015.
Bibliografia : f.190-195
Orientador : José Claudio de Oliveira Reis

1. Física – Estudo e ensino. 2. Ciência – História. 3. Ciência – Filosofia. 4. Espaço e tempo. I. Reis, José Claudio de Oliveira (Orient.). II. Título.

CDD 530.07

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a minha esposa, aos meus pais e ao meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Essa dissertação foi realizada com o apoio direto ou indireto de muitas pessoas. O agradecimento a todas elas não podem ser sintetizadas nessas poucas linhas, mas não posso deixar de citá-las.

Agradecimento primeiramente a Deus, afinal foi ele que permitiu e me deu forças para escrever cada letra desse texto e cada etapa de todo o trabalho.

Agradeço a minha esposa, que me apoiou ao longo desses dois anos e que sempre me encorajou para continuar realizado essa pesquisa e por toda sua paciência e compreensão pelas inúmeras noites que eu passei acordado lendo e escrevendo.

Agradeço aos meus pais por ter me ensinado que não importa os obstáculos que vida nos oferece, o importante é sempre continuar buscando o melhor. Não posso deixar de agradecer também ao meu irmão que ficava escutando eu falar da minha pesquisa por horas e horas.

Não posso deixar de agradecer a diretora Valéria Moraes do Colégio Estadual de Magé que sempre me apoio e deu total liberdade para desenvolver a pesquisa na escola.

Agradeço a todos os meus alunos da turma 1009 de 2014 do Colégio Estadual de Magé, pois foram eles que realizaram todas as atividades propostas e permitiram que essa pesquisa fosse realizada.

Agradeço aos meus professores do mestrado que abriram os meus olhos sobre como realizar uma pesquisa em ensino e de mostrar que era possível ser um professor-pesquisador.

Não posso deixar de agradecer também a todos os meus colegas do mestrado pelos diversos momentos que compartilhamos os nossos momentos de desânimo. Se não fosse por eles, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Agradeço também a todos os autores mencionados nesse texto, pois foi graças a pesquisa e obra deles que esse trabalho ganhou corpo.

Por último eu quero agradecer ao meu orientador, professor, mentor e amigo José Cláudio Reis por ter me mostrado que eu poderia ser mais que um professor, mas ser alguém apaixonado pelo que faz. Foi graças a ele que decidi optar por esse caminho. Sem contar que foi ele que me mostrou que eu podia ensinar Física de uma forma diferente, que eu poderia pesquisar o que faço e que eu poderia ajudar os meus alunos a se tornarem mais informadas sobre o que é a Ciência.

RESUMO

OS CONCEITOS DE ESPAÇO E TEMPO NO ENSINO DE FÍSICA: UMA POSSIBILIDADE DE ATUAÇÃO EM SALA DE AULA

Ueslei Vieira dos Reis

Orientador:

José Claudio de Oliveira Reis, D.Sc.

Resumo da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciência, Tecnologia e Educação.

O presente trabalho busca discutir a importância de abordar histórica e filosoficamente os conceitos de espaço e tempo na educação básica. Para isso, realizou-se uma pesquisa com a finalidade de avaliar a relevância de determinadas estratégias pedagógicas onde discutiu-se a construção da ciência a luz de aspectos da Natureza da Ciência. Após uma vasta pesquisa histórica sobre esses conceitos elegeu-se alguns momentos, que julgamos os mais relevantes dentro da Educação Básica, para serem abordados em sala de aula. Esses momentos foram: 1) Galileu e a geometrização do espaço e tempo; 2) A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto; 3) A Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativo. A luz desse panorama histórico e filosófico construiu-se uma sequência didática que foi implantada e avaliada constantemente com os seguintes itens: contextualização histórica; apresentação/Problematização dos conceitos; realização de atividades; atividade de avaliação. Esse processo permitiu que ao final de um ano letivo tivéssemos um farto material para análise e avaliação.

Palavras-chave:

Ensino de Ciências; História e Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência; Espaço e tempo.

Rio de Janeiro
Abril, 2015

ABSTRACT

THE SPACE AND TIME CONCEPTS IN PHYSICAL EDUCATION: AN ACTION OF THE POSSIBILITY IN THE CLASSROOM

Ueslei Vieira dos Reis

Advisor:

José Cláudio de Oliveira Reis, D.Sc.

Abstract of dissertation submitted to Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação of Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, as part of the requirements for obtaining the title of Master of Science, Technology and Education.

This paper discusses the importance of addressing historical and philosophical concepts of space and time in basic education. For this, we carried out a survey in order to assess the relevance of certain pedagogical strategies which discussed the construction of science to light aspects of Nature of Science. After extensive historical research on these concepts was elected a few moments, we think the most relevant within the Basic Education, to be addressed in the classroom. These moments were: 1) Galileo and the geometrization of space and time; 2) The Mechanics of Newton and the space and absolute time; 3) The Relativity of Einstein and the space and relative time. The light of this historical and philosophical panorama built up a teaching sequence was implemented and constantly evaluated on the following items: historical background; presentation / Curriculum of concepts; performing activities; evaluation activity. This process allowed the end of a school year we had a wealth of material for analysis and evaluation.

Keywords:

Education on Science; History and Philosofy of Science; Nature of Science; Space and Time.

Rio de Janeiro
Abril, 2015

SUMÁRIO

Introdução **1**

Capítulo I – Referencial Teórico **5**

I.1 - A Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências 5

I.2 – A História e Filosofia da Ciência no Ensino 9

I.3 – Os conceitos de espaço e de tempo 13

Capítulo II – Metodologia aplicada **17**

II.1 – Metodologia histórica 18

II.2 – Metodologia de pesquisa do processo didático 21

Capítulo III – Contextualização histórica **24**

III.1 – Os conceitos de espaço e de tempo na sociedade grega 24

III.2 – Os conceitos de espaço e de tempo da Idade Média 25

III.3 – A geometrização do espaço e do tempo na Renascença 27

III.3.1 – As mudanças na sociedade moderna e o nascimento da Ciência Moderna 27

III.3.2 - A arte e o pensamento matemático sobre o espaço 28

III.3.3 – Uma mudança de estilo de pensamento? O universo Heliocêntrico 33

III.3.4 – A ciência de Galileu Galilei 36

III.3.4 – O Problema da queda dos corpos e a geometrização do tempo 41

III.4 - A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absolutos 47

III.4.1 – Uma breve contextualização histórica 47

III.4.2 – A órbita elíptica: Um problema ainda sem solução 47

III.4.3 – Os princípios de Newton 52

III.4.4 – O espaço e tempo absolutos de Newton 56

III.4.4.1 – O Tempo e espaço newtonianos 56

III.4.4.2 – A Metafísica de Newton em relação ao espaço e tempo 59

III.4.5 – A controvérsia entre Newton e Leibniz 60

III.5 – A Relatividade de Einstein 64

III.5.1 – A Luz e o éter 67

III.5.2 – A Eletrodinâmica dos corpos em movimento 71

III.5.3 – A relatividade da simultaneidade 72
III.5.4 – O espaço e o tempo relativos..... 74
III.5.5 – A relação massa-energia 80
III.5.6 – A Relatividade Geral de Einstein..... 81
III.5.7 – Tempo, espaço e gravidade..... 85
III.6 – Construindo uma linha histórica a partir da epistemologia de Ludwik Fleck 86
III.6.1 – O caráter transitório dos conceitos de espaço e de tempo..... 86
Capítulo IV – Pesquisa de aplicação em sala de aula..... 95
IV.1 – Cenário da pesquisa..... 96
IV.3 - O desenvolvimento, a aplicação e a avaliação da sequência didática 96
IV.3.1 – Questionário de sondagem..... 98
IV.3.2 - A geometrização do tempo e do espaço 110
IV.3.3 – Episódio 02: O espaço e o tempo absolutos de Isaac Newton..... 131
IV.3.4 – Episódio 03: A Relatividade de Albert Einstein 158
Capítulo V – Pesquisa final e comentários..... 182
V.1 – Pesquisa Final 182
Considerações Finais 188
Referências Bibliográficas 190
Apêndice..... 196
Apêndice 01 – Questionário de sondagem..... 196
Apêndice 02 – Texto 01 197
Apêndice 03 – Texto 02 199
Apêndice 04 – Texto 03 201
Apêndice 05 – Texto 04 203
Apêndice 06 – Texto 05 205
Apêndice 07 – Fotos 207

LISTA DE FIGURAS

II.1 - A Gênese e desenvolvimento de um fato científico. 19
II.2 - Ciclo de Pesquisa-Ação 23
III.1 - Representação da tavoletta de Filippo Brunelleschi 30
III.2 - Anunciação Ambrogio Lorenzetti (1344) 31
III.3 - A Janela Aberta de Leon Battista Alberti 32
III.4 - Entrada de Jesus em Jerusalém de Duccio de Siena (1308-1308) 33
III.5 – Estrutura do Universo segundo Copérnico 35
III.6 - Crateras Lunares de Galileu Galilei 36
III.7 - Nebulosas 37
III.8 - Luas de Júpiter 37
III.9 - Representação da superfície lunar 38
III.10 - A primeira representação da superfície lunar de Thomas Harriot 39
III.11 - A segunda representação da superfície lunar de Thomas Harriot 40
III.12 - Plano inclinado de Galileu Galilei 42
III.13 - Figura geométrica representando o Teorema de Mérton 43
III.14 - Representação da velocidade e do tempo 44
III.15 - Representação do espaço e do tempo 44
III.16 - Ilustração da intercalação dos cinco sólidos regulares entre as esferas imaginárias dos planetas. 48
III.17 - Representação da primeira e segunda lei de Kepler 49
III.18 - Representação do universo de Descartes 51
III.19 - O balde de Rotação de Newton 58
III.20 - Casa (1889), de Jožef Petkovšek. 65
III.21 - A Catedral de Rouen (1840 - 1862), de Oscar Claude Monet. 65
III.22 - Nascente em Osny (1883), de Paul Gauguin 66
III.23 - Natureza morta e um relógio preto (1869-1871), de Paul Cézanne. 66
III.24 - Representação da Interferência das ondas. 67
III.25 - Representação do vento de éter 69
III.26 - Interferômetro de Michelson e Morley 70
III.27 - Exemplo da relatividade da simultaneidade. 73
III.28 - Exemplo da relatividade de Galileu 75
III.29 - Diagrama da trajetória da luz 76

III.30 - Espaço percorrido pela luz 77
III.31 - Diagrama de Minkowski para a Simultaneidade entre os eventos 80
III.32 - Estilos de pensamentos na segunda metade da Idade Média 87
III.33 - Mutação do estilo de pensamento 88
III.34 - Mutação do estilo de pensamento 90
III.35 - Transição do estilo de pensamento 92
III.36 - Transição do estilo de pensamento 93
III.37 - Transitoriedade dos conceitos de espaço e tempo físico. 94
IV.1 - Ciclo da pesquisa-ação 97
IV.2 - Aula expositiva "contextualização histórica de Galileu Galilei" 116
IV.3 - Aula expositiva: "A queda dos corpos" - parte 01 122
IV.4 - Aula expositiva: " A queda dos corpos" - parte 02 123
IV.5 - Aula expositiva: "Contextualização histórica de Newton" 134
IV.6 - Aula expositiva: "A manutenção do movimento" – parte 01. 139
IV.7 - Aula expositiva: "A manutenção do movimento" - parte 02 140
IV.8 - Representações pictóricas feitas pelos alunos 156
IV.9 - Representações pictórica feita por um aluno 157
IV.10 - Aula expositiva: "Contextualização histórica do séc. XIX" 161
IV.11 - Aula expositiva: "A constância da velocidade da luz" 167

LISTA DE QUADROS

Quadro II. 1 - Representação do ciclo de pesquisa-ação 23
Quadro III. 1 - Lei da Gravitação de Newton 55
Quadro IV.1 - Questionário de sondagem: questão 01 99
Quadro IV.2 - Questionário de sondagem: questão 02 101
Quadro IV. 3 - Questionário de sondagem: questão 03.1 103
Quadro IV. 4 - Questionário de sondagem: questão 03.2 104
Quadro IV. 5 - Questionário de sondagem: questão 04.1 106
Quadro IV.6 - Questionário de sondagem: questão 04.2 109
Quadro IV. 7 - Quadro sinótico 01 111
Quadro IV. 8 – Pergunta: "o que significa o tempo?" 126
Quadro IV. 9 - Pergunta: "o que você entende por tempo geometrizado?" 127
Quadro IV. 10 - Pergunta: "Como Galileu representa o tempo e o espaço?" 128
Quadro IV. 11 - Pergunta: "Representação do espaço e do tempo." 129
Quadro IV. 12 - Quadro sinótico 02 132
Quadro IV. 13 - Questão: "Por que a água forma uma concavidade?" 144
Quadro IV. 14 – Questão 03: “O experimento prova a existência do espaço absoluto?” 148
Quadro IV. 15 – Questão 04: “O conhecimento é uma busca sem fim?” 149
Quadro IV. 16 - Representação do espaço absoluto de Newton 151
Quadro IV. 17 - Espaço e tempo para Newton e Leibniz 154
Quadro IV.18 - Quadro sinótico 03 159
Quadro IV. 19 - Questão: "Você acredita que a Ciência é transitória?" 163
Quadro IV. 20 - Questão: "Contexto histórico de Einstein e a sua ciência." 165
Quadro IV. 21 - Questão: Os conceitos de tempo e espaço não se alteram?" 170
Quadro IV. 22 - Questão: "O que é o espaço e o tempo?" 174
Quadro IV. 23 - Categorias de espaço e de tempo 175
Quadro IV. 24 - Questão: " A Natureza fornece evidências..?" 176
Quadro IV. 25 - A natureza fornece uma única interpretação 177
Quadro IV. 26 - Questão: "O tempo e o espaço são coisas idealizadas?" 177
Quadro IV. 27 - Questão: "Os conceitos de espaço e o tempo podem se alterar?" 178
Quadro IV. 28 - Os conceitos de espaço e de tempo podem se alterar? 179
Quadro IV. 29 - "Por que os cientistas buscam compreender o tempo e o espaço?" . 179

Quadro IV. 30 - Por que os cientistas buscam compreender o tempo e o espaço? 180
Quadro V. 1 - Atividades que os alunos mais gostaram 182
Quadro V. 2 - Atividade que os alunos menos gostaram 183
Quadro V. 3 - Atividade que mais ajudou a compreensão dos alunos 183
Quadro V. 4 - O que os alunos sentiram ao estudar os conceitos abordados. 186

LISTA DE ABREVIATURAS

CM – Currículo Mínimo

HFC – História e Filosofia da Ciência

NdC – Natureza da Ciência

SC – Sistema de Coordenadas

SEEDUC – Secretaria Estadual de Educação do Rio de Janeiro

Introdução

Nos últimos anos a *educação* se tornou o tema central das mais variadas discussões. Isso se deve às mudanças socioeconômicas, políticas e culturais que ocorreram nas sociedades a partir dos anos 1980. Nos anos 2000 essas mudanças acabaram se intensificando graças às novas tecnologias de informação e comunicação, dando origem à *era da informação e comunicação*. Nesse novo cenário, é imprescindível que o professor reveja o seu papel no processo de ensino e aprendizado.

No que diz respeito ao ensino de ciências, a discussão pauta-se principalmente no que deve ser ensinado. Diversos autores têm defendido que a educação científica deve apresentar aos estudantes o processo de produção do conhecimento científico, e não se limitar apenas ao ensinamento de leis e teorias de determinada ciência. Entretanto, o ensino de ciências e, principalmente, o de Física, ainda é realizado apresentando uma ciência como pronta e acabada (BRAGA, GUERRA e REIS, 2008), deixando de lado todo processo que envolve a produção de determinado conhecimento. Além disso, muitas vezes, os professores apresentam as leis e teorias através de formulações matemáticas, tendo como único objetivo a resolução de infindáveis listas de exercícios, não dando margem para que seja discutido os princípios básicos de determinada teoria e toda a visão de mundo a qual ela está inserida.

Ainda como estudante do colegial eu sempre assistia a documentários de científicos e aquilo sempre me fascinava. No entanto, tudo que era apresentado nessas produções não era sequer discutida nas aulas do colégio, e isso me intrigava e angustiava, principalmente porque nessa época estava estudando uma física voltada para a resolução mecânica de exercícios e com um formalismo matemático excessivo. Apesar de gostar de matemática, eu gostaria de ver mais do que aquilo ou como tudo aquilo que, aparentemente não fazia sentido nenhum, foi desenvolvido - ou na linguagem que eu usava, como aquilo foi *descoberto*. Mas, mesmo assim decidi cursar a faculdade de Física.

Como estudante universitário e professor de cursos preparatórios sempre me questionei se esse realmente era o modelo ideal de ensino, tanto que cheguei a pensar em desistir da docência, já que não gostaria de continuar repetindo aquelas mesmas aulas por toda a vida. Além disso, mesmo na graduação de física, pelo menos na fase inicial, não encontrei as respostas que eu tanto queria antes da graduação, e da mesma forma que era no ensino médio, grande parte das aulas possuíam um formalismo matemático exagerado, onde a contextualização - seja histórica, ou social - era completamente deixada de lado. Somente nos últimos períodos do curso que, através

das aulas e orientação de alguns professores das disciplinas de licenciatura, meus horizontes se ampliaram em relação ao ensino de Física. Foi através deles que pude perceber que eu poderia fazer algo diferente, que não precisava estar *preso* a um ensino tradicional sendo obrigado a repeti-lo todo ano. Além disso, eu também poderia ser um pesquisador em minha própria atividade como professor.

Após o término do curso, decidi fazer o mestrado em ensino de ciências para desenvolver as minhas habilidades como professor e pesquisador. Foi aí que eu vi que tudo aquilo que eu sabia sobre física e ciência estava completamente "*errado"* – em uma linguagem atual: *estava completamente desinformado e inadequado*. Já que, como tantos outros professores, ainda possuía uma visão dogmática da ciência, tendo ela como algo pronto e acabada (CARVALHO e GIL-PÉREZ, 2003).

Nesse contexto de pós graduando, percebi que muitos dos questionamentos que eu tinha puderam ser respondidos de uma forma que eu não esperava, contrariando ao que eu achava: a ciência não é uma busca pela verdade, mas sim uma construção realizada por homens, que está sujeita a alterações, que é algo durável e que não pode fornecer respostas completas a todas as perguntas (MACCOMAS e OLSON, 1998). Foi nesse contexto também que lembrei de alguns questionamentos que fazia em meu tempo de estudante colegial e que estavam relacionados a um dos conceitos mais importantes da física, o conceito de tempo.

O conceito de tempo sempre foi algo que me gerou muitas questões, dentre elas, estão a de sua percepção, de sua mensuração e de sua natureza ontológica. Com o início do mestrado, essas questões foram ficando mais claras à medida que lia diversos alguns artigos e livros. Com eles, pude perceber que tal conceito estava presente em diversos contextos históricos e que fazia parte de diversas visões de natureza ao longo da história. Nesse contexto e com o estudo da relatividade de Einstein, percebi que não apenas o tempo, mas que o conceito de espaço também fazia parte da ciência em diversos momentos históricos e que os dois estavam diretamente relacionados.

Ao buscar na literatura especializada sobre o assunto, percebi que existe uma vasta publicação sobre o espaço e o tempo (JAMMER, 2010; MARTINS, 2007; AMARAL, 2003). No entanto, como o próprio André Martins fala em seu livro "*O tempo físico: A construção de um conceito*" (2007), quase não existe nenhum material desses conceitos, principalmente sobre o tempo, voltado para o ensino. Foi então que um novo questionamento veio a minha mente: Como é possível que esses conceitos tão importantes para a física e para a construção de grandes estilos de pensamentos científicos, tais como a mecânica newtoniana e a mecânica relativística, sejam pouco discutidos em sala de aula? Isso me deixou ainda mais intrigado. Além disso, existe um consenso atual de que o ensino de Física, e de ciências em geral, deve se preocupar

um pouco mais em discutir os conceitos básicos de uma ciência e seu processo de construção. Isso para que o estudante possa perceber que tal conhecimento não surgiu sem que houvesse um grande desenrolar nesse processo. Discussões dos conceitos de espaço e tempo e de seus desenvolvimentos históricos permitem que os estudantes vejam elementos da construção do conhecimento científico e toda sua dinâmica.

No modelo atual de ensino de Física, esses conceitos quase nunca são discutidos e, quando são, são apresentados apenas como parâmetros abstratos para a resolução de problemas matemáticos (MARTINS, 2007). Na maioria das vezes, eles são tomados como algo já sabido por todos, mesmo que esse *algo sabido* se resuma ao senso comum de que o tempo e o espaço são apenas coisas que podem ser medidas por um relógio ou por uma régua (SOUZA, ZANETIC e SANTOS, 2011). Ao aprofundarmos um pouco mais nosso estudo sobre esses conceitos e seu processo histórico, percebemos que eles não são coisas tão simples de entender e que tais conceitos estão presentes desde a cosmovisão helenística até os dias atuais, possuindo significados diferentes dentro de cada contexto histórico e social.

Os conceitos de espaço e tempo estão presentes na cosmovisão aristotélica, foram discutidos na Idade Média, principalmente em relação ao estudo do movimento, fazem parte de uma grande controvérsia entre Newton e Leibniz, na qual os dois chegaram a discutir a natureza divina a partir de tais conceitos, além de estarem presentes na ciência contemporânea, seja na relativística seja na quântica. Por esse motivo, a discussão desses conceitos em sala de aula permite que diversas características da ciência e seu processo de construção sejam discutidas, incluindo as controvérsias científicas, os estilos de pensamentos, além do caráter transitório da ciência. No entanto, como existem poucos materiais desses conceitos voltadas para o ensino, fica a pergunta: como discuti-los em sala de aula? Nos próprios livros didáticos, que são as grandes fontes de consulta do professor e dos alunos, quase sempre não existe nenhuma discussão sobre eles. Por esse motivo, esse trabalho pretende desenvolver e aplicar práticas didático-pedagógicas com o intuito de discutir os conceitos de espaço e tempo, seu processo de construção, e a cosmovisão na qual eles estão inseridos, além de discutir a própria Natureza da Ciência em todo esse processo.

Tal processo tem por objeto discutir a ciência e a Natureza da Ciência de diversos ângulos possíveis com os alunos, possuindo a seguinte pergunta de pesquisa: *Quais atividades didático-pedagógicas permitem discutir os conceitos de espaço e tempo através de uma perspectiva histórico-filosófica em uma turma do 1º ano do Ensino Médio?* Com isso, o presente trabalho irá desenvolver práticas didático-pedagógicas e realizar um processo de intervenção em uma sala de aula, a fim de identificar os pontos

positivos e negativos de tais atividades além de indicar quais foram as impressões dos alunos ao serem submetidos a esse processo.

Nos capítulos seguintes faremos uma breve revisão teórica sobre a Natureza da Ciência, a História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências e algumas discussões sobre os conceitos de espaço e tempo no ensino de Física. Em seguida, apresentaremos a nossa metodologia tanto para realizar um percurso histórico sobre os conceitos de espaço e tempo, quanto a metodologia utilizada no desenvolvimento e aplicação das atividades didático-pedagógico. No capitulo posterior faremos um percurso histórico em busca do desenvolvimento científico em diferentes momentos e como os conceitos de espaço e tempo estavam inseridos ou foram desenvolvidos nesses contextos. Por último mostraremos as atividades que foram desenvolvidas e aplicadas em sala de aula ao longo de três bimestres letivos. Espera-se com isso, que ao final desse trabalho, seja possível identificar quais atividades permitiram discutir os conceitos de espaço e tempo, seus processos de construção, suas relações com os diversos estilos de pensamento e alguns aspectos da Natureza da Ciência, principalmente os relacionados ao caráter transitório da Ciência.

Capítulo I – Referencial Teórico

I.1 - A Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências

Atualmente, diversos autores têm defendido que o ensino da ciência não deve ser resumido apenas aos conteúdos de uma determinada ciência (MARTINS, 2007; FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011; GUERRA, REIS e BRAGA, 2013). É preciso que o ensino permita o desenvolvimento de competências e habilidades referentes as características essenciais da própria ciência e da produção do conhecimento científico, ou como diversos autores tem defendido, é preciso que o ensino faça com que os estudantes reflitam sobre a natureza do empreendimento científico, também chamada de Natureza da Ciência (NdC) (LEDERMAN, 2007; ABD-EL-KHALICK, 2012; MACCOMAS e OLSON, 1998)

Segundo McComas (2005), e defendido neste trabalho, a Natureza da Ciência se trata de uma combinação de diversos elementos sociais da ciência - incluindo a história, a sociologia e a filosofia - com a pesquisa das ciências cognitivas, tais como a psicologia, em uma rica descrição do que é ciência, como ela funciona, como os cientistas operam como um grupo social e como a própria sociedade se relaciona com os esforços científicos.

O termo Natureza da Ciência não é recente. Nos anos 80 ele foi utilizado em um dos capítulos do projeto 2061 dos Estados Unidos. Este documento editado em 1986, mesmo ano da passagem do cometa Halley, visava orientar possíveis caminhos para a alfabetização científica de todos os americanos até a próxima passagem do cometa no ano de 2061 e apontava o ensino de Natureza da Ciência como um desses caminhos (BRAGA, GUERRA e REIS, 2012). O documento editado pela Associação Americana para o Avanço da Ciência (AAAS) trazia em seu primeiro capítulo diversas discussões sobre a NdC centrando-se em três temas principais, que são: As diferentes visões de ciência, as metodologias de investigação científica e, por último, a natureza do empreendimento científico (EUA, 1990).

Tal documento apresentava ainda uma lista de visões consensuais sobre a ciência e a Natureza da Ciência, são elas: O mundo é compreensível; conhecimentos científicos estão sujeitos a alterações; o conhecimento científico é durável; a ciência não pode fornecer respostas completas a todas as perguntas; a ciência exige evidência; a ciência é uma mistura de lógica e imaginação; a ciência explica e prevê fenômenos; a ciência não é autoritária; a ciência é uma atividade social complexa; a ciência é organizada em disciplinas de conteúdo e é realizada em diversas instituições; geralmente há princípios éticos na conduta da ciência; cientistas participam dos assuntos públicos, tanto como especialistas como cidadãos, dentre outros (EUA, 1990).

A partir da publicação do documento proposto pelo projeto 2061, o tema Natureza da Ciência acabou ganhando destaque nas diversas discussões sobre Ensino de Ciências, primeiramente nos Estados Unidos e mais tarde em todo mundo. Atualmente, é um dos temas mais importantes da pesquisa em Ensino de Ciências, chegando a constituir quase como uma nova área de investigação (BRAGA, GUERRA e REIS, 2012). Além disso, é quase consensual a importância de discutir seus aspectos nas aulas de ciência.

Apesar desse consenso, ainda existe uma enorme discussão sobre o que deve ser ensinado, já que nem os próprios filósofos e pensadores da ciência ainda não chegaram a um acordo sobre o que é a própria ciência (CHALMERS, 1997; IRZIK e NOLA, 2011). Refletindo sobre essa conjuntura, algumas questões são colocadas para todos os envolvidos nesse processo: Como os professores poderão realizar discussões sobre a ciência, o que eles deverão ensinar e como avaliar o que está sendo ensinado se nem os próprios pensadores chegaram a um consenso sobre o que é a própria ciência?

Nos últimos anos, diversos trabalhos têm se debruçado sobre essas questões e apontado algumas maneiras de como discutir a Ciência e o processo de produção de conhecimento científico na sala de aula (ABD-EL-KHALICK, 2012; MCCOMAS, 2010; GALILI, 2012; IRZIK e NOLA, 2011; BRAGA, GUERRA e REIS, 2012). No âmbito da educação americana, Norman G. Lederman e Abd-El-Khalick (2000) defendem que ensino de ciência deve levar os estudantes a compreenderem questões relativas a Natureza da Ciência. Já que para os autores a Natureza da Ciência se refere à epistemologia da ciência, tendo esta como uma forma de conhecimento, de valores e crenças inerentes a produção do conhecimento científico (LEDERMAN, 1992; ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000).

Os autores acima mencionados defendem ainda que os estudantes devem compreender o que é comum a todas as ciências, ou seja, compreender os itens apresentados pelo projeto 2061 e por uma listagem de Natureza da Ciência dita consensual. Para eles, o estudante precisa sair do colegial sabendo que: (a) A ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; (b) existem fatores comuns a todas as ciências (normas, pensamento lógico e métodos); (c) a experiência não é o único caminho para o conhecimento; (d) a ciência usa tanto o raciocínio indutivo e teste hipotético-dedutivo; (e) a produção do conhecimento científico é parcialmente baseado em inferência humana, imaginação e criatividade; (f) a ciência é integrada socialmente e culturalmente; e que (g) o conhecimento científico é provisório, durável e de auto-correção, etc. (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000; GUERRA e BRAGA, 2012; MCCOMAS, 2008).

Para Lederman e seus seguidores a lista apresentada anteriormente contém diversas características que, teoricamente, são comuns a todas as ciências e por isso elas devem ser discutidas em sala de aula. Entretendo, como é possível saber se o estudante realmente adquiriu visões informadas sobre a NdC? Nesse contexto, Khalick (2000) apresenta uma proposta de avaliar tais conhecimentos utilizando o VNOS (Visions of Nature Of Science). O VNOS trata-se de um questionário de perguntas abertas – já validado - que apresenta diversas perguntas contextualizadas sobre questões relativas a Natureza da Ciências. Tias questões exigem do aluno que responda o que é um experimento, uma lei ou uma teoria, por exemplo. A partir dessas respostas é possível identificar se o aluno possui ou não uma visão adequada de Natureza da Ciência. O pesquisador ainda apresenta uma proposta de ensino de ciência COM e SOBRE a Natureza da Ciência (ABD-EL-KHALICK, 2012). Sua abordagem utiliza a ideia da realização de experiências de pesquisa que aproximem o estudante de uma autentica prática científica. Com isso, ele irá desenvolver concepções mais informadas da NdC.

Apesar de existir uma defesa muito grande da lista de consenso, principalmente por fazer parte do documento apresentado pelo projeto 2061 (MACCOMAS e OLSON, 1998), nem todos concordam com essa proposta (IRZIK e NOLA, 2011; ALLCHIN, 2011). Do ponto de vista desses "*opositores*" é impossível reunir todos os aspectos das diferentes ciências em uma única lista. Além disso, existe outro fator que não é levado em consideração pela *tal* lista de consenso: o problema da demarcação da ciência. A demarcação consiste em cercas características de uma ciência que diferem de outra, como no caso da astronomia e da cosmologia que são muito diferentes da química, por exemplo, já que elas não são ciências experimentais enquanto que a química é (IRZIK e NOLA, 2011).

Por esses e outros motivos, começou a surgir diversas propostas diferentes da lista de consenso. Um dos principais críticos é Douglas Allchin (2011) que apresenta a proposta de utilizar um ensino com uma abordagem *whole science*[1]. Para ele, o ensino de Natureza da Ciência não deve ser algo declarativo, mas sim funcional. Ou seja, o ensino de ciências deve possuir uma perspectiva analítica, cultural e histórica. Assim, o professor poderá desenvolver um curso para mostrar aos alunos uma verdadeira prática científica focada principalmente na tomada de decisões. Para Allchin, a lista de consenso é muito restrita e não é sabendo responder a questionários como o VNOS que o aluno será capaz de responder e se posicionar criticamente diante de questões como o exame do câncer de mama, o aquecimento global, etc.

[1]Whole Science é uma espécie de ciência integral, ou seja, se trata da verdadeira prática científica.

Ainda fazendo uma crítica a lista de consenso existe o trabalho de Irzik e Nola (2012) que apresenta uma abordagem chamada Family Ressemble[2], sendo esta uma alternativa a lista de consenso. Para ele, a lista de consenso, proposta por Lederman e defendida por Khalick, tem diversas falhas, principalmente os relacionados a demarcação da ciência e por apresentar uma NdC como sendo fixa e atemporal. Por esse motivo, ele utiliza uma proposta de *semelhança de família* por ser mais abrangente e sistemática e que de certa forma acaba resolvendo o problema da demarcação da ciência e da imutabilidade do próprio conceito de Natureza da Ciência.

Existem ainda autores que apresentam uma proposta de ensinar ou discutir a Natureza da Ciência utilizando exemplos históricos, tais como McComas (2008) e Galili (2011). McComas (2008) propõe algumas ideias a serem discutidas com os estudantes, dentre eles que a ciência e a tecnologia exercem influência uma na outra, mas não são a mesma coisa, que a ciência e seus métodos não podem responder todas as questões propostas, que a produção do conhecimento na ciência compartilha modos de pensar, normas, raciocínio lógico e métodos (por exemplo observação e coleta de dados cuidadosos, veracidade no relato), dentre outros.

Já Igal Galili (2011), que está inserido no cenário europeu, defende que a ciência acadêmica é um tipo de cultura e, como em toda cultura, existem tradições, normas, valores, crenças, expectativas e convenções que são compartilhadas e transmitidas pelos membros do grupo. Em seus trabalhos, o pesquisador apresenta uma proposta de ensino utilizando um percurso (ou narrativa) histórico sobre os conceitos científicos visando não apenas discutir as leis e teorias, mas também a Natureza da Ciência - ou cultura científica - em sala de aula. Para ele, o ensino deve promover o conteúdo de conhecimento cultural da ciência. Com isso, é preciso desenvolver um formato de ensino que realize um percurso histórico sobre o desenvolvimento de determinado conceito sem deixar de considerar o conhecimento cultural da ciência – ou a Natureza da Ciência.

Como não existe um consenso sobre o que é a Natureza da Ciência ou sobre a forma que a Natureza da Ciência pode ser discutida nas aulas de ciência, no escopo desse trabalho utilizaremos o que há de melhor, ao nosso ver, em toda essa discussão sobre a Natureza da Ciência. Além disso, utilizaremos a História e Filosofia da Ciência, através de um percurso histórico, para discutir o desenvolvimento dos conceitos de espaço e tempo, sempre buscando refletir sobre como utilizaremos tal discussão no desenvolvimento e aplicação de atividade didático-pedagógicas em aulas de Física para o Ensino Médio.

[2]A Family Ressemble é mais abrangente e sistemática, além de ser centrada nos aspectos cognitivos da ciência.

I.2 – A História e Filosofia da Ciência no Ensino

Não é recente a defesa do uso de um viés histórico filosófico no ensino de ciências (MARTINS, 1990; MATTHEWS, 1995; GUERRA, FREITAS, *et al.*, 1998). Atualmente, trata-se de uma linha de pesquisa crescente e que conta com diversos pesquisadores, tanto no Brasil (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011), quanto no exterior (MCCOMAS, 2008; GALILI, 2012).

Antes de discutir as potencialidades do uso da História e Filosofia da Ciência no ensino é importante conhecer do que trata esse campo de estudo. De acordo com Lilian Martins (2005) muitos estudiosos vêm tentando definir o que é a História da Ciência (HC). Tentar definir esse campo de estudo é tão difícil quanto definir o que é a própria ciência. No entanto, como a própria autora sugere, é possível fazer algumas afirmações a respeito da História da ciência. A primeira, é que trata-se de um estudo de segundo nível – ou metafísico – já que se refere ao estudo da ciência, que é de primeiro nível. Em segundo lugar, pode-se dizer que a história da ciência é descritiva, mas não pode se limitar apenas a isso, ela deve oferecer explicações e discutir cada contribuição dentro de seu contexto científico.

A história (ou historiografia) da Ciência analisa os episódios históricos da ciência, tomando como ponto de partida documentos, relatos e *"fatos"* da ciência (OLIVEIRA e SILVA, 2012). No entanto, a HC não é História, nem tão pouco Ciência, ela é uma disciplina autônoma, com suas divisões e suas especialidades (SERRES, 1996). Por esse motivo, ela possui uma metodologia própria que difere das duas anteriores, uma vez que é um tipo de estudo diferente (MARTINS, 2001). Fazer um trabalho em história da ciência envolve diversos estudos, tais como: *a metodologia da História da Ciência e da epistemologia; um conhecimento dos conceitos da ciência com a qual se está lidando e; um conhecimento histórico do período que está sendo estudado* (MARTINS, 2005).

Existem diversos enfoques distintos em História da Ciência, mas as duas abordagens mais comuns recebem o nome de *abordagem internalista* e *abordagem externalista*. De acordo com Rilavia Almeira de Oliveira e Ana Paula Bispo de Souza (2012), a abordagem internalista é a história interna da ciência, focando apenas no que se refere ao desenvolvimento dos conceitos da própria ciência, já a abordagem externalista se refere a história da ciência que faz uma contextualização com diversos fatores externos a ciência, ou seja, apresenta uma visão sociológica da época em que determinado conceito foi desenvolvido.

É importante ressaltar que apesar de utilizar documentos e fatos científicos, a análise histórica da ciência está carregada de crenças e filosofias do historiador, já que a leitura que ele faz dos documentos analisados pode ser direcionada pela sua própria

formação (OLIVEIRA e SILVA, 2012). Então, a escolha entre fazer uma história da ciência internalista ou externalista estará de acordo com as crenças do próprio historiador. No entanto, uma história da ciência mais completa envolveria os dois tipos de abordagens (MARTINS, 2005).

Um detalhe importante a ser observado também é que por ser realizada por homens, a historiografia de alguns fatos e contribuições científicas pode conter alguns problemas. O primeiro deles é uma história da ciência totalmente descritiva, contendo datas e informações sem nenhuma relevância para o que está sendo estudado. Outro problema encontrado é a interpretação *whig* da História, que seria estudar o passado com os olhos do presente e com isso, realizando uma História da Ciência anacrônica. O terceiro problema que deve ser evitado pelo historiador da ciência é construção de uma historiografia tendenciosa, seja de forma nacionalista, política ou religiosa (MARTINS, 2005).

Mesmo sabendo que é impossível se isentar completamente para construir uma boa historiografia da ciência, é preciso que o historiador evite o máximo possível cometer esses vícios. É interessante também que ele utilize uma epistemologia que se adeque ao que ele está estudando. Como foi abordado no início desta seção, não existe um consenso sobre o que é ciência, então existem diversas formar de enxergar a ciência e seu processo de construção. Assim fica praticamente impossível fazer uma boa história da ciência sem que haja uma visão epistemológica ou filosófica dessa ciência.

Existem diversas formas de enxergar o processo de construção do conhecimento científico e não é recente a tentativa de diversos filósofos da ciência - tais como Thomas Kuhn, Imre Lakatos, Bruno Latour, Ludwik Fleck, dentre outros – em estruturar a ciência possuindo um posicionamento filosófico (CHALMERS, 1997). Em relação ao ensino de ciências, geralmente a história da ciência não é separada da filosofia, por isso, essa linha é tratada como História e Filosofia da Ciência e não apenas História da Ciência.

A defesa do uso da História e Filosofia no ensino de ciência se deve, principalmente, pela crença de que esse tipo de abordagem possui um grande potencial pedagógico para enfrentar diversos desafios atuais do ensino de ciências, tais como: o foco excessivo em conteúdo pouco significativo e descontextualizado; a apresentação de uma ciência como um produto pronto e inquestionável (GIL-PÉREZ, FERNÁNDEZ, *et al.*, 2001). Diversos pesquisadores da área ainda defendem que o uso da HFC no ensino de ciência pode contribuir para apresentar a ciência como uma construção humana, questionável e falível, cuja construção se baseia em diversos contextos socioculturais, ou seja, a HFC pode favorecer para que seja discutido aspectos relativos

a Natureza da Ciência em sala de aula (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011; MCCOMAS, 2008; MEDINA e BRAGA, 2010).

Thais Forato e colaboradores (2011) apontam que, dentre as diversas abordagens possíveis sobre a ciência, a história e a filosofia da ciência na educação científica vem sendo recomendada como um ótimo recurso para uma formação de qualidade, especialmente quando o principal objetivo seja o processo de ensino/aprendizagem de aspectos referentes a construção da ciência (MARTINS, 2007; MACCOMAS e OLSON, 1998).

Além disso, a História e a Filosofia da Ciência podem auxiliar em quesitos importantes no processo de ensino/aprendizagem, tais como: a compreensão dos alunos de certos conteúdos específicos de uma determinada ciência; levar os professores a compreenderem as dificuldades de aprendizagem dos estudantes.; a "humanização" da ciência; o tratamento interdisciplinar dos conteúdos e a compreensão da natureza do conhecimento científico; auxiliar na fundamentação teórica da Didática das Ciências. Além disso, a HFC tem importância intrínseca como "*herança cultural da humanidade*" (MARTINS, 2010).

Os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e o PCN+ apontam a importância de discutir o processo de produção de conhecimento e a história de determinada ciência:

> *"Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas." (BRASIL, parte III, 2000, p. 24).*

Entretanto, apesar de haver um certo consenso da necessidade da incorporação de elementos histórico-filosóficos no ensino, existem diversos desafios a serem enfrentados para quem pretende utilizar essa abordagem em suas aulas (MARTINS, 2010). Dentre os diversos desafios apontados por professores de ciência, encontram-se: (1) A falta de material didático adequado e a pouca presença desse tipo de conteúdo nos livros existentes; (2) O currículo escolar, voltado para os exames vestibulares e os conteúdos exigidos pelas escolas; (3) O pouco tempo disponível para utilizar essa

abordagem; (4) vencer a resistência dos alunos e da própria escola, apegados ao ensino “tradicional”; (5) A formação dos professores e a falta de preparo dos mesmos; (6) O pouco interesse dos alunos; (7) O planejamento e a execução das aulas em si; a possibilidade da aula ficar “cansativa” ou “monótona”; (8) A falta de interesse ou vontade do professor; (9) O pouco hábito de leitura dos alunos e a dificuldade dos textos; (10) A falta de interdisciplinaridade; (11) Custos dos livros.

André F. P. Martins (2007) comenta que apesar de se tratar apenas de um quadro preliminar das visões dos educadores, esses apontamentos trazem importantes questões para a reflexão daqueles que se interessam por esse tipo de abordagem. O autor ainda ressalta que mesmo sendo quase unânime a importância do uso de HFC, porque não as vemos contempladas nas salas de aula? A resposta, segundo o autor, é simples: porque não é fácil fazer.

Além dessas dificuldades, ainda existe a preocupação que se traduz na presença de concepções filosóficas não informadas ou limitadas em professores (GIL-PÉREZ, FERNÁNDEZ, *et al.*, 2001) e livros didáticos (MONTEIRO e NARDI, 2008). Isso faz com que os diversos educadores utilizem um viés histórico transmitindo uma visão inadequada de ciência e propagando uma concepção puramente empírico-indutivista da construção do conhecimento científico e reforçando ainda mais a ideia de que a ciência é uma produtora de verdades absolutas (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011; LEDERMAN, 2007). Tais educadores, ainda apresentam uma visão de que o tal *método científico* fornece provas irrefutáveis, que a ciência tem resposta para todas as perguntas, que os experimentos compõem o principal caminho rumo ao conhecimento científico, que os modelos científicos representam a realidade, que a ciência é construída sempre por mentes brilhantes e solitárias, que o fazer científico é neutro e imparcial, dentre outros (MACCOMAS e OLSON, 1998). Por esse motivo, é necessário uma forte reflexão sobre como produzir, utilizar ou divulgar uma determinada versão da História da Ciência, já que qualquer narrativa científica possui uma visão de ciência e dos processos de sua construção (FORATO, PIETROCOLA e MARTINS, 2011).

Outro problema encontrado é que apesar de haver várias reflexões teóricas sobre a HFC e a NDC, ainda existem poucos trabalhos que tenham se materializado em intervenções realizadas em sala de aula (OLIVEIRA e SILVA, 2012). Mesmo nesse cenário de poucos materiais interventivos, nos últimos anos houve uma crescente produção de materiais disponibilizados para professores e produtos produzidos pelos próprios professores do ensino básico, tendo como propósito relatar propostas ou tentativas de intervenção em sala de aula.

No que concerne a trabalhos realizados com alunos, Thais Forato (2009) apresenta um curso piloto para ser aplicado em sala de aula pelo professor de ciências.

Na elaboração deste curso, a autora leva em consideração a importância dos conhecimentos sobre a construção da ciência para a formação dos alunos. Além disso, ela também considera que o uso da história da ciência se torna uma estratégia adequada para ensinar os processos da produção do conhecimento científico de forma contextualizada. Entretanto, ela também reconhece as dificuldades para a construção de narrativas históricas adequadas ao ambiente escolar.

No cenário internacional, Igal Galili (2011) apresenta cursos para professores como uma proposta de utilizar um percurso histórico. Para isso, ele apresenta diversas propostas de intervenção visando discutir o processo de produção do conhecimento científico e da *cultura científica,* ou como o autor menciona, *o conhecimento cultural da ciência*. O autor apresenta como exemplo 5 módulos de cursos utilizando a HFC, dentre eles: 1) Compreendendo a Mecânica Clássica: um diálogo com a teoria cartesiana de Movimento; 2) A teoria pré-newtoniana do Movimento; 3) A História da Óptica; 4) A história de peso e a força gravitacional: Casamento e divórcio; 5) A História da *Força* Inercial. Todos esses módulos apresentam uma estrutura contendo: resumo; introdução; a história conceitual do tema proposto; o fundo filosófico, incluindo a natureza da ciência; o público-alvo; a relevância curricular e o benefício didático; as atividades, métodos e meios de comunicação para a aprendizagem; os obstáculos ao ensino e aprendizagem; as competências pedagógicas; Leituras adicionais.

Diante de todos esses trabalhos, chegamos à conclusão de que a História e a Filosofia da Ciência são ótimos caminhos para discutir o processo de produção de conhecimento cientifico, suas evoluções, revoluções, controvérsias, etc. Mas para realizar essa tarefa é necessário superar alguns desafios, tais como: o domínio da metodologia necessária para fazer história da ciência, as dificuldades enfrentadas pelos professores no próprio ambiente escolar, e a própria formação do professor que faz com que ele possua uma visão não informada sobre a ciência. Com esses pontos de vista e utilizando a metodologia proposta por Igal Galili, o presente trabalho pretende desenvolver e aplicar em sala de aula um módulo pedagógico sobre os conceitos de espaço e tempo. Para isso, será realizado um percurso histórico sobre tais conceitos e a contextualização histórico-científico na qual eles estão inseridos.

I.3 – Os conceitos de espaço e de tempo

Os conceitos de espaço e de tempo estão presentes em nosso dia a dia, seja na questão de mensuração (do tempo da partida de um jogo de futebol, da distância entre duas cidades, etc), na literatura, em filmes de ficção científica ou ainda nas artes plásticas. Apesar desses conceitos estarem presentes em nosso cotidiano e de existir

uma vasta literatura sobre eles, ainda não existe muitos trabalhos no âmbito educacional (MARTINS, 2007).

Infelizmente, tais conceitos normalmente são deixados de lado no ensino de ciência, principalmente nas aulas de física, onde eles deveriam ser mais amplamente discutidos já que são essenciais para a construção de diversas leis e teorias da física. Em muitas aulas dessa ciência, tais conceitos são apresentados apenas de forma mecânica, sendo abordados apenas como um parâmetro matemático para a descrição de fenômenos que, em muitos casos, se resume apenas ao movimento. Com isso, o conhecimento que o estudante desenvolve sobre esses conceitos é apenas o das aulas de física (parâmetro matemático) e o do senso comum.

Em relação ao senso comum, estamos habituados a definir o tempo como se fosse apenas uma relação entre passado, presente e futuro, pertencente a uma ordem cronológica, possuindo uma lógico causal de um tempo que simplesmente se sucede, como se sucedem os efeitos às causas, como os antecedentes se encadeiam aos consequentes (AMARAL, 2003), já o espaço normalmente é compreendido como um lugar, como uma posição, ou ainda como *aquilo* que é medido por uma régua, dentre outras características (SOUZA, ZANETIC e SANTOS, 2011).

Desse ponto de vista, aparentemente, os conceitos de espaço e tempo são bem elucidados, triviais e intuitivos. Talvez por esse motivo, quase nunca paramos para refletir sobre o que eles realmente significam ou sobre sua real natureza, se é que podemos dizer que eles realmente possuem uma realidade. Entretanto, se nos permitirmos refletir um pouco mais sobre o tempo e o espaço, diversos questionamentos virão a nossa mente: - Por que o tempo passa mais devagar quando somos crianças e mais rápido quando somos adultos? Se não tivéssemos relógios o tempo deixaria de existir? E o espaço, é apenas uma região em que vivemos? Se não existíssemos, o espaço continuaria existindo? O que há depois do espaço? Ele tem fim, tem limite? Existe alguma relação entre o espaço e o tempo?

A história da ciência mostra que questionamentos como esses desempenharam um grande papel na construção da visão cosmológica do universo. Além disso, a própria história mostra também que diversos estilos de pensamento na Física se construíram tendo como base de alguns conceitos essenciais que deram/dão suporte às leis e teorias. O tempo e o espaço formam essa base que sustenta muitas dessas leis e teorias, já que desempenharam/desempenham esse papel desde o período helênico até os dias atuais (MARTINS e ZANETIC, 2002; JAMMER, 2010).

A busca pelo significado desses conceitos sempre foi permeada por muitas controvérsias, sendo marcada principalmente através de duas teorias diametralmente opostas: Alguns, como no caso de Isaac Newton, defendiam que o tempo e o espaço

são dados objetivos do mundo, e que não se distinguem dos demais objetos da natureza, exceto pelo fato de não serem perceptíveis. Já outros, defendiam que o tempo e o espaço são formas a priori de sensibilidade, ou como defendido por Kant, uma representação que se assenta numa particularidade da consciência humana, ou seja, são formas inatas de experiências, sendo assim, são dados não modificáveis da natureza humana (ELIAS, 1998). Gottfried Leibniz, tinha certa inclinação a esse lado, já que dizia que o espaço e o tempo servem como um sistema de referências para lidar com as coisas “sem entrar em seu modo de existir”.

Ao traçar o percurso histórico desses conceitos, podemos perceber também que eles desempenharam diversos papeis, tanto na física, quanto em outras áreas científicas, culturais e sociais. Diante disso, colocamos o nosso primeiro questionamento nesse trabalho: Se o espaço e o tempo são conceitos que desempenharam um enorme papel na construção do conhecimento científico, se eles são permeados por inúmeras controvérsias, se ele possui importância em outras áreas de conhecimento, por que nós, os professores de Física, continuamos ensinando tais conceitos apenas como parâmetros matemáticos sem fazer maiores discussões sobre eles e sobre e os seus processos de construção?

Paulo Henrique de Souza e colaboradores (2011) defendem que os conceitos de espaço e tempo merecem uma atenção especial, pois fazem parte dos conceitos básicos e essenciais da Física, assim como os conceitos de força, massa, energia, etc. O autor defende ainda que discutir esses conceitos enriquece as aulas e permite problematizar o processo histórico da produção do conhecimento científico, além de diversos aspectos relativos a Natureza da Ciência. Tal processo possibilita ainda que os alunos percebam que se os conceitos de espaço e tempo sofrem uma mutação/evolução ao longo da história outros conceitos e até mesmo a ciência também pode mudar. Dessa forma, eles podem até mesmo compreender que o conhecimento científico se altera ao longo do tempo seja através de um processo evolutivo ou revolucionário, mas não necessariamente de forma progressista.

Mesmo com uma quantidade de trabalhos ainda pequena, na última década algumas obras têm apresentado algumas reflexões sobre a utilização de tais conceitos em sala de aula. André Ferrer Pinto Martins, apresenta diversos trabalhos dedicados à introdução do conceito de tempo em sala de aula. Seus artigos e livros apresentam a historicidade do conceito de tempo (MARTINS, 2007), algumas controvérsias (MARTINS e ZANETIC, 2002) e até mesmo a pesquisas com os perfis epistemológicos dos alunos a partir de suas concepções do tempo (MARTINS e PACCA, 2004).

Maria Beatriz Fagundes (2011) apresenta uma série de possibilidades de discutir o conceito de espaço no ensino de Física através de olhar transdisciplinar partindo da

geografia, das artes plásticas e da literatura. Seu trabalho, além de buscar referências em outras áreas de conhecimento, apresenta as concepções de espaço na Física clássica e na Física moderna e discute o potencial educativo desse tema para explorar as suas diversas dimensões: cognitiva, estética, social, semiótica, dentre outras.

Leonardo Crochik (2013) apresenta uma tese de doutorado apresentando uma aproximação entre a educação científica e suas relações com as artes, valorizando nessas áreas, a sensibilidade, a sensorialidade, a criatividade, a ruptura com o senso comum, a referência à beleza, à lucidez e ao prazer. Para isso, ele utiliza uma dinâmica de jogos teatrais procurando tecer analogias entre as concepções de espaço e tempo físicos, priorizando a noção de relatividade e concepções que podem ser associadas a expressões artísticas, filosóficas e especulativas.

Existem alguns outros trabalhos recentes que apresentam diversas propostas em se discutir os conceitos de espaço e tempo na sala de aula. Neste trabalho utilizaremos a proposta de Igal Galili (2012) – a ser apresentado minunciosamente no capítulo metodológico - para desenvolver uma sequência didático-pedagógica a fim de apresentar o percurso histórico dos conceitos de espaço e de tempo. O módulo também terá como um dos objetivos discutir alguns aspectos relativos a Natureza da Ciência e ao processo de construção do conhecimento científico. Além disso, também pretendemos apresentar a ciência com um tipo de cultura, que ela é uma herança cultural que deve ser transmitida aos estudantes como cidadãos de uma sociedade. Para isso, estaremos desenvolvendo, aplicando e avaliando todas as atividades a fim de responder a nossa questão: *Quais atividades didático-pedagógicas permitem discutir os conceitos de espaço e tempo através de uma perspectiva histórico filosófica em uma turma do 1º ano do Ensino Médio?*

Capítulo II – Metodologia aplicada

Para desenvolver, aplicar e avaliar as atividades devemos realizar algumas considerações. A primeira delas é: Que história dos conceitos de espaço e tempo será apresentada e quais são os objetivos dela? A segunda pergunta é: Como fazer uma transposição didática[3] (CHEVALLARD, 1991) dessa história de uma forma adequada as discussões atuais sobre ensino de ciências e a elementos de Natureza da Ciência? Outro ponto a ser considerado é: como apresentar essa história realizando uma problematização dos conceitos apresentados e do processo de construção do conhecimento científico sem deixar de cumprir o currículo pré-estabelecido? Diante desses questionamentos chegamos a seguintes conclusões:

É impossível apresentar toda a história do desenvolvimento dos conceitos de espaço e tempo, principalmente por eles estarem presentes em diversos contextos históricos, filosóficos e sociais. Por esse motivo, escolhemos realizar uma pesquisa histórica em 4 momentos históricos diferentes: 1) Como o espaço e o tempo era compreendido na sociedade grega, principalmente os conceitos apresentados por Platão e Aristóteles; 2) Os conceitos de espaço e tempo na Idade Média, principalmente os apresentados por Santo Agostinho, Tomás de Aquino e outros escolásticos; 3) O espaço e tempo na Idade Moderna, principalmente os conceitos apresentados por Galileu Galilei, René Descartes, Isaac Newton e Gottfried W. Leibniz; 4) Os conceitos de espaço e tempo apresentados por Einstein no início do século XX.

Um dos objetivos da escolha desse recorte é que através dele será possível realizar algumas reflexões sobre alguns elementos de natureza da ciência, tais como: o conhecimento científico é provisório, durável e de auto-correção (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000); a importância da validação de um conhecimento científico; a ciência não pode responder todas as questões (MCCOMAS, 2008); a ciência é integrada socialmente e culturalmente (ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN, 2000); que a ciência é um tipo de cultura e, por isso, existem tradições, normas, valores, crenças, expectativas e convenções que são compartilhadas e transmitidas pelos membros do grupo (GALILI, 2012).

Além disso, tal recorte foi realizado dessa forma porque pode ser inserido ao currículo estudado na 1ª série do Ensino Médio, já que se trata da série na qual o trabalho será desenvolvido. Como o currículo visa discutir ao longo do ano características da cosmologia grega, a física de Galileu, a Física de Newton e a Relatividade de Einstein, será possível fazer discussões dos conceitos de espaço e

[3] O Termo “Transposição Didática” utilizada nesse trabalho se refere as transformações que irão ocorrer entre o saber desenvolvido pelos cientistas e historiadores e o saber que será ensinado aos estudantes.

tempo e seu percurso histórico, além de discutir com uma perspectiva histórica o currículo em questão. Com isso, centraremos nossos esforços em desenvolver alternativas que visem descontruir dois dos grandes problemas do ensino de ciência atual: o foco excessivo em conteúdo pouco significativo e descontextualizado; a apresentação de uma ciência como um produto pronto e inquestionável (GIL-PÉREZ, FERNÁNDEZ, *et al.*, 2001).

Diante desses questionamentos e possibilidades de atuação faremos uma apresentação da metodologia empregada nas duas etapas desse trabalho. A primeira está relacionada a construção de um percurso histórico dos conceitos de espaço e tempo, sem deixar de observar outros elementos do currículo escolar; a segunda está relacionada com o desenvolvimento, aplicação e avaliação das atividades didático-pedagógicas.

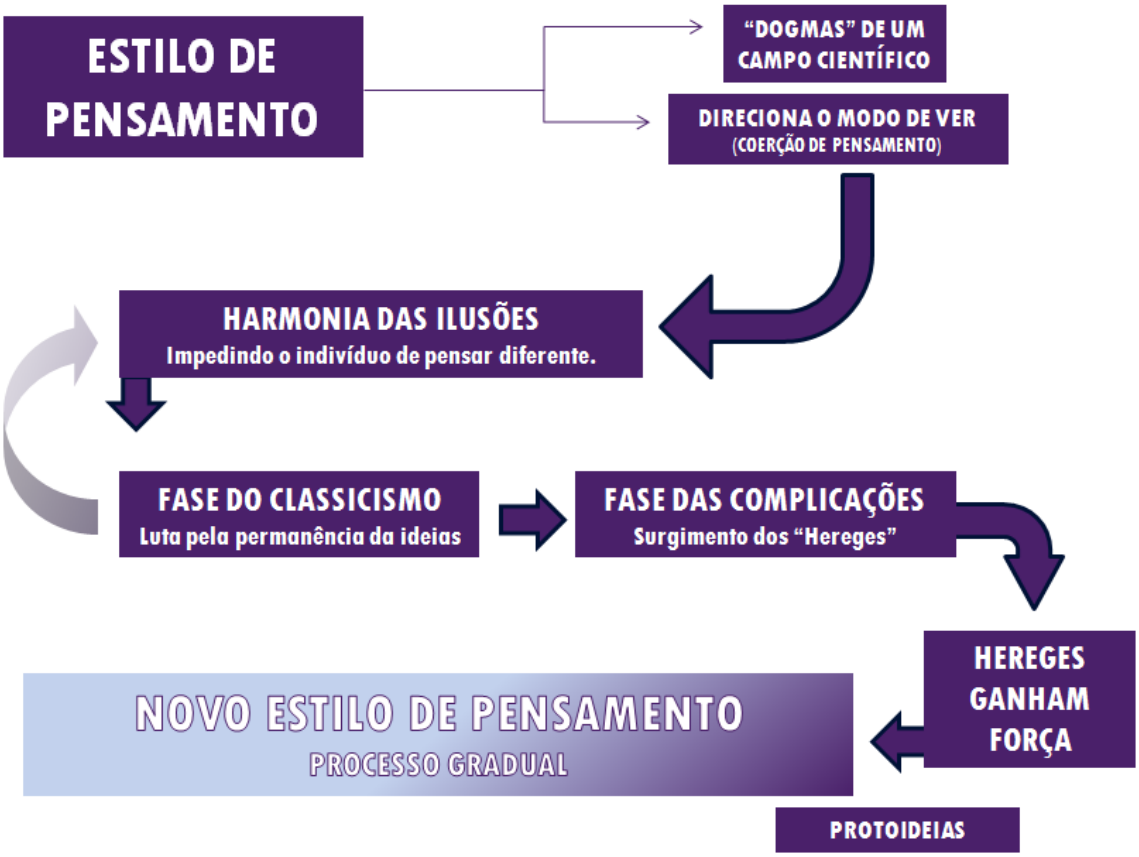
II.1 – Metodologia histórica

Os conceitos de espaço e tempo, assim como outros conceitos das ciências, são frutos de um longo e penoso processo histórico. Por esse motivo, para se chegar a uma conceituação é preciso entender em qual contexto histórico, científico, político, filosófico e social no qual eles estão inseridos. Afinal, a ciência não é algo que se desenvolve de forma isolada, nem tampouco é desenvolvida por gênios que fazem descobertas como se fosse um passe de mágica. Além disso, a ciência é dinâmica e transitória, sendo passível de mudanças ao longo da história. Para compreender tais características presente no desenvolvimento de um conhecimento científico - em particular, os conceitos de espaço e tempo - faremos uso do referencial epistemológico apresentada pelo médico alemão Ludwik Fleck (1896-1961).

Sendo assim, para construir o percurso histórico faremos uma aproximação da epistemologia utilizada por Fleck em "*A Gênese e desenvolvimento de um fato cientifico"* (2010). A escolha desse *olhar direcionado* para a construção histórica do conhecimento científico se deve ao fato do médico apresentar duas características fundamentais em seu trabalho: A rejeição à visão empirista tradicional de fato científico como algo "dado" e de uma verdade universal e; A formulação de uma epistemologia constituída não só pela experiência sensível, mas baseada também na psicologia, na sociologia e na história. Ou seja, duas visões que estão de acordo com as nossas reflexões sobre a construção do conhecimento científico.

Diferente de outras visões epistemológicas, as ideias de Fleck apresentam um desenvolvimento científico que ocorre via "*evolução"* das ideias e não apenas com uma revolução. Por esse motivo, tenderemos então a observar o processo de construção do conhecimento científico observando dois aspectos apresentados por Fleck: o **Estilo de**

Pensamento e o **Pensamento Coletivo**. Tais conceitos são responsáveis por demonstrar as formas pelas quais o conhecimento é modificado historicamente. **O Estilo de pensamento:** (1) corresponde a um direcionamento, uma orientação específica para a investigação; (2) constitui-se dos dogmas de um determinado campo científico, conectando as práticas investigativas destes à tradição correspondente e (3) possui um caráter transitório. **O pensamento coletivo** se trata dos portadores de um estilo de pensamento. Ao apresentar essas duas ideias, Fleck apresenta a forma como o conhecimento se constrói historicamente (CONDÉ, 2005). Tais ideias podem ser sintetizadas no seguinte quadro:



II.1 - A Gênese e desenvolvimento de um fato científico.
Fonte: elaborado pelo autor

Assim, de acordo com as ideias de Fleck, um estilo de pensamento, que se trata do "ver direcionado" de um campo científico, "*impede*" o indivíduo de pensar e observar a natureza de um modo diferente do estilo de pensamento vigente. Assim, todos os fenômenos observados e as construções teóricas dessa época, ou desse grupo, serão desenvolvidas tendo como base esse estilo de pensamento, essa fase é chamada por Fleck de classicismo. Porém, alguns fenômenos ou construções teóricas que não

estarão de acordo com o estilo de pensamento vigente poderão ser desenvolvidas em algum momento, essa é a fase das complicações. As pessoas que pensam diferente do estilo dominante - chamadas de hereges – apresentam novas ideias (as protoideias). Com o tempo, os hereges ganham força e, através de um processo lento e evolutivo, algumas dessas protoideias contribuem para o estabelecimento de um novo estilo de pensamento. Segunda ele, essa transformação temporal dos estilos de pensamento não ocorre por meio de uma ruptura entre teorias antigas e novas, mas uma conexão, sendo esta mediada pelas protoideias (FLECK, 2010).

Outra característica presente na epistemologia de Fleck está relacionada com o caráter de validação de um conhecimento científico. Segundo ele, uma declaração só é considerada "*verdadeira*" quando se apresenta entrelaçada ao estilo de pensamento dominante de uma época ou de um grupo específico, também chamado de coletivo de pensamento. A epistemologia de Ludwik Fleck permite ainda observar como um fato científico é compreendido e/ou explicado por outros grupos, ou seja, outros coletivos de pensamentos (MAIA, 2012).

Os trabalhos do médico alemão ainda mostram como um conhecimento é modificado e compartilhado entre diferentes grupos da sociedade. Apresentando características como círculo esotéricos e exotéricos, além de mostrar como funciona a comunicação científica entre os pares – composto pelo círculo esotérico – e os demais integrantes da sociedade – o círculo exotérico. Além disso, ele também apresenta como um fato científico é simplificado para perpassar entre todas as camadas da sociedade, incluindo: os experts, os especialistas, os técnicos e os demais integrantes da sociedade (CONDÉ, 2005).

Apesar dessa riqueza na epistemologia fleckiana, por questões de limitação de tempo, faremos uso apenas de três características fundamentais: as ideias de estilo de pensamento e seu caráter transitório; as ideias de coletivo de pensamento e; o caráter de validação de um conhecimento científico. Ela também nos permitiria observar como os conceitos de espaço e tempo são compreendidos por outros grupos de conhecimento – outros coletivos de pensamento - tais como a arte, a filosofia e a geografia. No entanto, devido ao mesmo motivo e por questões já tratada na introdução desta seção, tenderemos apenas a observar o percurso histórico de tais conceitos apresentados pela Física (Filosofia Natural) nos momentos citados anteriormente.

Com essa forma de olhar para a construção do conhecimento científico, vamos observar de que forma os conceitos de espaço e tempo estavam presentes na Física em diversos momentos históricos, sob quais estilos de pensamento eles foram construídos, se existiam protoideias, quais eram elas e quais contribuíram com o estabelecimento do novo estilo de pensamento, incluindo a validação desse

conhecimento. Não deixaremos de refletir também sobre outros aspectos importantes relacionados à Natureza da Ciência. Ao final do percurso histórico, será realizado uma síntese traçando o caráter transitório dos conceitos de espaço e tempo. Em seguida, será realizada uma transposição didática (CHEVALLARD, 1991) visando desenvolver, aplicar e avaliar atividades didático-pedagógicas que discutam os conceitos de espaço e tempo com uma perspectiva histórico-filosófica.

II.2 – Metodologia de pesquisa do processo didático

A investigação em ciências sociais, principalmente na área de educação e ensino, difere da pesquisa nas áreas ditas exatas em diversos pontos. O ponto mais importante a ser destacado é que a investigação na área social possui preferência pela abordagem qualitativa à quantitativa. Por esse motivo, é importante conhecer bem a forma que a investigação será conduzida e que servirá de orientação para o investigador, sendo este um estilo de pensamento a ser estabelecido. Tal estilo de pensamento consistirá em "*um conjunto aberto de asserções, conceitos ou proposições logicamente relacionadas e que orientam o pensamento e a investigação"* (BOGDAN e BIKLEN, 1994).

Qualquer tipo de investigação se baseia em uma orientação. A teoria ajuda a dar coerência aos dados e permite que o investigador vá além de um amontoado pouco sistemático e arbitrário de acontecimentos (BOGDAN e BIKLEN, 1999). Existem diversos tipos de investigação qualitativa, dentre elas, investigação qualitativa com Interação Simbólica. Nessa abordagem encontra-se a asserção de que a experiência humana é mediada pela interpretação. Nem os objetos, nem as pessoas, situações ou acontecimentos são todos de significado próprio. Ao invés disso, o significado é atribuído e construídos através das interações. Assim, a interpretação é essencial.

Uma forma de interpretar afirmações dos atores envolvidos com a pesquisa, que nesse caso serão os estudantes, é a chamada Análise de Conteúdo. Segundo Bernard Berelson (1952), a Análise de Conteúdo se trata de "*uma técnica de investigação para a descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto da comunicação*" (BERELSON, 1952) . Além disso, uma análise e intepretação desse tipo pode ser feito de acordo com a metodologia proposta por Roque Moraes (1999). O pesquisador indica a utilização de cinco etapas básicas e essências para a realização da Análise de Conteúdo, são elas: 1 - Preparação das informações; 2 - Unitarização ou transformação do conteúdo em unidades; 3 - Categorização ou classificação das unidades em categorias; 4 - Descrição; 5 - Interpretação. Sendo assim, em grande parte das atividades realizadas pelos alunos, será utilizada uma Análise de Conteúdo segundo Moraes (1999).

Contudo, segundo John W. Creswell (2004) é possível realizar uma convergência e complementaridade entre os estilos de pensamento qualitativo e quantitativo, sem que haja uma certa dominância em qualquer um deles no mesmo processo de investigação. Esse tipo de abordagem é chamado de investigação mista. Pelo fato deste trabalho ser uma pesquisa mais ampla, é suportado uma abordagem de investigação mista. Devido a isso, em alguns momentos esse trabalho fará um misto entre uma análise quantitativa e uma análise qualitativa.

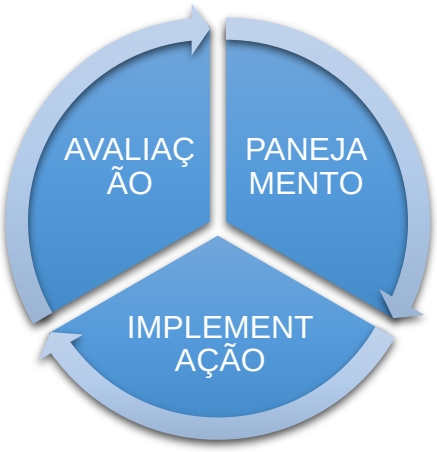
No entanto, tais esforços não serão suficientes para uma análise mais completa do desenvolvimento, da execução e da avaliação do processo como um todo. Além disso, como uma das críticas do presente trabalho é a exaltação da existência de um único "método científico", não podemos seguir cegamente ao "passo-a-passo" de uma única metodologia. Contudo, por se tratar de uma pesquisa que precisa ser validada pelos pares portadores do estilo de pensamento, é preciso que haja um certo rigor na execução dessa obra. Assim, precisamos encontrar uma abordagem que vá além da mera análise de situações. Por esse motivo, faremos uso de uma proposta de pesquisa chamada "pesquisa-ação".

Como o próprio nome já diz, a pesquisa-ação procura relacionar a pesquisa à prática. Ou seja, ela busca desenvolver o conhecimento e a compreensão como parte da prática. Por ser uma pesquisa em que o pesquisador é um participante engajado na realização da ação, ela costuma ser utilizada em situações em que a pessoa da prática pretende melhorar a compreensão da sua própria prática (ENGEL, 2000). Segundo Guido Irineu Engel (2000), a *pesquisa-ação surgiu da necessidade de superar a lacuna entre teoria e prática. Uma das características deste tipo de pesquisa é que através dela se procura intervir na prática de modo inovador já no decorrer do próprio processo de pesquisa e não apenas como possível consequência de uma recomendação na etapa final do projeto*.

Ainda segundo o autor, a pesquisa-ação no ensino tem como objeto de pesquisa as ações humanas em certas situações que são percebidas pelo pesquisador que são passíveis à mudança e que exigem uma reposta prática (ENGEL, 2000). Para David Trip (TRIPP, 2005), a pesquisa-ação trata-se ainda de uma forma de investigação que utiliza outras técnicas de pesquisa que atendem aos critérios comuns das pesquisas acadêmicas a fim de melhorar a prática. Sendo assim, ao mesmo tempo que pesquisa-ação altera o que está sendo pesquisado ela é limitada pelo contexto e pela ética da prática. Ainda segundo Tripp (2005), a pesquisa-ação ainda apresenta dez características que estão entre a prática rotineira e a pesquisa científica, são elas: inovadora, contínua, proativa estrategicamente, participativa, intervencionista,

problematizada, deliberada, documentada, compreendida e disseminada. Ou seja, tal forma de pesquisa dialoga claramente com os objetivos desse trabalho.

A pesquisa-ação pode ser realizada através de um ciclo de que oscila entre o planejamento da prática, a implementação e a avaliação da mesma.



II.2 - Ciclo de Pesquisa-Ação
Fonte: elaborado pelo autor

Cada uma dessas etapa possui ainda um plano de ação que pode ser sintetizada pela tabela apresentada por Tripp (2005):

Quadro II. 1 - Representação do ciclo de pesquisa-ação

	Ação realizada no campo da...	
Sequência da Ação	**Prática**	**Pesquisa**
Planejamento	De uma mudança na prática	Da avaliação de resultados da
Implementação	De mudança na prática	Da produção de dados
Avaliação		a) da mudança da prática e b) do processo de pesquisa-ação

Fonte: elaborado pelo autor

Com isso, neste trabalho estaremos seguindo essa metodologia de investigação. Ou seja, em cada uma das práticas estaremos realizando um planejamento, uma implementação e uma avaliação para apontar os pontos positivos e as indicações de mudanças na prática. Por isso, a cada episódio histórico apresentado estaremos considerando as avaliações realizadas nas atividades implementadas no(s) episódio(s) anterior(es).

Capítulo III – Contextualização histórica

Não se pode datar com precisão as origens dos conceitos de espaço e tempo. Porém, desde o nascimento da civilização humana, o homem realiza questionamentos sobre o meio no qual ele vivia e o seu próprio percurso de vida. Algumas sociedades da antiguidade, tais como a grega, a egípcia, a persa, a babilônica, a judaica e as orientais realizaram afirmações acerca do que hoje compreendemos como espaço e tempo (JAMMER, 2010).

III.1 – Os conceitos de espaço e de tempo na sociedade grega

Desde o surgimento dos primeiros filósofos gregos já havia uma argumentação, de forma indireta, do que hoje chamamos de espaço e tempo. Alguns pitagóricos, como Árquitas de Tarento (428 a.C. – 347 a.C.), fez uma diferenciação entre espaço – aqui tratado como lugar - e matéria, dizendo que o lugar é o que determina o volume dos corpos. Leucipo de Mileto (V a.C. – V a.C.) e Demócrito de Abdera (460 a.C. – 370 a.C), por outro lado, apresentaram o espaço como sendo uma extensão ilimitada, permeada por todos os corpos e a todos permeando.

Apesar dessas concepções, Górgias de Leontini (485 a.C. – 380 a.C.), um sofista da primeira geração, foi um dos primeiros a apresentar uma ideia de que o espaço e a matéria eram coisas diferentes. Por conseguinte, Platão de Atenas (428 a.C. – 348 a.C.) e Aristóteles de Estagira (384 a.C. – 322 a.C.) não se limitaram apenas em falar da existência do espaço, eles tentaram dizer o que era espaço. Platão realizou uma identificação da matéria com o espaço, ou segundo os ensinamentos platônicos posteriores, associou certa tridimensionalidade à matéria. Para Platão, a matéria seria reduzida ao espaço e com isso os elementos apresentariam estruturas espaciais bem definidas. Aristóteles, por outro lado, defendia que o espaço era uma quantidade contínua, a soma de todos os lugares possíveis. Já o lugar (ou posição) seria uma parte do espaço que coincide com os limites do corpo que o ocupa. Aristóteles defendia ainda que o espaço seria algo finito já que, segundo ele, se a própria matéria era finita o espaço também deveria ser (JAMMER, 2010)

Além dessa concepção acerca do espaço, Platão, Aristóteles e tantos outros iniciaram seus pensamentos realizando questionamentos sobre a permanência temporal das coisas. Platão dizia que existe uma classificação do tempo em duas grandes categorias temporais: a primeira, formado por deus e as ideias, seria aquilo que nunca se transforma, ou seja, é aquilo que sempre “é”; A segunda categoria, formada pelas coisas a qual possuímos apenas um conhecimento temporário e imperfeito, se trata das coisas que sempre mudam e nunca “são”. Para Platão, deus estaria fora do

tempo, não tendo passado, presente e nem futuro. Assim, deus seria eterno (MARTINS e PACCA, 2004). Segundo o próprio Platão, o tempo foi criado junto com o universo, como uma imagem móbil da eternidade (MARTINS e ZANETIC, 2002).

Aristóteles, por outro lado, relacionava o tempo ao movimento, afirmando que o tempo é apenas o aspecto numerável do movimento, o número do movimento com respeito ao “antes” e ao “depois” (MARTINS e ZANETIC, 2002). Para ele, não existia tempo se não houvesse movimento, ou seja, o tempo seria uma qualidade do movimento. Entretanto, na cosmologia aristotélica, o movimento pode sofrer variações, cessar, ser uniforme ou não, mas o próprio tempo não varia. O movimento da esfera celeste, por ser regular e eterno – ou seja, por ter sempre existido - seria a medida perfeita desse tempo. Como o movimento dos céus “marca” o tempo, o tempo também marca os demais movimentos, porém, não existe uma dependência recíproca. O tempo aristotélico seria apenas um coadjuvante para descrever os movimentos (MARTINS e ZANETIC, 2002).

Um detalhe que não pode ser deixado de comentar sobre a construção teórica do espaço no período helênico, é que apesar de existir uma geometria desenvolvida através dos postulados de Euclides de Alexandria (300 a.C.) e outros, o espaço não se tornou objeto de pesquisas matemáticas rigorosas. Além disso, apesar das noções de longitude e latitude – um sistema bidimensional - já serem utilizadas como coordenadas esféricas na esfera celeste por Erastóstenes (276 a.C – 194 a.C.), Hiparco (190 a.C – 120 a.C) e Claudio Ptolomeu (90 – 168), o sistema de coordenadas tridimensional para o espaço só se tornou claro no séc. XVII através dos trabalhos de Alberti, Brunelleschi, Descartes, Frans van Schooten, Lahite e Jean Bernoulli. A própria geometria de Euclides, algo que se pautava na infinidade, não se adequava ao espaço finito e anisotrópico de Aristóteles (JAMMER, 2010).

III.2 – Os conceitos de espaço e de tempo da Idade Média

No final do século IV, Agostinho de Hipona (354-430) realizou a primeira tentativa de sintetizar o cristianismo com a visão grega de mundo. Agostinho, que era um seguidor da corrente neoplatônica, se converteu ao cristianismo aos 32 anos de idade e, com isso, introduziu muito do pensamento platônico na Igreja. Partindo de um questionamento sobre o que Deus poderia estar fazendo antes da criação do Universo, chegou a uma conclusão baseada na visão platônica: o tempo passou a existir no momento da criação, pois não faz sentido pensar em “antes” onde não havia tempo. A partir dessa concepção, Agostinho tenta responder o que é o tempo. Segundo ele, o tempo teria como base a atividade da mente e não o movimento dos astros. Assim, o

nosso espírito é o que mediria o tempo, sendo capaz de realizar uma “distinção” em direção ao futuro (através da antecipação) e ao passado (através da memória).

O conceito de tempo, como apresentado por Agostinho, se tornou fonte de inspiração para muitos pensadores desse período e posteriores a ele, porém ao final da Idade Média, começou a existir novas formas de compreender tal categoria. Apesar de ser um período marcado por diversos fatores não podemos deixar de falar de uma forma de produzir conhecimento originado por volta de 1100 nas universidades medievais europeias: a Escolástica. Tendo nascido nas escolas monádicas cristãs, a escolástica foi um estilo de pensamento que perdurou entre o século XII e o século XVI. Entre os seus ideais encontra-se a tentativa de conciliar a fé cristã com um sistema de pensamento racional, especialmente o estilo de pensamento grego. Fortemente pautada na dialética, seus seguidores buscavam ampliar o conhecimento através da inferência e na resolução de contradições. Um desses escolásticos foi Tomás de Aquino (1225-1274), que ao apresentar sua mais famosa obra *Summa Theologica* (1265-1273) buscou conciliar a cosmologia aristotélico-ptolomaica [4]às teses da Igreja (ROSA, 2012).

Assim como Aristóteles, Aquino também associou o tempo ao movimento e defendeu que o “antes” e o “depois” no movimento é o que constitui a sucessão temporal. Ele também defendia a ideia de que existem três tipos de tempo: o dos corpos e dos fenômenos terrestres (uma sucessão com início e fim definidos), a eternidade atemporal (pertencente a Deus, apenas), e o tempo dos anjos, dos corpos celestes e das ideias (com início, mas sem fim) (MARTINS e PACCA, 2004). No entanto, apesar de realizar uma aproximação entre o pensamento aristotélico e a os ensinamentos cristãos, Tomás de Aquino contrariava a ideia aristotélica de que o universo, o movimento e o tempo sempre existiram. Seguindo a mesma linha de pensamento de Agostinho, Aquino defendia que o tempo foi criado junto ao universo quando Deus assim o determinou (MARTINS, 2007). De acordo com as ideias tomísticas, o tempo seria apenas uma qualidade associada ao movimento e aos corpos. Esse pensamento acabou se tornando um estilo de pensamento compartilhado entre muitos integrantes da Igreja e por muitos escolásticos desse período.

Apesar de existir uma defesa em conciliar o pensamento aristotélico aos ensinamentos da Igreja, existiram aqueles que rejeitavam muitos dos pensamentos de Aristóteles, um deles foi Nicole D’Oresme (1320-1382,). Oresme não concorda com as

[4] A cosmologia aristotélico-ptolomaico, adotada pela Igreja na Idade Média através de Tomás de Aquino, defendia que a Terra estava no centro do Universo com todos os demais corpos orbitando ao seu redor. O universo seria dividido em duas regiões bem definidas: o mundo sublunar (composto pelos elementos terra, água, ar e fogo) e o mundo supralunar (composto pelo quinto elemento, o éter). Nesse universo, cada elemento possuía um lugar natural, onde cada corpo ou substância tenderia a se movimentar naturalmente para o seu lugar natural. Tomás de Aquino aproximou esse pensamento ao da Igreja.

ideias aristotélica acerca do conceito de lugar. Para ele, o lugar de um corpo é o espaço que ele ocupa ou ocupou e não algo que circunda os corpos. Ao definir o espaço, ele se afasta da ideia de acidente, porém para ele, o espaço também não é uma substância, não é nada que pode ser representado por um substantivo ou pronome, mas apenas por advérbios como “aqui” e “lá”. Isso significa que o espaço não é absolutamente inexistente, mas não chega a ser ontologicamente absoluto (DISALLE, 2009)

Em relação ao tempo, Oresme também se afasta da ideia aristotélica. Segundo ele, o tempo seria a duração sucessiva das coisas, ou seja, a existência real das coisas e não apenas o número (a medida) do movimento, como defendida por Aristóteles e muitos escolásticos medievais. Petrus Johannis Olivi (1248-1298) e o franciscano Gerardus Odonis (1290-1349) foram outros nomes que ao se oporem ao estilo de pensamento aristotélico também criticaram as ideias de Aristóteles, e defendidas por Tomás de Aquino, em relacionar o tempo ao movimento ao invés de considerar a sua existência a priori (DISALLE, 2009). Esse período da escolástica marcou uma época de transição, algumas protoideias foram apresentadas e que mais tarde acabaria colaborando para que um novo estilo de pensamento fosse estabelecido.

III.3 – A geometrização do espaço e do tempo na Renascença

III.3.1 – As mudanças na sociedade moderna e o nascimento da Ciência Moderna

Ao longo dos séculos XIV, XV, XVI e XVII a Europa sofreu diversas transformações nos mais variados setores da sociedade. Este período, que costuma ser chamado de Renascimento, é marcado pelas várias mudanças em diversas áreas da vida humana assinalando, com isso, o final da Idade Média e início da Idade Moderna. Apesar destas transformações terem sido caracterizadas pela transição do feudalismo para o capitalismo e de ter significado uma mudança de estilo de pensamento em relação as estruturas medievais - algo muito evidenciado na cultura, na economia, na política e na religião, o termo, que sugere uma revalorização das referências culturais da antiguidade grega, é mais comumente empregado para descrever seus efeitos nas artes, na filosofia e, principalmente, nas ciências (HIRST, 2013). Tal processo acabou norteando as mudanças desse período a um ideal humanista e naturalista (HAUSER, 2003).

Nesse contexto, o setor comercial foi um dos que mais alterou o cotidiano europeu, favorecendo principalmente as cidades italianas por possuírem uma ótima localização geográfica. O comércio nesse período possibilitou o retorno das transações financeiras e o reaparecimento da moeda de troca, dando vida às atividades bancárias e propiciando o surgimento de um novo grupo social, os mercadores. Além disso, como a terra deixou de ser a única fonte de riqueza, a nova classe média se tornou

intelectualmente e financeiramente independente. Essa configuração social se tornou um dos pilares do poder e um dos grandes suportes para um novo mercado de arte e cultura (BRAGA, GUERRA e REIS, 2010).

Com o aquecimento do comércio e o surgimento das novas classes sociais, algumas famílias se tornaram grandes banqueiros. A uma dessas famílias pertencia Cosme de Médici (1389-1464), mecenas e herdeiro do Banco Médici[5]. Por ser um homem culto e humanista, formou diversas bibliotecas e ajudou a fundar a Academia Platônica de Florença. Além disso, mandou construir o Palácio Médici e a Basílica de São Lourenço. Os Médicis se tornaram uma das grandes famílias que investiram na arte e na cultura, principalmente em Florença (ROSA, 2012).

A cidade de Florença no século XV é conhecida como o berçário do movimento cultural e artístico, um lugar onde se realizou muitas das diversas obras inovadoras do Renascimento. Foi na Academia Platônica de Florença, por exemplo, que Marsilio Ficino (1437-1499) escreveu a obra "*Theologica Platonica*", um livro que apresenta a dimensão neoplatônica do humanismo italiano. Em seu trabalho, Ficino procurou reviver a Filosofia de Platão, compatibilizando-a com Agostinho, em uma tentativa de substituir o aristotelismo por uma nova síntese religiosa (ROSA, 2012).

Mesmo que essa terceira tentativa de desenvolver uma nova síntese religiosa tenha fracassado, o neoplatonismo acabou deixando sua marca. A versão do platonismo, com algumas das ideias de Pitágoras, vangloriava a concepção de quantidade do Universo, incentivando o uso da abstração matemática para demonstrar verdades essenciais sobre toda a criação (FICINO, 2011). A Ciência de Aristóteles, como entendida pelos escolásticos tomistas e adotada pela Igreja, era dessa forma, no mínimo, questionável (ROSA, 2012). O pensamento humanista dos italianos acabou renovando a ênfase na tradição matemática de Pitágoras e Platão. Com isso, a estrutura numérica do Mundo seria novamente destacada, trazendo uma consequência futura ao desenvolvimento da nova forma de investigação científica nos séculos seguintes (RUSSELL, 2008).

III.3.2 - A arte e o pensamento matemático sobre o espaço

Nesse contexto de transformações que ocorreu em Florença e posteriormente em outras cidades da Itália, o setor artístico acompanhou a dinâmica passando por um processo que mudou o estilo e a forma de fazer arte. Ao longo da Idade Média grande parte das produções artísticas possuía um caráter religioso. A pintura, em especial,

[5] O Banco Médici foi fundado em 1397 por João de Bicci de Medici, pai de Cosmo de Medici. Se tornou uma das principais instituições bancárias da Europa renascentista.

estava a serviço da igreja, abordando cenas retiradas do Antigo e Novo Testamento, além da vida de santos e mártires (JANSON, 1992). As técnicas de pintura se resumiam ao afresco, ao retábulo e ao mosaico, apresentando características tais como: a falta de rigor anatômico; as posições desarticuladas; a deformação e apresentavam cores planas, sem sombreados ou outros efeitos (RAMALHO, 1992). Com o surgimento da visão humanista italiana, um novo movimento artístico surgiu.

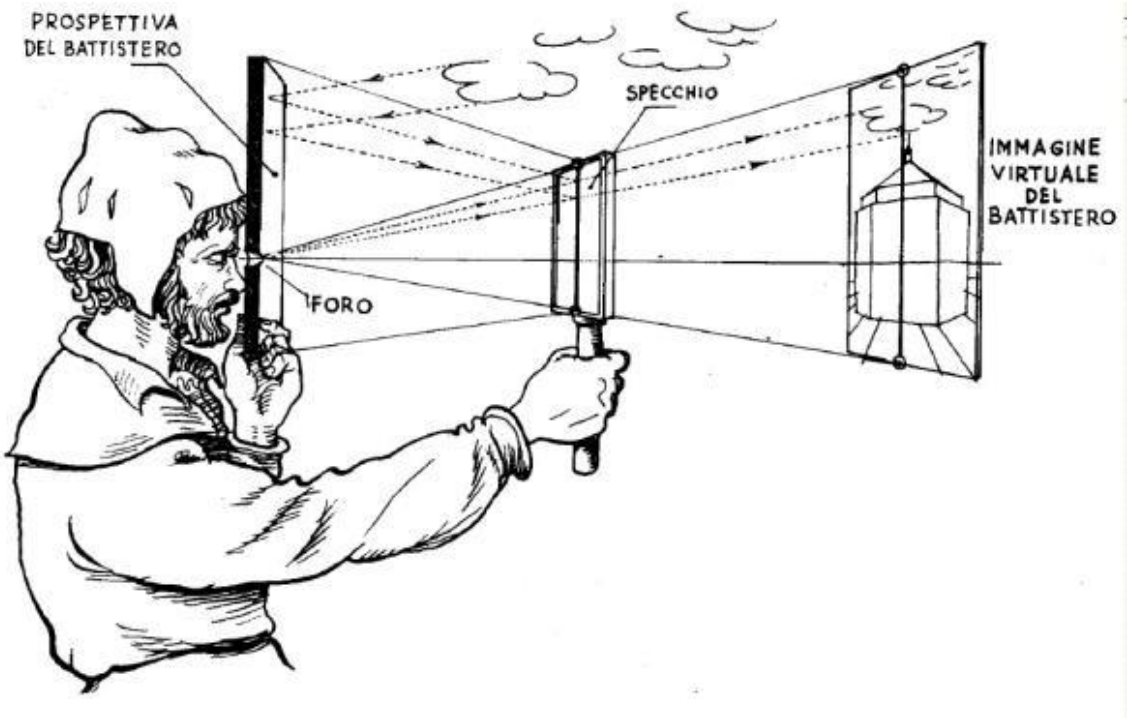
Em meio a essas transformações culturais e artísticas, somos apresentados a Fra Antonino Pierozzi (1389-1459), arcebispo dominicano e que mais tarde veio a ser canonizado como Santo Antonino de Florença. O interessante sobre Antonine é que em muitos de seus sermões ele sempre se referia a uma ciência recém chegada na Itália, uma ciência grega há muito esquecida e que tinha relação com a geometria euclidiana, a Perspectiva (ou Opticks, em grego). A perspectiva se tratava de um estudo de como os raios de luz viajavam em linhas retas e como os olhos recebem, fazendo com que os raios de luz se desdobrem em uma forma piramidal, formando o cone de luz. Essa ciência havia sido "resguardada" e expandida entre os árabes ao longo da Idade Média. Com a reconquista da Espanha e da Sicília, a partir do século XI, os ocidentais voltaram a ter contato com a Perspectiva. No início do século XV, ela se espalhou por diversas universidades da Europa Ocidental, onde muitos pregadores, especialmente Antonino, faziam analogias morais com base nos princípios da Perspectiva (EDGERTON, 2006).

Embora essa ciência não tivesse nada a ver com a pintura ela pode ter despertado o interesse de alguns artistas renascentistas, incluindo Filippo Brunelleschi (1377- 1446), escultor, artista e arquiteto florentino. Além de ter concluído a catedral Santa Maria del Fiore, em Florença, foi um dos pioneiros da técnica da perspectiva na pintura (ROSA, 2012). O sistema de projeção conhecido como *perspectiva artificialis*[6] utilizava o conceito de ponto de fuga, e a relação entre a distância e a redução no tamanho dos objetos, se baseando em uma seção transversal provocada na pirâmide visual pelo plano do quadro. A perspectiva era um meio geométrico que produzia a ilusão da realidade, mostrando os objetos no espaço em suas posições e tamanhos corretos. A perspectiva capta os fatos visuais e os estabiliza, transformando o observador em aquele para o qual o mundo todo converge.

Ao utilizar um espelho para refletir o objeto a qual ele desejava pintar, Brunelleschi desenvolveu novas regras e métodos de pintura aplicando a óptica geométrica sobre a reflexão dos objetos em espelhos (EDGERTON, 2006). Uma das técnicas utilizadas pelo artista, chamada de *tavoletta* (Figura III.1), consistia na utilização

[6] O termo *perspectiva artificialis*, que se tratava da perspectiva linear, era utilizado em oposição ao termo grego *Perspectiva naturalis.* (EDGERTON, 2006)

de dois espelhos, na qual um dos espelhos era furado, permitindo, com isso, a visualização do objeto e da imagem em tamanho reduzido. Através dessa técnica, seria possível visualizar a realidade e a sua representação de forma simultânea, obtendo a fusão das duas (XAVIER, 1998).



III.1 - Representação da tavoletta de Filippo Brunelleschi
Fonte: Lacritica[7]

Não se pode dizer que Brunelleschi foi o primeiro a utilizar a técnica da perspectiva na pintura, já que artistas como Ambrogio Lorenzetti (1290 - 1348) já apresentavam em suas obras o "ponto de fuga" (Figura III.2). Além disso, a ideia de projeção não era nova, o próprio Ptolomeu já utilizava o sistema de projeção cenográfica como um método cartográfico[8]. Um dos grandes méritos de Brunelleschi foi o fato de ter humanizado os elementos que definiam uma projeção central como uma concretização de uma situação espacial que relacionava o observador com o objeto observado visando, com isso, reproduzi-lo no quadro com um absoluto rigor geométrico (EDGERTON, 2006).

[7] Disponível em: http://www.lacritica.net/selfspace/COBA/ComeCdQ_file/image025.jpg

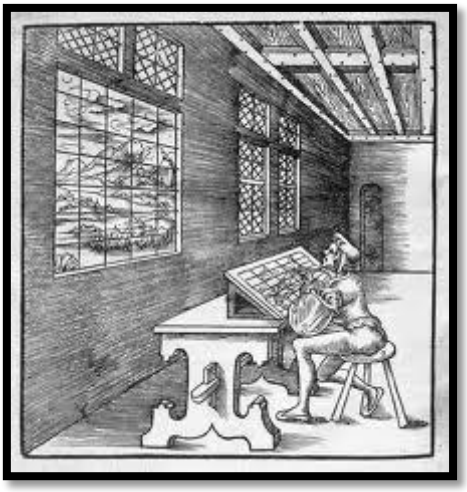
[8] Ptolomeu chegou a descrever, mas não chegou a realizar uma relação com a visão e nem com o sistema de projeção que permite a representação de coisas vistas)



III.2 - Anunciação Ambrogio Lorenzetti (1344)
Fonte: wahooart[9]

Não há dúvidas que Brunelleschi tenha contribuído para o desenvolvimento de um novo estilo de pensamento, principalmente por ter relacionado a óptica com a arte e de ter apresentado uma nova forma de representar o espaço. No entanto, a primeira conexão escrita entre arte e ciência óptica só foi registrado em 1435 através do humanista Leon Battista Alberti (1406-1472). Em seu livro *trattato De Pictura* Alberti apresenta uma codificação do método de Brunelleschi - que a essa altura já era utilizada por muitos artistas renascentistas - formada por passos sequenciais simples (EDGERTON, 2006). Alberti ainda dizia que as coisas são vistas numa "pirâmide visual" composta por raios (extremos, médios e cêntricos) e cujo vértice é o olho do observador. Tentando reforçar a ideia de que a imagem da pintura é uma imagem construída pelo olhar individual, introduz o plano de interseção, dentro do qual se desenharão as superfícies e se projetarão as proporções. Tais proporções são determinadas pelos triângulos dessa pirâmide. Com essa técnica de triangularização, o pintor procura garantir a proporcionalidade matemática entre a superfície real e a superfície projetada (BRANDÃO, 2000).

[9] Disponível em: http://pt.wahooart.com/@@/8XZN72-Ambrogio-Lorenzetti-Anuncia%C3%A7%C3%A3o;. Acesso em abr. 2015

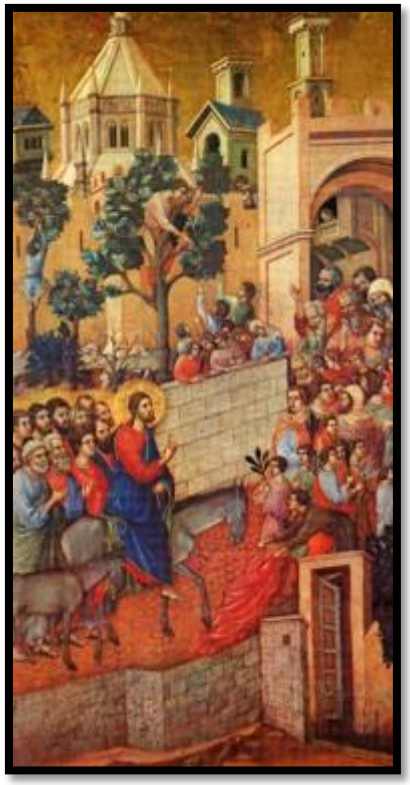


III.3 - A Janela Aberta de Leon Battista Alberti
Fonte: The Detached Gaze[10]

O trabalho de Alberti, utilizando a técnica da perspectiva deu origem a nova arte-ciência. Esse estilo de pensamento iniciado em Florença, e que mais tarde viria a se espalhar por toda a Europa, relacionou a arte com a matemática e apresentou uma base racional e geométrica, algo que se estendeu para a escultura e a arquitetura e que deu início a um processo conhecido como **geometrização do espaço**.

Na arte medieval, o espaço era representado apenas de forma qualitativa carente de dimensões, ou seja, não apresentava aspectos mensuráveis ou algum rigor matemático. A arte bizantina, por exemplo, apresentava um paisagismo arquitetônico que não circunscrevia o espaço, fazendo apenas uma alusão a ele (SANTAELLA, 2001). Algo condizente com a física aristotélico-tomista, em que o espaço topológico e topográfico (isto é, constituído por lugares que determinavam a forma de um fenômeno natural, sua importância, seu sentido) estava dividido em hierarquias de perfeição conforme tais lugares.

[10] Disponível em: https://thedetachedgaze.files.wordpress.com/2014/04/count-johann_window-grid_1531.jpg.; Acesso em: jan. 2015.



III.4 - Entrada de Jesus em Jerusalém de Duccio de Siena (1308-1308)
Fonte: Aula de Arte[11]

A partir dos trabalhos de Bruneleschi, Alberti e de tantos outros artistas desse período, o espaço foi admitido pelas regras da geometria, sendo representado através de retas, círculos e triângulos. Esse processo de geometrização tornou o espaço algo neutro, homogêneo, mensurável, calculável, sem hierarquias, sem valores e sem qualidades, algo típico do novo *ver direcionado* que estava surgindo. Essa nova forma de representar a realidade não teve consequências puramente técnicas ou artísticas. Esse novo olhar, inicialmente na Itália e depois seguido pelo restante da Europa, foi de fundamental importância para observações que passaram a ser feitas a partir daquele momento, incluindo até mesmo as observações astronômicas (BRAGA, GUERRA e REIS, 2010; THUILLIER, 1994).

III.3.3 – Uma mudança de estilo de pensamento? O universo Heliocêntrico

Apesar de Florença ter sido o berçário do pensamento renascentista, a busca por uma nova forma de representar e compreender o Universo, o espaço e o tempo não se limitou a essa região. Esse novo olhar, pautado na geometrização da natureza e na experimentação se estendeu por toda a Itália e, posteriormente, por toda a Europa. A cidade de Pisa, por exemplo, que fora ocupada por Florença ainda no início do século

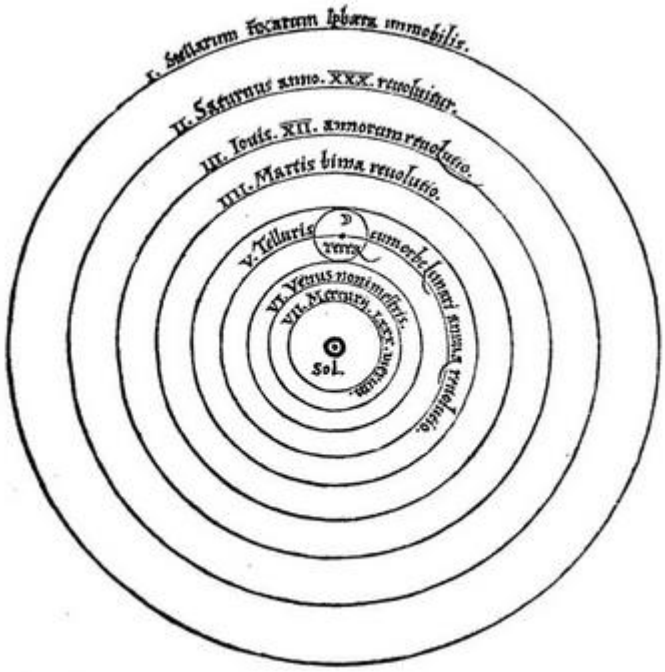
[11] Disponível em: http://www.auladearte.com.br/historia_da_arte/duccio.htm#axzz3bI53IChn;. Acesso em: jan. 2015

XV, se tornou um dos caminhos do pensamento humanista-científico florentino. É nessa cidade que nasce Galileu Galilei (1564-1642), um homem com muitos interesses e que colaborou para o desenvolvimento e divulgação da nova forma de “ver” a natureza. Os estudos de Galileu se estenderam desde a Matemática e a Física até a teologia e a medicina. No entanto, um dos motivos que o que tornou tão conhecido atualmente se deve ao fato dele ter sido por grande parte da vida dele um forte defensor do Sistema Heliocêntrico (BRAGA, GUERRA e REIS, 2010).

A ideia de um sistema planetário na qual a Terra estivesse girando ao redor do Sol não era algo tão recente. Na Grécia antiga, homens como Aristarco de Samos (~270 a.C) chegaram a apresentar argumentos para um sistema heliocêntrico, mas essas ideias acabaram se perdendo da Europa ao longo da Idade Média. Com o resgate dos escritos da antiguidade no início da Renascença, tal pensamento voltou a circular entre os homens da ciência. Um desses homens foi Nicolau Krebs (1401-1464), mais conhecido como Nicolau de Cusa, um clérigo alemão que, além de ter sido um grande crítico ao tomismo escolástico, foi um dos primeiros a referir-se a um método de produzir conhecimento pautado mais na matemática (ROSA, 2012). Para ele, todo o pensamento consistia de uma comparação entre o desconhecido e o conhecido por meio de uma relação que melhor se expressa em proporções (números). Sua cosmologia, relacionada com a Natureza divina, defende que se Deus é a unidade e o infinito ao mesmo tempo, o mundo também deveria ser infinito. Tal afirmação representa muito bem o pensamento que começava a surgir, a ideia de um universo infinito. Sendo assim, se o universo é infinito, não tem fim, ou seja, não existe lugar privilegiado, e tampouco um centro no qual a Terra está imóvel (ROSA, 2012). Apesar das ideias cosmológicas de Nicolau de Cusa não terem repercutido muito em seus pais de origem, esse pensamento começou a circular entre os pensadores renascentistas, incluindo seu homônimo, Nicolau Copérnico (1473-1543).

Nicolau Copérnico foi um dos personagens que marcaram a mudança de estilo de pensamento que ocorreu ao longo da Renascença. O matemático é conhecido pela sua publicação *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543), na qual apresenta a teoria do modelo heliocêntrico, algo que ia contra a cosmologia aristotélica-ptolomaica geocêntrico vigente na época (RABIN, 2010). Não se pode falar que Copérnico foi o primeiro a apresentar modelos contrários ao geocentrismo nesse período. O próprio Cusa, já havia se posicionado contrário a essa ideia. No entanto, diferente de Nicolau de Cusa, Nicolau Copérnico não acreditava na infinitude do Universo. Na Itália, Leonardo da Vinci (1452-1519) também chegou a rejeitar a doutrina oficial do geocentrismo. Girolamo Fracastoro (1478-1553), outro italiano, publicou a obra Homocentrico (1538) apresentando um sistema sem excêntricos e sem epiciclos na qual

os planetas realizariam movimentos circulares em torno de um mesmo centro. Célio Calcagnini (1479-1541) apresentou argumentos filosóficos e teológicos defendendo que a Terra deferia realizar um movimento de rotação, já que este seria o lugar de imperfeição, enquanto que o Céu, deveria ser imóvel devido a sua perfeição (ROSA, 2012).



III.5 – Estrutura do Universo segundo Copérnico
Fonte: Das revoluções das esferas celestes[12]

O trabalho de Copérnico e de outros pensadores desse período não alterou o estilo de pensamento aristotélico de imediato. Afinal, como dito anteriormente, essa foram apenas algumas das muitas protoideias desse período. Além disso, do ponto de vista experimental, o sistema de Copérnico não era melhor do que o de Ptolomeu. Em sua teoria, ele descrevia mais círculos que o modelo ptolomaico. No entanto, a diferença substancial de seu trabalho se deve ao fato dele ter colocado o Sol como centro das esferas celestiais. Além disso, ele também defendia que:

- os movimentos dos astros são uniformes, eternos, circulares ou uma composição de vários círculos (epiciclos); o centro do universo é perto do Sol;
- perto do Sol, em ordem, estão Mercúrio, Vênus, Terra, Lua, Marte, Júpiter, Saturno, e as estrelas fixas (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**);
- a Terra tem três movimentos: rotação diária, volta anual, e inclinação anual de seu eixo;

[12] Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/File:CopernicSystem.png;. Acesso em: Fev. 2015

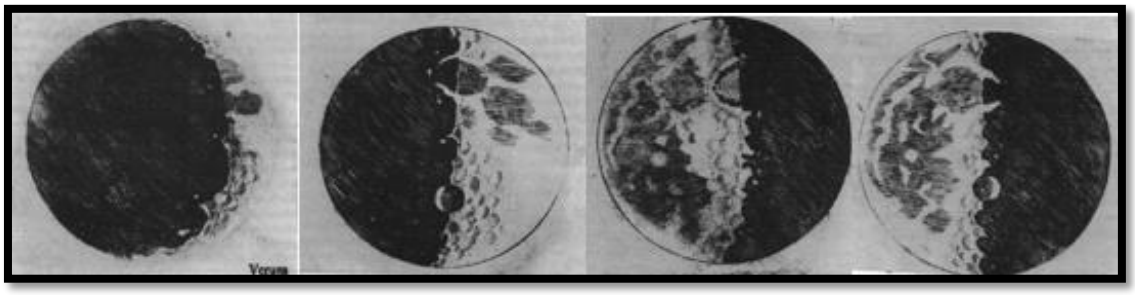
- o movimento retrógrado dos planetas é explicado pelo movimento da Terra; a distância da Terra ao Sol é pequena se comparada à distância às estrelas (RABIN, 2010).

Tais protoideias colaboram para que um novo estilo de pensamento viesse a ser instaurado pelo grupo de filósofos naturais da época.

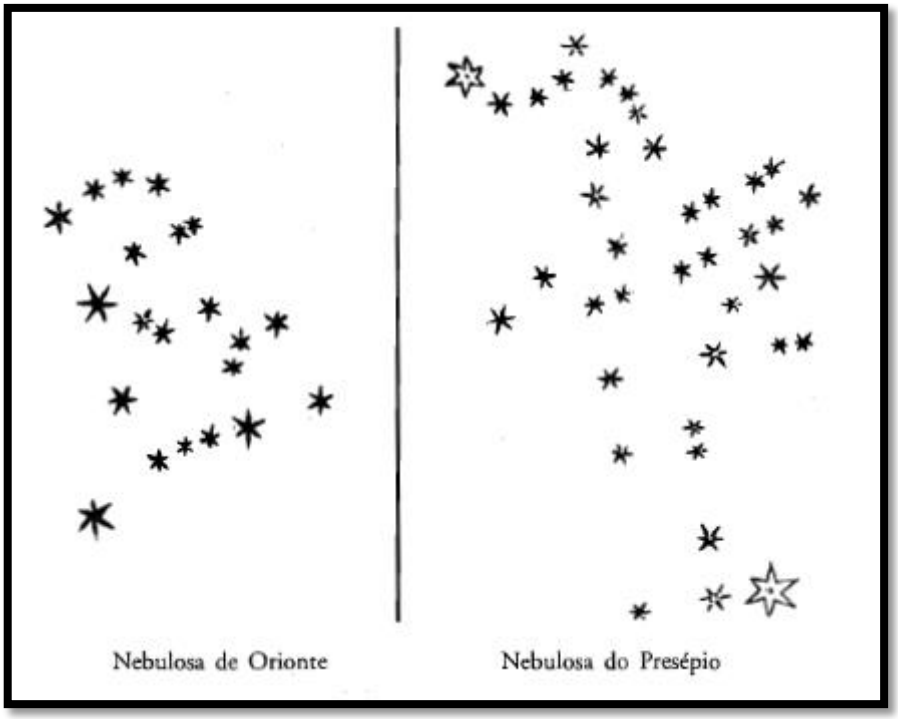
Por defender o modelo planetário copernicano, Galileu se dedicou a construir uma física para um sistema no qual a Terra não necessitasse estar imóvel (BRAGA, GUERRA e REIS, 2010). É nessa tentativa de desenvolver uma física diferente da visão tomista-aristotélica que Galileu realiza diversos trabalhos pautados na experimentação e na matemática, contribuindo ainda mais para a geometrização do espaço e também do tempo.

III.3.4 – A ciência de Galileu Galilei

Em Julho de 1609, ainda como professor de matemática na Universidade de Pádua, Galileu conheceu um instrumento óptico trazido dos países baixos, o telescópio. Em pouco menos de dois meses ele já havia aperfeiçoado o instrumento e construído um muito melhor (GALILEI, 2010). Com o telescópio em mãos, o matemático realizou uma série de observações astronômicas, incluindo: as crateras lunares (Figura III.6 - Crateras Lunares de Galileu Galilei), as luas de Júpiter, além de diversas constelações e nebulosas (Figura III.7).

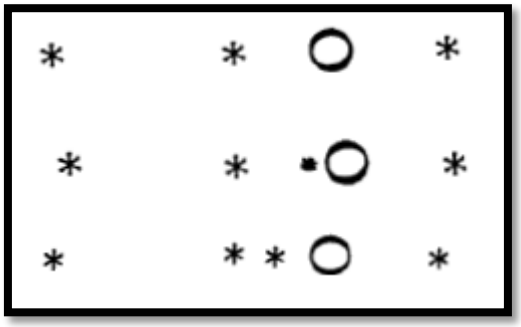


III.6 - Crateras Lunares de Galileu Galilei
Fonte: GALILEI, 2010



III.7 - Nebulosas
Fonte: GALILEI, 2010

Galileu reuniu todas as suas observações em um livro intitulado "*Sidereus Nuncius"* – O Mensageiro Sideral (GALILEI, 2010). Tal obra fez com que o cientista ganhasse fama e adquirisse um posto de matemático e filósofo natural na corte florentina. Galileu, inclusive, chegou a nomear os satélites de júpiter como "Estrelas Mediceias" (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), em homenagem a grande amília Médici, seus principais patrocinadores.

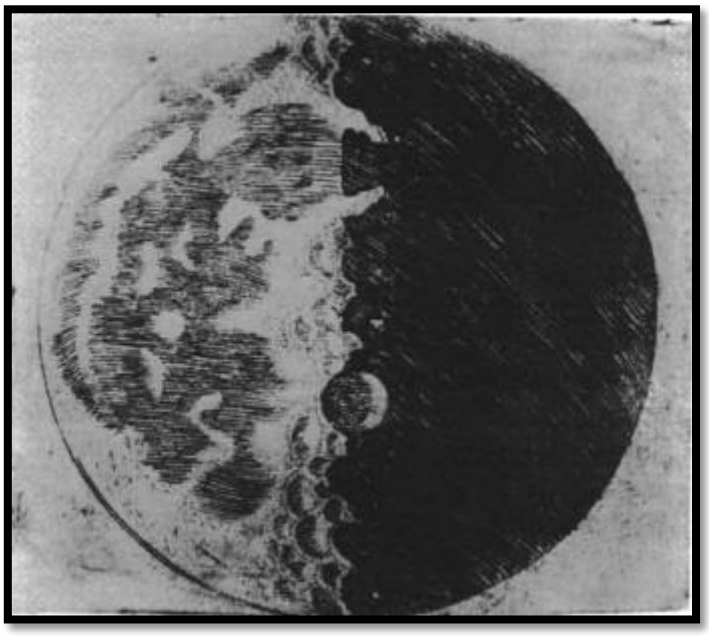


III.8 - Luas de Júpiter
Fonte: GALILEI, 2010

O Mensageiro Sideral não foi importante apenas na vida pessoal de Galileu, mas também na filosofia natural. Afinal, além de ter sido uma obra que mostrou a importância dos instrumentos nas pesquisas científicas, ela se tornou uma obra que claramente defendia o copernicanismo. Além disso, a qualidade literária do livro é algo que também chama a nossa atenção atualmente, já que foi escrito em uma linguagem quase

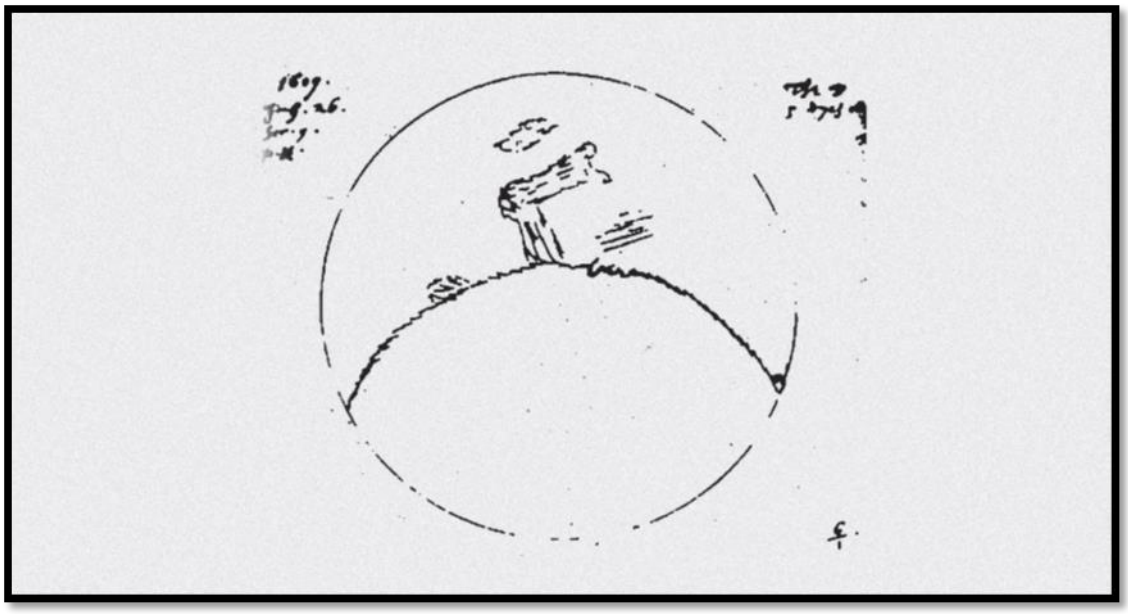
jornalística. Um de seus objetivos era anunciar as novidades e "*descobertas*" realizadas com seu instrumento de observação. O estilo jornalístico adotado por Galileu fez com que sua obra se espalhasse de uma forma muito rápida por grande parte da Europa (LEITÃO, 2010). O trabalho ainda mostrou a importância dos atores sociais no desenvolvimento científico de Galileu, incluindo o mecenato e o contexto artístico na qual ele fazia parte (GALILEI, 2010).

O conhecimento artístico de Galileu foi de grande importância para o sucesso e aceitação de suas obras. Em sua juventude ele aprendeu as técnicas da perspectiva, algo que é notável em suas representações da superfície lunar (**Erro! Fonte de eferência não encontrada.**).



III.9 - Representação da superfície lunar
Fonte: GALILEI, 2010

Nessa mesma época, um algebrista inglês chamado Thomas Harriot (1560-1621), realizou observações muito parecidas com a de Galileu, no entanto não representou superfície lunar com a mesma precisão (**Erro! Fonte de referência não ncontrada.**).

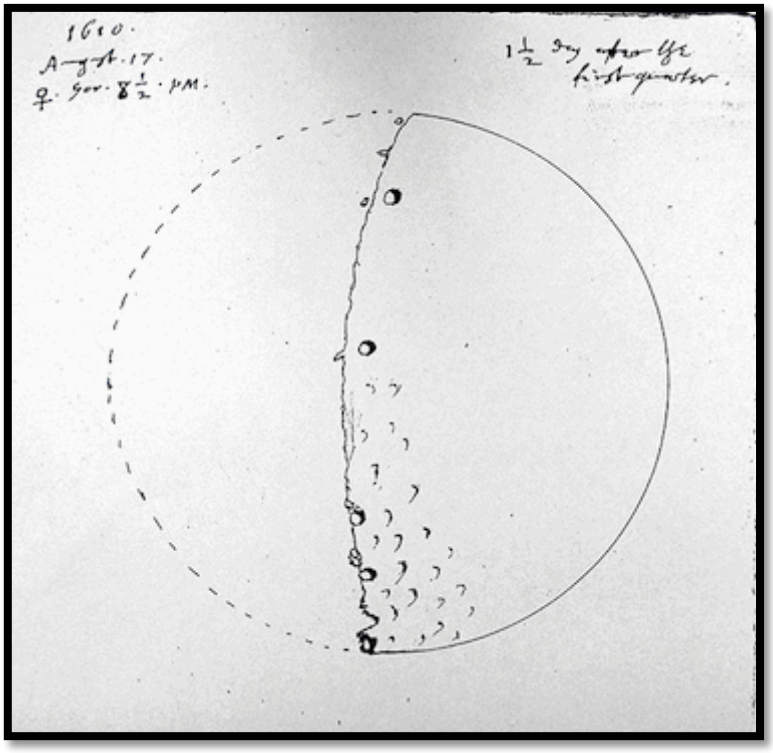


III.10 - A primeira representação da superfície lunar de Thomas Harriot
Fonte: BRAGA, GUERRA e REIS, 2010

É interessante destacar aqui, que tanto Harriot quanto Galileu estavam olhando para a mesma lua. No entanto, apesar de observaram o mesmo objeto os dois apresentaram representações diferentes pois a forma que eles viram a lua foi diferente um do outro. A lua apresentada por Harriot é esférica, com uma superfície lisa e manchada. Enquanto que na Lua de Galileu, a superfície não é lisa e as manchas representam sombras de montanhas ou de crateras (BRAGA, GUERRA e REIS, 2012).

De acordo com Marco Braga e colaboradores (et al, 2012), a observação depende de duas ações: o olhar e o ver. Ou seja, não existe uma observação cega. Ela sempre será realizada através da própria visão de mundo. Galileu estava imerso em uma sociedade que conhecia as técnicas da perspectiva. O olhar dele já percebia a tridimensionalidade de algo que fosse representado em um plano, enquanto que Harriot não.

A questão aqui não é dizer que Galileu era melhor desenhista que o inglês, mas a forma diferente que os dois interpretavam o mundo. De fato, Galileu sabia realizar uma associação entre claros e escuros de uma figura à tridimensionalidade do espaço. Afinal, ele havia estudado as técnicas da perspectiva. Porém, alguns meses depois da publicação do Mensageiro Sideral, Harriot tomou conhecimento da representação de Galileu e, em outro manuscrito, representou a lua da seguinte forma:



III.11 - A segunda representação da superfície lunar de Thomas Harriot
FONTE: BRAGA, GUERRA e REIS, 2010

Aqui é percebido que mesmo que a nova representação de Harriot ainda carecer de uma boa técnica do uso da perspectiva, ela já apresenta uma percepção diferente da anterior. Ou seja, a sua forma de interpretar e representar o mundo passou por uma mudança. Isso mostra que a observação não é feita apenar pelos olhos, mas também através da razão (BRAGA, GUERRA e REIS, 2012). De certa forma, isso mostra ainda como os estudos realizados anteriormente por Brunelleschi e Alberti acabaram contribuindo para a forma como Galileu interpretava e representava o mundo.

Essa representação e geometrização não teve impactos apenas na questão estética apresentada por Galileu, mas também em sua forma de produzir uma nova ciência, contribuindo inclusive para o seu estudo sobre o movimento dos corpos. Além de ter introduzido o conceito de referencial e de ter modelado a queda dos corpos, Galileu se tornou um grande defensor da linguagem matemática na explicação dos fenômenos físicos. Segundo ele, a Matemática (geometria, nesse caso) seria a linguagem com que Deus escreveu o Universo (GUERRA, REIS, *et al.*, 1998). Por esse motivo, acreditava que a geometria seria a melhor forma de obter a "*verdade"*. Em suas obras é observado uma preocupação em apresentar suas ideias com bons argumentos lógicos e utilizando uma linguagem matemática (ou geométrica), características que faziam parte da forma de produzir conhecimento que começava a surgir.

III.3.4 – O Problema da queda dos corpos e a geometrização do tempo

No início do século XVII, a matemática ainda era fortemente pautada na representação de formas através de figuras geométricas. Algo que chegou até mesmo a contribuir para a geometrização do espaço no século anterior. Como fazia parte desse contexto, Galileu utilizou parte desse conhecimento para estudar um dos problemas de sua época: a queda dos corpos. Como visto no início desta seção, a Física Aristotélica, fortemente defendida pelos tomistas, dizia que um corpo cai devido ao seu movimento natural. No entanto, como explicar esse tipo de movimento com uma Terra em movimento, uma das características principais do copernicanismo. Por ser um defensor do sistema heliocêntrico e na tentativa de encontrar uma solução para o problema da queda dos corpos, Galileu dedicou grande parte de sua vida em desenvolver uma Física para um sistema planetário no qual a Terra não necessitasse estar imóvel (GUERRA, REIS, *et al.*, 1998).

Não se pode dizer que Galileu foi o primeiro a desenvolver uma matemática para estudar os movimentos. Afinal, no século XIV, a geometria do movimento — ou cinemática — já havia se estabelecido como um campo de estudo através de homens como Gerard de Bruxelas e Nicole D'Oresme (SAPUNARU, 2012) . No entanto, não resta dúvida que Galileu foi um dos *hereges* que contribuiu para o desenvolvimento de uma física do movimento para o novo sistema planetário. Não cabe aqui levantar toda a controvérsia que ocorreu entre Galileu, a Igreja e os pensadores da época com relação aos sistemas planetários, pois já existe uma longa bibliografia sobre o assunto. No entanto, não se pode deixar de destacar algumas características de seus demais trabalhos, incluindo a sua última obra: "*Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências a respeito da mecânica e dos movimentos locais*", publicado em 1638. Um trabalho que, além de defender o heliocentrismo, apresentou discussões e demonstrações matemáticas sobre o problema da queda dos corpos (GUERRA, REIS, *et al.*, 1998). Para isso, o matemático utilizou bons argumentos geométricos além de diversos experimentos.

Como havia uma grande dificuldade em estudar a queda dos corpos livremente, Galileu acabou fazendo uso de um plano inclinado (**Erro! Fonte de referência não ncontrada.**), na qual uma esfera era coloca para rolar. Utilizando esse experimento, lógica matemática e o trabalho realizados por outros filósofos naturais e geômetras, Galileu realizou uma analogia entre o movimento da esfera ao longo da trajetória e a queda de um corpo.



III.12 - Plano inclinado de Galileu Galilei
Fonte: Museu Galileu[13]

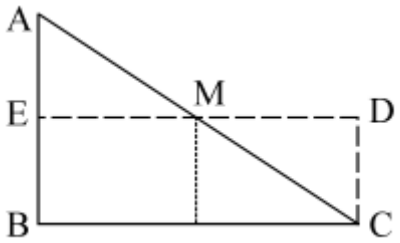
Com esse experimento, a lógica matemática e um longo e árduo trabalho, Galileu chegou à conclusão que se dois corpos fossem abandonados de uma certa altura, em uma região que não houvesse nada que atrapalhasse o movimento, eles levariam exatamente o mesmo tempo para chegar ao solo caso fossem lançados da mesma altura e que isso ocorreria independentemente do valor de suas massas (GUERRA, REIS, *et al.*, 1998). Ele também chegou à conclusão de que a velocidade de um corpo aumentaria a medida que o corpo caísse.

> *"Assim, qualquer que seja o número de partes iguais do tempo que tenha decorrido a partir do instante que o móvel abandona o repouso e começa a descer, o grau de velocidade adquirido na primeira e segunda parte e o tempo será o dobro do grau de velocidade adquirido pelo móvel na primeira parte; assim também, o grau que se obtém em três partes de tempo será o triplo e, na quarta parte, será o quádruplo de grau obtido na primeira parte. (...)" (GALILEI, 1988)*

Ainda utilizando o experimento do plano inclinado, Galileu percebeu que o espaço percorrido pela esfera também seguia uma regra. Para chegar a essa regra Galileu utilizou elementos da geometria.

[13] Disponível em: http://catalogue.museogalileo.it/object/InclinedPlane.html;. Acesso em Fev. de 2015

> *O tempo no qual um determinado espaço que é percorrido por um móvel que parte do repouso com um movimento uniformemente acelerado é igual ao tempo no qual aquele mesmo espaço seria percorrido pelo mesmo móvel uniforme, cujo grau de velocidade seja metade do maior e último grau de velocidade alcançado no movimento uniformemente acelerado (...) (GALILEI, 1988)*

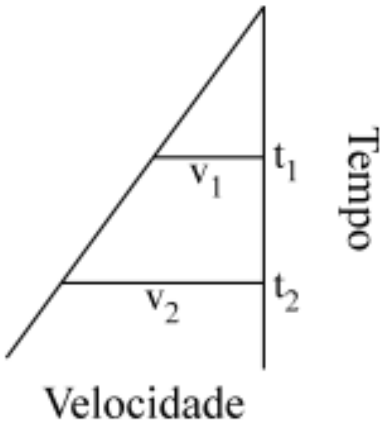


III.13 - Figura geométrica representando o Teorema de Mérton
Fonte: elaborado pelo autor

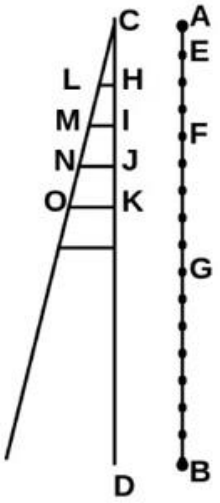
Ou seja, caso uma esfera fosse abandonada de um plano inclinado e realizasse um movimento uniformemente variado, a velocidade média desse movimento (Vm), seria igual a média da velocidade inicial (Vi) com a velocidade final (Vf) da esfera.

$$v_m = \frac{v_i + v_f}{2}$$

Essa regra, que já havia sido desenvolvida anteriormente pelos geômetras da escola de Merton (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), foi utilizada por Galileu, untamente ao seu experimento do plano inclinado, para que, a partir do movimento da esfera, ele pudesse desenvolver uma matemática que descrevesse o movimento de queda livre. Utilizando essa representação geométrica, Galileu foi capaz de estabelecer uma relação entre o espaço percorrido pela esfera, a sua velocidade e o tempo de percurso.



III.14 - Representação da velocidade e do tempo
Fonte: elaborado pelo autor



III.15 - Representação do espaço e do tempo
Fonte: elaborado pelo autor

Galileu subdividiu o segmento AB em partes de mesmo tamanho que representavam o espaço percorrido pela esfera em um movimento uniformemente acelerado no intervalo de tempo CD. Entre os pontos AE passa um intervalo de tempo, entre os pontos EF passa o mesmo intervalo de tempo, entre os pontos FG o mesmo intervalo de tempo também e GB, a mesma coisa. Ao observar essa relação dos espaços, Galileu chegou à seguinte conclusão:

> *"(...) se tomarmos no seu conjunto os espaços percorridos podemos verificar que o espaço percorrido num tempo duplo é o quádruplo do percorrido no tempo simples, o espaço percorrido num*

> *tempo triplo é nove vezes o espaço percorrido no tempo simples, e, numa palavra, os espaços percorridos estão numa proporção dupla dos tempos, a saber, como os quadrados dos tempos. (...)" (GALILEI, 1988)*

A afirmação de Galileu pode ser reescrita em uma linguagem mais atual, da seguinte forma:

$$\Delta S \propto t^2$$

Ou seja, o espaço percorrido pela esfera ao longo do plano inclinado é diretamente proporcional ao quadrado do tempo de queda. Com essa representação através de segmentos de reta, Galileu relacionou o movimento, o tempo e o espaço através de figuras geométricas. Com isso, ele fez uma análise mais detalhada do movimento da esfera. Esse processo permitiu que algo a mais fosse realizado: a geometrização do tempo. A relação que ele estabeleceu entre o espaço, o tempo e o movimento através de um processo de triangularização foi o que tornou o tempo uma categoria geometrizada e não apenas uma qualidade mensurável pertencente aos corpos.

Galileu também sempre teve uma grande preocupação com as medidas que realizava. Em diversos trechos ele mostrou uma grande preocupação em relatar a maneira pela qual media o tempo e o espaço.

> *"No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa." (GALILEI, 1988)*

Apesar dessa preocupação de Galileu em apresentar suas medidas com uma descrição notável, a medição do tempo não era algo tão recente. Os povos da antiguidade já utilizavam diversas formas de medir o tempo, seja através do movimento

dos astros celestes, ou até mesmo através de outros fenômenos periódicos. Inclusive, esse foi um dos motivos que levou Aristóteles a associar o tempo ao movimento. Ao longo do Renascimento, a medição de tempo era algo que já fazia parte do cotidiano das pessoas, principalmente dos comerciantes desse período. Foi graças a essa necessidade de medir o tempo que começaram a surgir métodos mais eficazes de medi-lo, incluindo até mesmo a construção de relógios mecânicos. A datação da construção da primeira forma de medir o tempo é imprecisa, mas não existem controvérsias de que as primeiras formas de medir o tempo estão relacionadas a construção de calendários - tabelas associadas aos ciclos naturais e aos ciclos celestes (OLIVEIRA, 2003, p. 38). Diversos outros relógios foram construídos ao longo da história, incluindo: relógios de sol, clepsidras e ampulheta. Porém, foi apenas no início do século XVII que o relógio mecânico se estabeleceu como a melhor forma de medir o tempo, devido, principalmente, ao seu alto nível de precisão (OLIVEIRA, 2003, p. 43). Por fazer parte desse contexto, Galileu atribuiu uma grande importância à medida do tempo. Como defendia que o tempo era uma quantidade mensurável e que a medição precisa do tempo definiria o próprio tempo, assim como a balança define a massa, ele atribuía grande importância a medição precisa do tempo. Apesar de nunca ter usado um relógio de pêndulo em suas experiências, chegou a projetar um antes de sua morte (MARTINS e PACCA, 2004).

Mesmo tendo uma grande preocupação com a medida do tempo, Galileu apresentou um significado diferente a este conceito, ele trouxe a ideia de um tempo matematizado, ou geometrizado (MARTINS e PACCA, 2004). Porém, no campo essencialmente geométrico, não existe passado, presente e futuro, o tempo em si não existe, mas ao estudar as relações entre espaço, velocidade e tempo, Galileu representou esses três conceitos com aspectos geométricos, porém pensando no tempo também em termos de quantidade.

> *"Assim, se numa linha reta tomamos uma parte dessa linha como medida de velocidade, do tempo e do espaço nesse tempo percorrido (visto que, para simplificar, estas três grandezas são frequentemente representadas por um mesmo segmento), para determinar a quantidade de tempo e o grau de velocidade..." (GALILEU, 1988, p; 264)*

Foi por pensar o tempo como uma quantidade que Galileu decidiu representá-lo como um segmento de reta. Sendo representado por segmentos, ele (o tempo) poderia ser admitido pela geometria e podendo, com isso, ser matematizado e tratado simbolicamente por meio da linguagem e das regras da matemática. Assim, o tempo,

que na concepção aristotélico-tomista era essencialmente uma qualidade, ganhou uma externalidade matemática (geométrica) (OLIVEIRA, 2003). Se baseando nessa concepção ainda, o tempo galileano seria *um contínuo* com infinitos instantes, ou seja, o tempo seria composto por uma infinidade de elementos infinitamente pequenos e indivisíveis.

III.4 - A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absolutos

III.4.1 – Uma breve contextualização histórica

Ao longo do século XVII, as diversas mudanças que haviam ocorrido nos séculos anteriores acabaram ganhando forma em diversos setores da sociedade e ocasionando o surgimento de novas organizações sociais, novas representações artísticas, novas formas de fazer ciência e novas representações culturais. A revolução protestante, por exemplo, originou novas vertentes religiosas, incluindo a anglicana, a batista, a congregacional e a puritana separatista. As artes plásticas, que já haviam contribuído para a geometrização do espaço e tempo, se tornaram mais acadêmicas e trouxeram à tona o movimento barroco. Nesse período também, houve o surgimento das sociedades científicas, grupos formados por homens que queriam discutir os aspectos da nova ciência e a resolução de seus problemas (HIRST, 2013). Nesse contexto, a discussão sobre o sistema planetário ainda não havia acabado, porém grande parte dos pensadores se tornaram partidários do sistema heliostático.

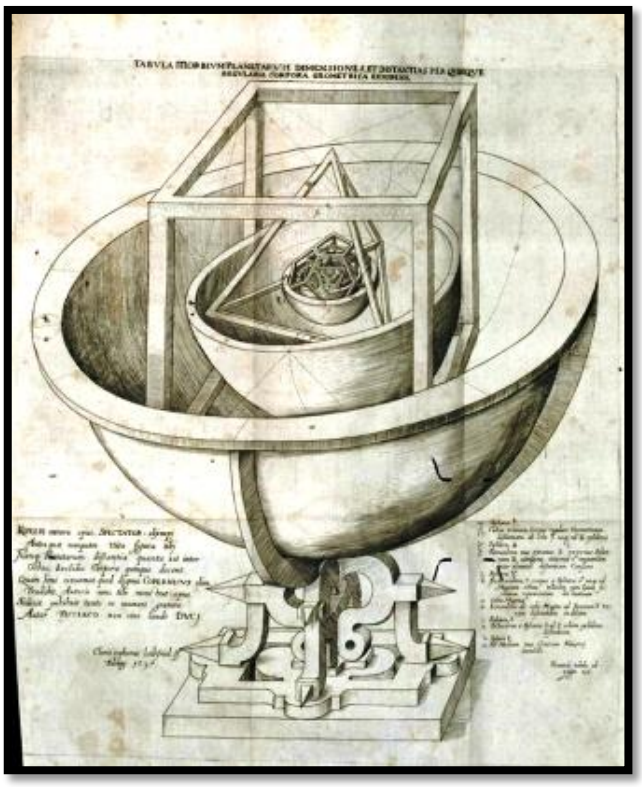
III.4.2 – A órbita elíptica: Um problema ainda sem solução

Ainda na virada do século XVI para o XVII, Johannes Kepler (1571-1630), um contemporâneo de Galileu e defensor do copernicanismo, havia realizado um extenso trabalho matemático para descrever a órbita dos planetas ao redor do Sol. Apesar de inicialmente ter passado por alguns entraves, tanto de ordem metafísica quando científica, Kepler desenvolveu três leis para o movimento planetário. Essas leis foram apresentas em suas obras Astronomia Nova (1609), Harmonia do Mundo (1619), e Epítome da Astronomia de Copérnico (1618-1621).

Com o objetivo de se tornar um pastor Luterano, em 1589 Kepler entrou para a Universidade Protestante de Turbinagem. Kepler conheceu o sistema copernicano através de seu professor Michael Maestlin (1550-1631), um dos primeiros a defender o sistema copernicano, por esse e outros motivos ele acabou aderindo a esse sistema (O'CONNOR e ROBERTSON, 2008). Contudo, a sua fé luterana e a sua convicção copernicana acabaram entrando em choque. Isso fez com que ele acabasse se recusando a assinar a *Fórmula da Concórdia*, um documento da Igreja Luterana que rejeitava o sistema copernicano. Devido a essa recusa ele acabou não sendo ordenado

pastor. É importante destacar que nesse período o sistema copernicano sofreu oposição de algumas vertentes protestantes. Apesar disso, Kepler foi simultaneamente protestante e copernicano (PRAXEDES e PEDUZZI, 2009).

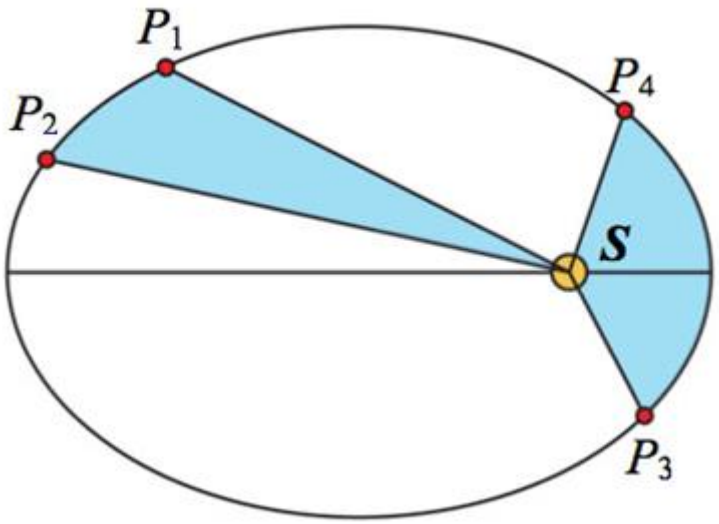
Por se ver obrigado a sair de Graz - cidade na qual ele era professor de matemática em uma escola seminarista - principalmente por se manter fiel a sua fé protestante, Kepler foi trabalhar com Tycho Brahe (1546-1601). Tal fato acabou contribuindo para que Kepler se tornasse um grande colaborador para a aceitação das ideias copernicanas. Em 1597, publicou seu primeiro trabalho, *O Mistério Cosmográfico.* Nele, além de defender o sistema copernicano, introduziu as suas próprias concepções acerca do universo, apresentando, inclusive, uma certa espacialidade geométrica ao cosmo. Kepler não se contentou em reproduzir o esquema de mundo de Copérnico, ele queria mostrar ao mundo que o sistema fazia um sentido profundo, que havia uma ordem divina adjacente ao modelo. Foi nesse primeiro livro, sobre forte influência do neoplatonismo, que ele desenvolveu a ideia de que as distâncias dos planetas até o Sol, no sistema copernicano, eram determinadas pelos cinco poliedros de Platão. Segundo ele, bastava apenas supor que a órbita de cada planeta estava circunscrita sobre um sólido e inscrita em outros seguintes (PRAXEDES e PEDUZZI, 2009).



III.16 - Ilustração da intercalação dos cinco sólidos regulares entre as esferas imaginárias dos planetas.
Fonte: A Teoria Planetária de Kepler[14]

[14] Disponível em: http://cmup.fc.up.pt/cmup/pick/Manhas/TeoriaPlanetariaKeplerTexto.html;. Acesso em: Jan. de 2015

Apesar de apresentar um modelo teórico satisfatório, ele encontra discrepâncias ao confrontá-los com os dados observacionais. Mesmo assim, a princípio ele não abandona o seu modelo e atribui o erro as tabelas disponíveis na época. A construção de sua obra foi marcada por um intenso diálogo entre os dados observacionais disponíveis e os seus pressupostos teóricos. Essa interação entre os pressupostos teóricos e os dados observacionais permitiu que Kepler reelaborasse os seus próprios modelos, levando-o a um árduo trabalho que culminou no estabelecimento das leis do movimento planetário, rompendo, inclusive, com o dogma do movimento circular presente na cosmologia aristotélica e defendida pelos tomistas.



III.17 - Representação da primeira e segunda lei de Kepler
Fonte: elaborado pelo autor

Em seu livro Astronomia Nova, Kepler apresenta os resultados de suas investigações sobre o movimento dos planetas, em particular sobre o movimento aparente de Marte (DI LISCIA, 2014). O livro faz uma discussão sobre os modelos planetários - propostos por Ptolomeu, Copérnico, Tycho Brahe (1546-1601) e muitos outros – e mostra a necessidade de dados precisos sobre o movimento planetário para se poder fazer a distinção entre estes modelos. Se baseando nas observações realizadas por Brahe, Kepler realizou uma discussão matemática sobre a órbita de Marte e defendeu que a sua órbita só se podia se ajustar a uma trajetória elíptica, tendo o Sol em um de seus focos. Com isso, ele estabeleceu a primeira e a segunda lei do movimento planetário (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Tal afirmação ia otalmente de encontro com a tradição aristotélica-tomista na qual dizia que os planetas realizavam órbitas em forma de círculos perfeitos. Além disso, de acordo esse trabalho,

os planetas varriam áreas iguais em tempos iguais, com isso os planetas alteravam suas velocidades ao longo de suas órbitas.

Em sua obra Harmonia do Mundo, Kepler realizou uma síntese das suas teorias celestes e as relacionou com as proporções das órbitas planetárias, teoria musical e os sólidos platônicos. Foi nesse livro que o *matemático* apresentou sua terceira lei, chamada por ele de “lei harmônica” (atualmente, lei dos períodos) (DI LISCIA, 2014). Em *Epítome da Astronomia de Copérnico* (1619), Kepler ainda forneceu uma abordagem mais sistemática de todas as três leis e apresentou uma relação fundamental entre os tempos decorridos com as distâncias entre os planetas e o Sol. Em uma notação atual, a terceira lei de Kepler pode ser expressa pela relação:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{um_1}{um_2}\right)^3$$

Onde T_1 e T_2 representam os tempos periódicos dos dois planetas e um_1 e um_2 representam os comprimentos de seus semieixos maiores (DI LISCIA, 2014). Outra formulação desta relação, que é muitas vezes encontrada na literatura, é:

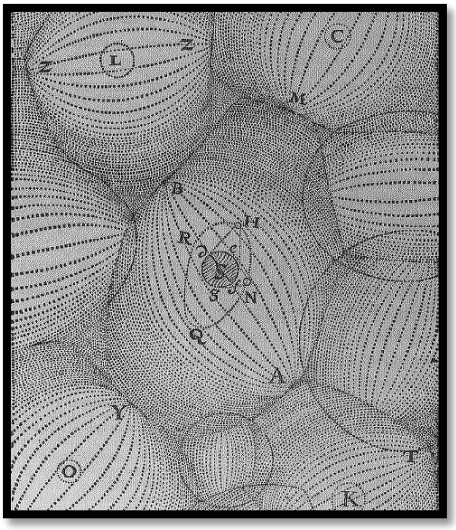
$$\frac{T^2}{R^3} = K$$

Em que T é o período de revolução de um planeta ao redor do Sol, R é o raio médio do planeta e K é um valor aproximadamente constante para todos os planetas do Sistema Solar.

Como consequência da terceira lei, o tempo que um planeta leva para viajar ao redor do Sol vai aumentar significativamente quanto mais longe o planeta estiver do Sol. A terceira cumpre a busca de Kepler para uma sistemática de representação e defesa da visão de mundo de Copérnico, em que os planetas não são absolutamente independentes um do outro, mas integrado num sistema mundial harmônico. No entanto, é importante salientar que os trabalhos de Kepler, que na época nem eram chamadas de leis, são mais metodologias de determinação das órbitas dos planetas do que uma dinâmica consistente para a explicação do cosmo (SMITH, 2008).

Nesse contexto ainda, René du Perron Descartes (1596–1650), filósofo natural francês, publicou um livro intitulado *Princípios de Filosofia* (1644) e apresentou a teoria dos Vórtices para explicar a órbita dos planetas. Sua visão era extremamente ampla.

Segundo ele, a matéria era constituída de “elementos gregos[15]” que variavam de tamanhos: as maiores compunham a terra, as médias, o ar, e as menores, o fogo. Todos esses elementos eram agrupados em vórtices, em cujo centro ficavam as partículas de fogo, que eram rápidas. No centro de cada vórtice formava-se uma estrela. As estrelas, contudo, tinham a tendência a se cobrir com matéria grossa para se constituir em um planeta. No entanto, se este tivesse uma excessiva massa que o fizesse vaguear de um vórtice para o outro, ele tornar-se-ia um cometa. Nesse modelo cartesiano, os planetas eram capturados e arrastados por vórtices (redemoinhos, turbilhões) de partículas de éter (diferente do éter aristotélico) em cujo centro estava o Sol. Por sua vez, os satélites planetários eram velhos planetas formados há muito tempo (RONAN, 1987).



III. 18 - Representação do universo de Descartes
Fonte: Place Ment Module[16]

Ao longo do século XVII, a defesa pelo copernicanismo foi ficando cada vez maior, até que ao final deste século grande parte da comunidade científica, principalmente os membros das sociedades científicas, já havia aceitado que a Terra orbitava ao redor do Sol, isso não era mais um problema. Porém, apesar dos esforços de Kepler, Galileu e tantos outros, ainda faltava uma dinâmica mais sólida para explicar o movimento dos corpos terrestres e celestes, incluindo a queda dos corpos e a órbita dos planetas. O próprio Kepler não havia conseguido explicar com precisão o movimento da Lua. Além disso, por volta de 1680 já existiam diversos outros métodos de resolução de cálculo da órbita dos planetas, porém, ainda não existia uma equação

[15] Apesar de serem 4 elementos na cosmologia aristotélica. Para Descartes, os líquidos e gases eram “terra” com diferentes graus de rarefação.
[16] Disponível em: https://placementmodule.wordpress.com/2012/03/08/descartes-celestial-vortices/;. Acesso em: Fev. de 2015.

matemática simples que conseguisse explicar a órbita elíptica dos planetas ao redor do Sol (SMITH, 2008). Nesse período, diversos filósofos naturais, principalmente os membros das sociedades científicas, estavam buscando respostas para esse problema.

Como era comum nesse período, diversos matemáticos e filósofos naturais utilizaram a geometria para determinar a órbita dos planetas. Ismaël Bouliau (1605-1694), por exemplo, publicou o livro *Astronomia Philolaica* (1645) e nele apresentou uma nova geometria para as órbitas elípticas dos planetas. Ele também afirmou que se existisse uma *força* planetária que deslocasse os planetas ela deveria variar de forma inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o planeta e o Sol. O trabalho de Bouliau foi realmente significativo nesse período (SMITH, 2008), trazendo inclusive novas questões ao meio científico: A lei do inverso do quadrado seria realmente válida?

O problema, ainda sem solução, estava sendo estudado por diversos cientistas renomados da época, incluindo: Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), Christopher Wren (1632-1723), Robert Hooke (1635-1703), Edmundo Halley (1656- 1742), dentre outros. Borelli e Hooke começaram a incorporar a ideia de forças atrativas em seus modelos planetários, além de terem introduzido os conceitos de inércia. Tais conceitos culminaram com Isaac Newton em 1687, quando, além de ter derivado as leis de Kepler dos movimentos planetários, desenvolveu a teoria da gravitação universal (ROSA, 2012). Nesse contexto, Isaac Newton merece uma atenção especial, principalmente pelo fato de seus trabalhos terem servido de orientação para diversos cientistas ao longo dos séculos XVIII e XIX. Além disso, Newton ainda trouxe uma concepção ao espaço e tempo que foi discutida por diversos filósofos e cientistas.

III.4.3 – Os princípios de Newton

Em 1684, o astrônomo Halley realizou uma visita a Isaac Newton com o objetivo de discutir o problema da órbita dos planetas e da força de atração exercida pela Terra sobre a Lua. Tal encontro, além de uma intensa troca de correspondência, resultaria no desenvolvimento e na publicação da grande obra de Newton, os *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*. Em 1687, a obra foi publicada em três volumes. No livro I foi exposta uma dinâmica geral para os corpos em ambientes sem nenhum tipo de atrito e resistência. No livro II, Newton se preocupou em resolver problemas mais práticos relacionados aos corpos sólidos suspensos em meios fluidos, ou seja, quando existisse atrito e resistência. No entanto, é no Livro III que realiza uma descrição quantitativa exata dos movimentos dos corpos celestes. Com isso, Newton colaborou para que fosse desenvolvido um novo estilo de pensamento (ROSA, 2012).

A descrição apresentada no Livro III toma como base as três leis do movimento de Newton: (1) 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 aplicadas sobre ele; (2) A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida e é produzida na direção de linha reta na qual aquela força é imprimida; (3) A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade: ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos (NEWTON, 2002).

Ao analisar o movimento circular com base em tais leis, Newton forneceu uma explicação para a medida quantitativa da força centrípeta necessária para desviar um corpo em movimento de seu caminho reto para um determinado círculo. Ao substituir essa fórmula na terceira lei de Kepler, Newton chegou à conclusão que a força centrípeta que retém os planetas em suas órbitas ao redor do Sol deve diminuir com o quadrado da distância que separa o planeta do Sol, chegando assim a famosa Lei da Gravitação Universal. Em uma linguagem atual, e utilizando algumas proposições e corolários apresentados no *Principia,* é possível fazer uma demonstração de tal dedução.

Segundo o trabalho de Newton, a força centrípeta sobre um corpo é diretamente proporcional ao quadrado dos arcos descritos no mesmo tempo aplicados ao raio dos círculos, ou seja:

$$F \propto \frac{S^2}{R}$$

Como esses arcos são proporcionais às velocidades dos corpos:

$$S \propto v$$

As forças centrípetas estão em uma razão composta da razão direta dos quadrados das velocidades e da razão inversa simples dos raios:

$$F \propto \frac{v^2}{R}$$

Como os tempos periódicos estão em uma razão composta da razão direta dos raios e da razão inversa das velocidades:

$$T \propto \frac{R}{v}$$

As forças centrípetas estão em uma razão composta da razão direta dos raios e do quadrado da razão inversa dos tempos periódicos:

$$F \propto \frac{\frac{R^2}{T^2}}{R}$$

Logo:

$$F \propto \frac{R}{T^2}$$

No entanto, a terceira lei de Kepler diz que:

$$T^2 \propto R^3$$

Assim, temos que:

$$F \propto \frac{R}{R^3}$$

Ou seja:

$$F \propto \frac{1}{R^2}$$

Tal relação estabelece que a força centrípeta gerada em um movimento circular uniforme é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre o corpo que gira e o centro do círculo. É importante destacar que o próprio Hooke já havia realizado uma grande discussão sobre o movimento circular e existe, inclusive, uma troca de correspondências entre Newton e Hooke na qual os dois discutem sobre o problema da órbita dos planetas, o movimento circular e a lei do inverso do quadrado. Newton ainda comenta no Escólio de seu livro que o resultado apresentado ocorre nos corpos celestiais, conforme Sir Christopher Wren, dr. Hooke e dr. Halley observaram separadamente (TEIXEIRA, PEDUZZI e FREIRE JR, 2010). A solução apresentada por Newton não resolveu apenas o problema da órbita elíptica, mas também ajudou a explicar diversos outros tipos de órbitas, tais como a realizada pelos cometas. Utilizando

uma notação atual, podemos sintetizar os resultados apresentados por Newton na tabela abaixo:

Quadro III. 1 - Lei da Gravitação de Newton

PROPOSIÇÃO	FORMA DA ÓRBITA	LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE FORÇA	LEI DA FORÇA
VII	Círculo	Qualquer ponto do círculo	$F \propto \frac{1}{R^2 C^3}$ R = altura do corpo (da posição do corpo na órbita ao centro da força) C = corda que sai do corpo e passa pelo centro de força
VIII	Semicircunferência	Ponto muito distante	$F \propto \frac{1}{R^3}$
IX	Espiral	Centro	$F \propto \frac{1}{R^3}$
X	Elipse	Centro	$F \propto R$
XI	Elipse	Um dos focos	$F \propto \frac{1}{R^2}$
XII	Hipérbole	Um dos focos	$F \propto \frac{1}{R^2}$
XIII	Parábola	Um dos focos	$F \propto \frac{1}{R^2}$

Fonte: elaborado pelo autor

Com isso, além de ter resolvido o problema da órbita dos planetas, Newton unificou a Física que explicava o movimento nos céus com a Física que explicava o movimento na Terra. No entanto, a obra de Newton não foi aceita de imediato pela comunidade científica da época. Um dos motivos pode ter sido à falta de familiaridade ou até mesmo a falta de compreensão dessa nova matemática utilizada por ele (TEIXEIRA, PEDUZZI e FREIRE JR, 2010). Como já mencionado nesse trabalho, existe o caráter de validação na ciência, os trabalhos científicos desenvolvidos e publicados precisam passar por um processo de aceitação e validação pelos pares e portadores do estilo de pensamento. E não foi apenas isso, Newton também recebeu duras críticas quanto ao seu posicionamento em relação a alguns conceitos, tais como o espaço e tempo.

III.4.4 – O espaço e tempo absolutos de Newton

Os *Principia* foi um livro bem completo, por assim dizer. Apesar de apresentar certa dificuldade de leitura para os mais leigos, trouxe uma gama enorme de explicações para os movimentos terrestres e celestes (TEIXEIRA, PEDUZZI e FREIRE JR, 2010). Para isso, o filósofo apresentou algumas definições iniciais com as quais trabalharia em seu livro e que se tornariam os pilares de sua construção teórica. Dentre essas definições, se encontra os conceitos de espaço e tempo. No entanto, no Escólio dos *Principia* ele disse que deixaria de definir o tempo, o espaço, o lugar e o movimento por serem categorias "*conhecidíssimas por todos*", mas que apesar disso, não conseguimos conceber "*essas quantidades senão pela relação com as coisas sensíveis*". Por esse motivo, convém distingui-las entre absolutas e relativas, verdadeiras e aparentes, matemáticas e vulgares (NEWTON, 2002).

III.4.4.1 – O Tempo e espaço newtonianos

Se Galileu foi um dos responsáveis por geometrizar o tempo, Newton não se limitou a apresentá-lo de uma forma unicamente matemática. Devido a sua inclinação em acreditar na existência de um tempo a priori, ele defendia a existência de um tempo absoluto, verdadeiro e matemático. O tempo absoluto de Newton, que também podia ser chamado de "*duração*", seria algo que "*flui*" de forma "*sempre igual, por si mesmo e por sua natureza, sem possuir qualquer relação com qualquer coisa externa*", um fluxo eterno e uniforme (NEWTON, 2002). Por outro lado, Newton não desconsiderou que existe o tempo da medida, classificado por ele como tempo relativo, aparente e vulgar. Esse, por sua vez, seria "*uma certa medida sensível e externa de duração através do movimento (podendo ser exato ou desigual), a qual vulgarmente se usa em vez do tempo verdadeiro"* (NEWTON, 2002). A hora, o dia, o mês, o ano são exemplos do tempo relativo.

De acordo com Luiz Alberto Oliveira (2003), o que Newton quis dizer quando estava se referindo ao tempo absoluto é que todas as regiões do espaço seriam englobadas pelo mesmo instante de tempo. De acordo com essa afirmação, o tempo absoluto newtoniano não poderia se contrair e nem se dilatar, não sofria aceleração e nem desaceleração, fluiria por "*direito próprio*" e desvinculado de qualquer outro corpo, objeto ou entidade física. O tempo relativo, contudo, seria apenas uma medida do tempo absoluto. Nessa concepção, todos os sistemas mecânicos periódicos poderiam ser escolhidos como relógios, em função de cujo ritmo a evolução de outros sistemas mecânicos seriam descritos como se de fato constituíssem encarnações distintas de um único relógio universal. Newton reforça essa ideia na seguinte passagem:

> *"O tempo absoluto em astronomia é distinguido do relativo, pela igualdade ou correção do tempo vulgar. Pois os dias naturais são realmente desiguais, embora sejam comumente considerados iguais e usados como medida de tempo. Astrônomos corrigem estas desigualdades em suas deduções mais acurados dos movimentos celestes. Pode ser que não exista tal coisa como um movimento reproduzível pelo qual o tempo possa ser acuradamente medido. Todos os movimentos podem ser acelerados ou retardados, mas o progresso verdadeiro ou reproduzível do tempo absoluto não é suscetível a nenhuma mudança. A duração ou perseverança da existência das coisas permanece a mesma, sejam os movimentos rápidos ou lentos, ou nenhum sequer: e portanto ela deve ser distinguida do que são apenas medidas razoáveis dela; e das quais nós a coletamos, por meio da equação astronômica." (NEWTON, 2002)*

É percebido claramente que o físico não se limita a simples noção geométrica, como fez Galileu. Além de ter elevado o tempo a status de absoluto, Newton considera que o tempo possui uma realidade essencial, ou seja, uma realidade ontológica a qual, inclusive, ele chama de duração. Dessa forma, a realidade temporal independe dos corpos ou seres, ou seja, quaisquer dois observadores devem sempre concordar quanto à duração que separa a ocorrência de dois eventos (MARTINS, 2004). Além disso, as leis de Newton mostram que o tempo newtoniano é intrinsecamente reversível, ou seja, não é orientado e, consequentemente, não define um sentido absoluto entre passado e futuro (OLIVEIRA, 2003).

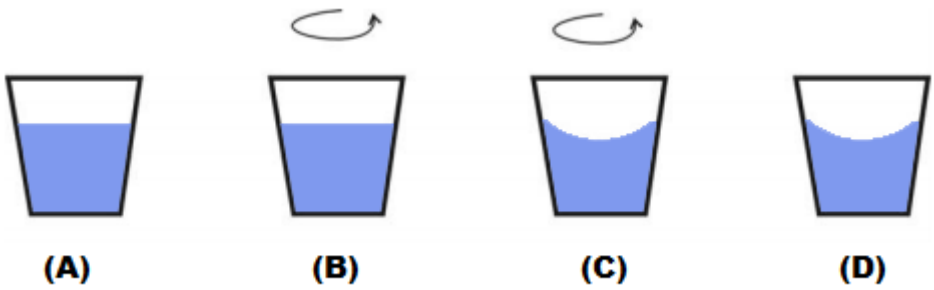
Seguindo a mesma ideia de classificar o tempo entre duas categorias, Newton também fez uma diferenciação entre o espaço absoluto e relativo. Segundo ele, o espaço absoluto seria definido "*por sua natureza, sem ter nenhuma relação com algo externo, permanecendo sempre semelhante e imóvel",* já o espaço relativo trata-se de uma *"certa medida ou dimensão móvel desse espaço, a qual nossos sentidos definem por sua situação relativamente aos corpos*" (NEWTON, 2002, p.7).

Para Newton o espaço absoluto se mantém sempre da mesma forma e em absoluto repouso, possuindo uma existência independente do universo material, que existe relativamente no seu interior. O espaço relativo, por sua vez, seria apenas uma parte do espaço absoluto, na qual nos orientamos através de nossos sentidos por nossa situação relativa aos corpos. Newton ainda define o lugar como sendo uma parte do espaço que um corpo ocupa, e com relação ao espaço, pode ser relativo ou absoluto.

Outra definição realizada por Newton e que não pode ser desprezada nesse contexto é a ideia e movimentos absolutos e relativos. Com base na proposição

realizada acerca do espaço e tempo absoluto, o cientista define o Movimento absoluto como sendo a translação de um corpo de um lugar absoluto para outro e o movimento relativo, a translação de um lugar relativo para outro (...). Segundo ele*, "As causas pelas quais movimentos verdadeiros e relativos são diferenciados um do outro, são as forças imprimidas sobre os corpos para gerar movimento. O movimento verdadeiro não é nem gerado nem alterado, a não ser por alguma força imprimida sobre o corpo movido, mas o movimento relativo pode ser gerado ou alterado sem qualquer força imprimida sobre o corpo. Pois é suficiente apenas exercer alguma força sobre os outros corpos com os quais o primeiro é comparado, pois quando eles se deslocarem, aquela relação, em que consistia o repouso ou movimento relativo desse outro corpo, é modificada. "* (NEWTON, 2002).

A partir dessa concepção, Newton apresenta uma experiência de pensamento conhecida como "O balde de rotação". Na experiência, um recipiente (o balde) suspenso por uma longa corda é girado diversas vezes. Logo após, é enchido com água que permanece em repouso junto com o balde (A). Em seguida, é liberado para que a corda enrolada realize uma ação e inicie um movimento de rotação acelerado. Inicialmente, a superfície da água será plana, como era antes do balde começar a se mover (B). Mas, aos poucos o balde comunicará o seu movimento a água e fará com que ela comece a girar. A água irá então se afastar pouco a pouco do meio, subindo pelos lados do recipiente. A superfície da água, inicialmente plana irá se transformando em uma figura côncava (C). Quanto mais rápido for o movimento, mais a água irá subir, até que, em um dado momento, a água estará girando com a mesma velocidade do balde. Neste instante, teremos a água novamente em repouso em relação ao balde, como antes de iniciar a experiência, tendo a única diferença de que a superfície da água não estará plana, mas formando uma concavidade. Por fim, o balde é parado, mas a água, num primeiro instante, continua girando, com sua superfície em forma de paraboloide.



III. 19 - O balde de Rotação de Newton
Fonte: elaborado pelo autor

Para Newton, há dois tipos de movimentos associados à água nesta experiência: O movimento relativo, referente ao balde, e o movimento (circular) absoluto da água. O movimento da água em relação ao balde seria máximo no momento inicial, assim que o balde começou a girar, e nulo quando o balde e a água estavam girando com a mesma velocidade. Já o movimento absoluto da água seria o movimento circular, que pode ser medido pela tendência que a água tem de afastar do eixo do movimento de rotação. Ou seja, no início da experiência, o movimento relativo é máximo e o movimento absoluto é nulo (já que a água ainda apresenta uma superfície plana). Aos poucos o movimento relativo diminui e o absoluto aumenta, até que o movimento relativo se torna nulo e o movimento absoluto se torna máximo.

Entretanto, Newton se questiona sobre o que teria levado a água a se comportar dessa forma? Seria o movimento da água em relação à Terra? De acordo com a gravitação de Newton, se a Terra parasse de girar, isso não teria nenhum efeito sobre a água. Logo, não poderia ser a aceleração em relação à Terra que seria o responsável pela aceleração da água. Seriam então as estrelas fixas no céu? Também não, pois se pudéssemos girar a casca das estrelas, nenhum efeito surgiria na água, segundo a teoria de Newton. Logo, nenhum corpo material pode servir de referencial para o efeito gerado na água. Assim, Newton chega à conclusão que a tendência que a água tem de se afastar do eixo de rotação, e que não está relacionada com o seu movimento relativo, só poderia estar relacionada com algo externo, ou seja, com um espaço que fosse absoluto (RYNASIEWICZ, 2014).

O filósofo natural ainda completa sua discussão com outra experiência de pensamento, a de dois globos ligados por uma corda. No experimento, os dois globos são postos a girar e com isso gerando uma tensão na corda. No entanto, se as estrelas fixas girassem em torno dos globos e estes ficassem parados, não haveria tensão na corda, de acordo com a Física de Newton. Assim, a tensão na corda só poderia ser explicada pela rotação dos globos em relação ao espaço absoluto.

Realizando uma síntese, para Newton o espaço e o tempo são entidades matemáticas, verdadeiras e absolutas (existem, de fato). Entretanto, parte deles podem ser relacionáveis, ou seja, relativos. Sendo assim, tais categorias não dependem da existência dos corpos e nem alteram suas estruturas na presença destes, mas podem exercer ação sobre eles.

III.4.4.2 – A Metafísica de Newton em relação ao espaço e tempo

Em meio a esse contexto, não se pode desconsiderar a visão teológica e metafísica de Newton em relação ao espaço e ao tempo. A visão newtoniana, apresentada tanto nos *Principia*, quanto em outras obras – como o *Opticks* - e

manuscritos, mostra a inclinação de Newton em acreditar que o tempo e o espaço são os sentidos de Deus (*Sensorium Dei*). Ao beber da fonte das ideias mecanicistas, Newton realizou uma analogia entre o relógio e o relojoeiro dizendo que Deus, assim como o relojoeiro, dá corda ao seu relógio. De acordo com essa concepção, seria a intervenção divina na natureza que permite o ajuste de seu funcionamento (BRAGA, GUERRA e REIS, 2010). Ainda em outro trabalho, denominado Teoria das Fluxões (1665), atualmente conhecido como Cálculo Diferencial, Newton relacionou a ideia de um infinitésimo de tempo com a ação de Deus no universo (MARTINS e PACCA, 2004). Apesar das características mais formais do tempo, presente nos *Principia*, não contemplarem todos esses aspectos, em seus manuscritos e demais obras é possível perceber a inclinação de Newton em acreditar que o tempo absoluto e o espaço absoluto são consequências do atributo divino da eternidade (MARTINS e PACCA, 2004).

No entanto, tal posicionamento filosófico e metafísico acabou atraindo o olhar de alguns críticos, dentre ele Gottfried W. Leibniz (1646-1716), um filósofo natural alemão que além de ter se graduado em direito, produziu diversos trabalhos nos mais variados campos de conhecimento, incluindo religião, politica, história, literatura, lógica e metafisica. Foi Leibniz que criou o termo "*função*" (1694) para descrever uma quantidade relacionada a uma curva.

Leibniz foi um grande crítico as visões newtonianas, principalmente por possuírem uma história marcada por controvérsias. Em relação a matemática, os dois passaram por uma série de trocas de acusações de plágio pelo desenvolvimento do Cálculo Diferencial e Integral. Apesar de atualmente ser concedido aos dois os créditos de terem desenvolvido o Cálculo, essa história é sempre lembrada como o fator determinante na controvérsia Newton-Leibniz. No entanto, a discordância de opiniões foi muito além do campo científico-matemático. Newton e Leibniz possuíam visões completamente divergentes em relação ao mundo e a própria natureza divina. Fato este, que acabou se materializando em suas opiniões em relação à natureza do tempo e do espaço.

III.4.5 – A controvérsia entre Newton e Leibniz

Em 1605, Leibniz enviou uma carta a princesa Sofia de Hanôver (1630-1714), na qual ele citou algumas considerações em relação ao tempo e ao espaço. Segundo essa carta,

> *"O tempo não seria uma substância, já que uma hora, ou alguma outra parte do tempo que se considera jamais existe inteira e em todas suas partes conjuntamente; não é senão um princípio de relações, um fundamento da ordem nas coisas, desde que se conceba sua existência*

> *sucessiva ou sem que elas existam conjuntamente. O mesmo deve ocorrer com o espaço; é o fundamento da relação da ordem das coisas, mas desde que se conceba existirem conjuntamente. Ambos os fundamentos são verdadeiros, ainda que sejam ideais." (LEIBNIZ, 1984)*

De acordo com esse pequeno trecho da carta, Leibniz considera que o tempo e o espaço não seriam reais, que seriam apenas categoriais idealizadas, fruto do intelecto humano, sendo que o tempo seria apenas uma espécie de ordem de sucessão, enquanto que o espaço seria um ordenamento da coexistência.

Em 1715, Leibniz envia uma nova carta, dessa vez direcionada a Princesa de Gales, na qual faz duras críticas ao enfraquecimento religioso que ocorrera na Inglaterra e também ao posicionamento de Newton em relação ao espaço e o tempo. Segundo ele,

> *"1. Parece-me que a religião natural está excessivamente enfraquecida [na Inglaterra]. Muitos julgam as almas [humanas] corporais; outros, que o próprio Deus é corporal.(...) 3. Sir Isaac Newton afirma que o espaço é um órgão pelo qual Deus sente as coisas. Mas se Ele necessita de algum meio para as sentir, disto se segue que elas não dependem inteiramente d'Ele e não são Sua produção. 4. Sir Isaac Newton e seus seguidores também possuem opinião singular sobre a obra de Deus. De acordo com eles, Deus necessita, de tempos em tempos, dar corda em seu relógio, pois do contrário ele deixaria de funcionar. Ele não teve a suficiente presciência para dar-lhe um movimento perpétuo. Esta máquina de Deus é até tão imperfeita, segundo eles, que Ele se vê obrigado a poli-la de tempos em tempos por um concurso extraordinário, e mesmo consertá-la, tal qual um relojoeiro faz com sua obra, o qual será tanto pior profissional quanto mais vezes se vir obrigado a retocar e corrigir seu trabalho. Na minha opinião, [o mundo sempre contém] a mesma quantidade de força e de "viz viva", que apenas passa de uma coisa material a outra, conforme as leis da natureza e a bela ordem pré-estabelecida. E sustento que Deus, ao operar milagres, assim o faz não para satisfazer as necessidades da natureza, mas sim as da graça. Qualquer um que pense diferentemente deve ter uma muito indigna noção da sabedoria e do poder de Deus." (LEIBNIZ, 1984)*

Essa carta deu início uma das maiores controvérsias da História da Ciência: a controvérsia Newton Leibniz sobre a natureza do espaço-tempo. O interessante é que não foi Newton quem respondeu as acusações, mas Samuel Clarke (1675-1729),

filósofo e defensor de Newton. Isso acabou dando início a uma série de correspondências na qual discutiram diversos temas, inclusive em relação aos conceitos de espaço e tempo. Não se pode esquecer que já existia certa rivalidade entre os dois filósofos, principalmente em relação aos trabalhos do cálculo diferencial. Talvez tenha sido esse o motivo de Newton não ter respondido as cartas. Em uma dessas cartas é possível observar claramente o posicionamento de Leibniz a respeito do conceito de espaço e tempo.

> *"Quanto a mim, deixei assentado mais de uma vez que, a meu ver, o espaço é algo puramente relativo, como o tempo; a saber, na ordem das coexistências, como o tempo na ordem das sucessões. De fato, o espaço assinala em termos de possibilidade uma ordem das coisas que existem ao mesmo tempo, enquanto existem junto, sem entrar em seu modo de existir. E quando se veem muitas coisas junto, percebe-se essa ordem das coisas entre si." (LEIBNIZ, 1984, p.177)*

Como visto, é observado novamente que para Leibniz o tempo é apenas uma ordem das sucessões, enquanto que o espaço é um ordenamento da coexistência. Ou seja, são entes que nos permitem referir à ordem da sucessão dos acontecimentos que coexistem sem ser dotado de existência.

Apesar de Leibniz não acreditar em um tempo e um espaço existentes a priori, acreditava que eram entes idealizados, constituídos a partir das relações, o que não os impedia de serem dotados de "quantidades". Suas concepções estão diretamente ligadas à impossibilidade, atribuída por ele de diferenciar objetos a partir de suas qualidades externas, pois todas as denominações acerca de objetos devem estar fundadas em predicados internos. A partir daí esperamos compreender qual é a relação entre espaço e tempo e a indiscernibilidade de objetos (BENTES, 2010).

Em suas críticas aos conceitos newtonianos, Leibniz usa esse argumento em uma das cartas trocadas com Clarke: Se duas coisas são idênticas em tudo, então elas são uma mesma coisa. Como o espaço absoluto é idêntico em todos os lugares, e o tempo absoluto é idêntico em todos os instantes, quaisquer dois lugares são na verdade um único e mesmo espaço, assim como quaisquer dois instantes são um único e mesmo tempo (MARTINS, 2007). Sendo assim, na concepção leibniziana, era impossível existir um tempo ontologicamente anterior aos objetos. Em relação ao espaço Leibniz também afirma que não é possível existir um espaço a priori.

> *"... se o espaço fosse um ser absoluto, sucederia alguma coisa de que seria impossível uma razão suficiente, o que é ainda nosso axioma. Eis como o provo. O espaço é algo absolutamente uniforme; e,*

> *sem as coisas postas nele, um ponto do espaço não difere absolutamente nada de um outro ponto. Ora, disso se segue (suposto que o espaço seja alguma coisa em si mesmo fora da ordem dos corpos entre si) ser impossível que haja uma razão por que Deus, conservando as mesmas situações dos corpos entre si, os tenha colocado assim e não de outro modo". (LEIBNIZ, 1983, p.177)*

Na segunda carta à Clarke, ele demonstra preocupação com aqueles que acreditaram, ao pensar em um espaço absoluto, *"ser ele o próprio Deus*" (LEIBNIZ, p. 412 apud BENTES, 2010). Além disso, é pela noção de ordem que Leibniz concebe o tempo e o espaço: este "*na ordem das coexistências*", aquele "*na ordem das sucessões*" (LEIBNIZ, p. 412 apud BENTES, 2010). Nessa concepção temporal de "*ordem de sucessões*", somos levados a refletir sobre a noção de intervalo de tempo. Para Leibniz, o intervalo parece assumir o caráter de "*uma ordem serial de antes e depois*". Ele ainda acrescenta que entre dois intervalos se concebe uma duração, porém para Leibniz, diferente de Newton, o tempo em si não é a duração.

> *"Com efeito, como poderia existir uma coisa de que jamais nenhuma parte existe? Ora, do tempo não existem jamais senão instantes, e estes não são nem sequer uma parte do tempo. Quem considerar essas observações, compreenderá bem que o tempo não poderia ser senão uma coisa ideal, e a analogia do tempo e do espaço logo fará ver que um é tão ideal quanto o outro" (LEIBNIZ, p. 439 apud BENTES, 2010).*

Como visto, há uma grande discordância entre Newton e Leibniz sobre os conceitos de espaço e tempo. Essa divergência de opiniões reflete ainda a visão de natureza e de mundo que os dois possuíam. Vale ressaltar que com o passar do tempo, a visão newtoniana de um tempo e um espaço absoluto acabou sobressaindo, devido ao sucesso da Física desenvolvida por ele. Aos poucos, as questões filosóficas acabaram sendo deixadas de lado pelos físicos dos séculos seguintes devido, principalmente, aos filósofos iluministas. Com isso, apenas o caráter matemático das leis de Newton foram mantidas.

Apesar de haver algumas discussões ao longo dos séculos XVIII e XIX, devido a termodinâmica (em relação aos processos irreversíveis) e ao desenvolvimento da geometria não euclidiana, somente na segunda metade do século XIX e início do século XX que a questão entre o tempo ser ou não absoluto é retomada com a Mecânica Relacional e a Relatividade de Einstein.

III.5 – A Relatividade de Einstein

O século XIX foi marcado principalmente pelo colapso entre os impérios da Espanha, China, França, Sacro Império Romano Germânico e de Mongol, marcando o fim do absolutismo e a instauração dos governos democráticos. De certa forma, isso acabou favorecendo o crescimento de influência do império britânico, russo, germânico, japonês e dos norte-americanos. No campo econômico essa fase foi marcada pela Revolução Industrial e a consolidação do capitalismo. Tais fatos acabaram estimulando conflitos militares, mas também avanços científicos e de exploração. Com toda essa mudança no cenário mundial, esse século acabou se tornando uma era de invenções e desenvolvimentos científicos - com significante desenvolvimento nos campos da Matemática, Física, Química, Biologia, Engenharia Elétrica e Metalúrgica - construindo as bases para os avanços tecnológicos do século XX (HIRST, 2013).

Na matemática, por exemplo, foi desenvolvida a geometria não-euclidiana, uma forma de representar o espaço geométrico de uma forma não mais plana. O eletromagnetismo, a Termodinâmica a Mecânica Estatística que também foram desenvolvidos nesse período permitiram não apenas o desenvolvimento do conceito de energia mas também colaboraram para uma nova interpretação para o que era o tempo. A Biologia se desenvolveu como uma nova área de conhecimento. O setor metalúrgico, que já vinha se desenvolvendo desde o século anterior, permitiu que as malhas ferroviárias se espalhassem pela Europa, trazendo a ideia de modernidade a diversas cidades do continente (ZORZO, 2009).

Nesse período também, o setor artístico foi marcado pela multiplicação de correntes muito diferenciadas. Até o fim do século XIX surgiram, por exemplo, o realismo (Figura III.20), o impressionismo (Figura III.21), o simbolismo (Figura III.22) e o pós-impressionismo (Figura III.23).



III.20 - Casa (1889), de Jožef Petkovšek.
Fonte: National Gallery of Slovenia

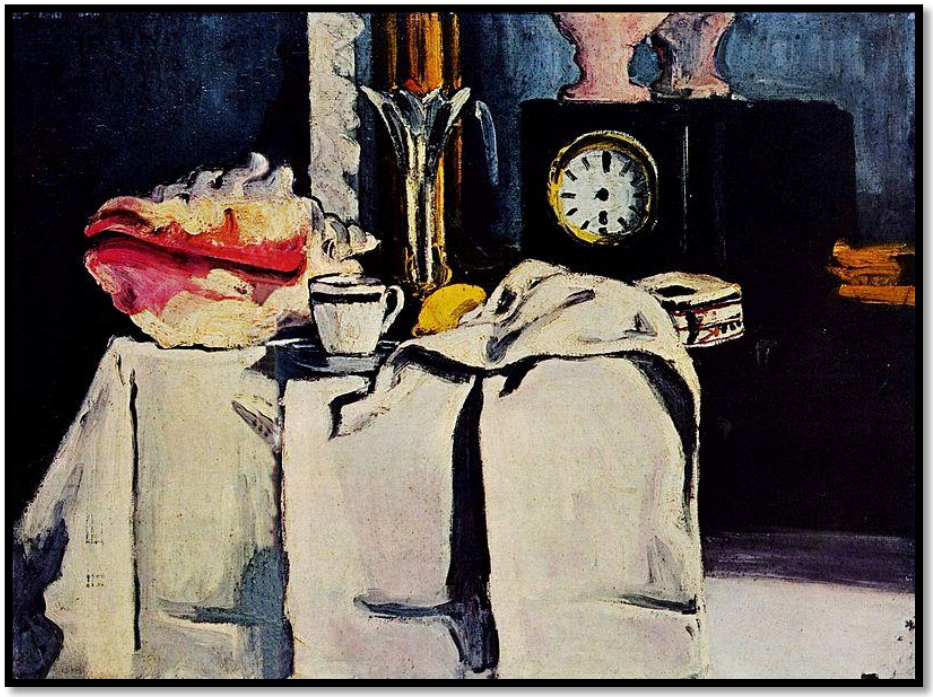


III.21 - A Catedral de Rouen (1840 - 1862), de Oscar Claude Monet.
Fonte: História da Arte[17]

[17] Disponível em: http://www.historiadaarte.com.br/linha/impressionismo.html;. Acesso em Fev. de 2015.



III.22 - Nascente em Osny (1883), de Paul Gauguin
Fonte: The Yorck Project: 10.000 Meisterwerke der Malerei. DVD-ROM, 2002



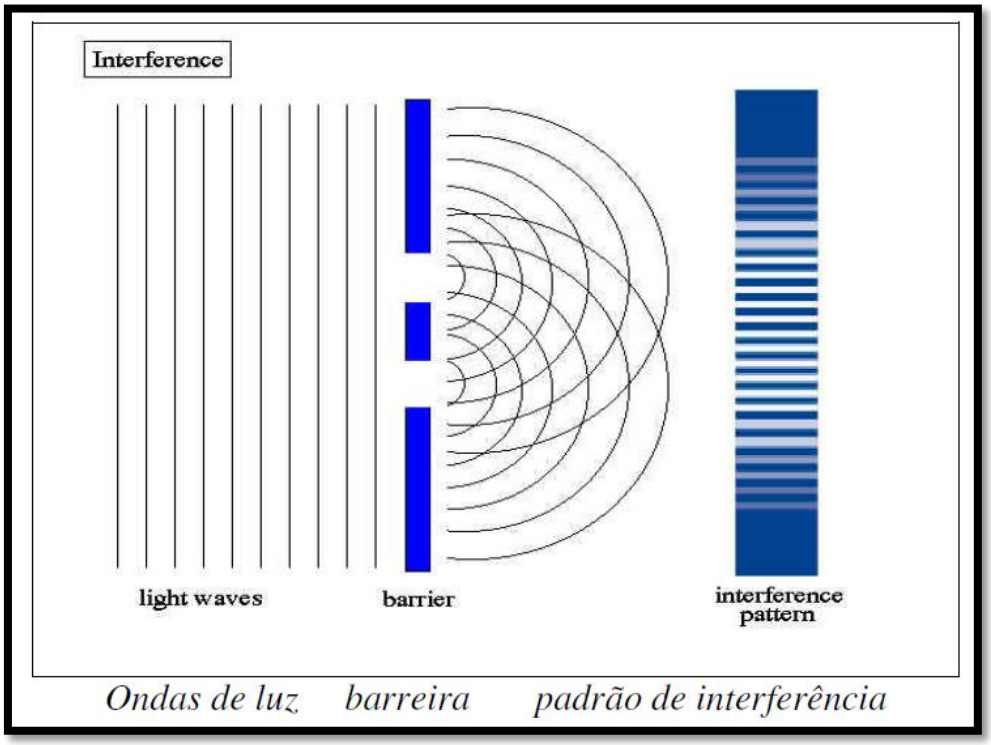
III.23 - Natureza morta e um relógio preto (1869-1871), de Paul Cézanne.
Fonte: The Yorck Project: 10.000 Meisterwerke der Malerei. DVD-ROM, 2002

A literatura viu o surgimento do ramo literário conhecido como Ficção Científica, apresentando obras como *A máquina do Tempo* de H.G. Wells. Não há dúvidas que o século XIX foi um grande período de transformações e dessa vez não apenas na sociedade europeia mas em todo o globo.

III.5.1 – A Luz e o éter

O século XIX foi um período muito rico e de grandes desenvolvimentos científicos. Foram tantas realizações que não caberia falar sobre tudo aqui nesse trabalho, porém, não podemos deixar de citar alguns casos e questões fundamentais que promoveram uma nova mudança no estilo de pensamento da física de alguns grupos de cientistas.

Nesse período, uma grande discussão estava ocorrendo acerca da "*verdadeira"* natureza da luz. Afinal, ela se propaga instantaneamente ou possui uma velocidade bem definida? Ela depende ou não de um meio para se propagar? Ao longo do século XVIII, com o sucesso da mecânica de Newton, outras teorias suas foram aceitas pela comunidade científica, incluindo a sua visão de que luz era composta por pequenos corpúsculos. Porém, no início do século XIX, a observação de novos fenômenos luminosos, tais como a difração, a interferência e a polarização acabaram colocando em xeque a visão corpuscular da luz (FORATO, 2009).



III.24 - Representação da Interferência das ondas.
Fonte: Forato, 2009

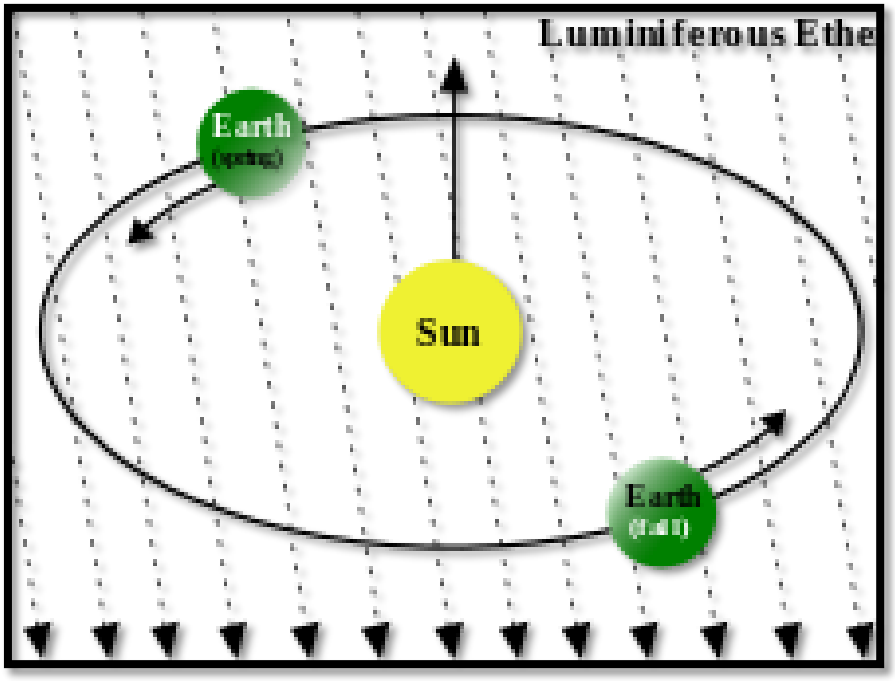
Na tentativa de explicar tais fenômenos, Thomas Young (1773-1829), Augustin-Jean Fresnel (1788-1827), François Jean Dominique Arago (1786- 1853) e tantos outros, ao se basearam nas teorias de um contemporâneo de Newton chamado Christian Huygens (1629-1695), contribuíram para o desenvolvimento de uma nova

forma de explicar a luz. Segundo eles, a luz seria uma perturbação que se propagava por um meio chamado éter. Se baseando nessa afirmação e nos trabalhos desenvolvidos por Michael Faraday (1791-1867) e outros físicos dessa época, James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu equações matemáticas que sintetizaram diversas teorias ligadas à eletricidade e ao magnetismo. Tais conhecimentos introduziram o conceito de campo na Física, algo que serviu até mesmo para explicar a ação a distância entres os corpos celestes (ROSA, 2012). Tal trabalho realizado por Maxwell e tantos outros físicos desse período contribuiu para explicar a luz como sendo uma oscilação entre os campos elétricos e magnéticos, ou seja, uma onda eletromagnética (FORATO, 2009).

Como o sucesso das equações de Maxwell e do desenvolvimento do eletromagnetismo, os físicos da segunda metade do século XIX acabaram aceitando que a luz seria mesmo uma onda eletromagnética. Entretanto, ao fazer uma analogia com as ondas mecânicas (que se propagam através de um meio material), um novo problema havia surgido: a onda mecânica é uma perturbação que se propaga por um meio material, assim, a luz também deveria se propagar através de um meio, mesmo que não fosse necessariamente material (FORATO, 2009). Diversos cientistas (Fresnel, Fizeou, Michelson e Morley) construíram diversos experimentos para tentar encontrar tal meio, que ficou conhecido como éter luminífero[18].

Uma forma de identificar o éter seria realizar um experimento que pudesse detectar o “vento de éter” sobre a Terra. O nosso planeta viaja tremendas distâncias em sua orbita ao redor do sol com uma velocidade em torno de 30 km/segundo. De acordo a teoria do éter luminífero, a Terra poderia estar, a todo momento, se movendo através de um éter e produzindo um "Vento Etéreo" detectável.

[18] O Éter luminífero seria um meio elástico hipotético em que se propagariam as ondas eletromagnéticas. A ideia do Éter surgiu entre as discussões a respeito da natureza da luz, onde alguns defendiam que esta seria corpuscular, ou seja, dotada de matéria, já outros defendiam que a natureza da luz seria ondulatória. Com isso, o éter veio a contribuir com a ideia de que a luz seria uma onda, uma vez que precisaria de um meio material onde se propagar, e este meio foi chamado de éter. Suas características seriam tais que não alterariam as rotas dos planetas, sendo somente de interação com a luz, proporcionando meios para esta se locomover pelo espaço interplanetário e interestelar.



III.25 - Representação do vento de éter
Fonte: Wikimedia[19]

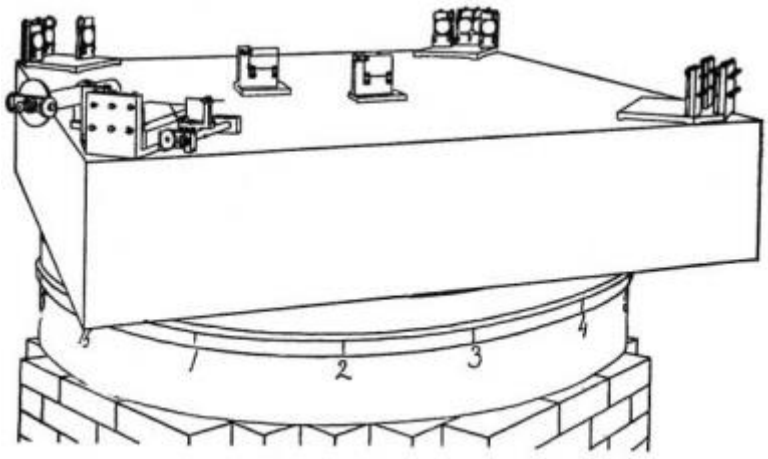
Em qualquer ponto da superfície da Terra, a intensidade e a direção do vento poderia variar no decorrer do dia (devido a rotação da Terra) e da estação do ano (devido a translação do planeta). Através da análise do vento aparente em vários momentos diferentes do dia, deveria ser possível separar os componentes relacionadas ao vento etéreo do movimento da Terra em relação ao sistema solar em qualquer situação de movimento deste mesmo sistema (MICHELSON e MORLEY, 1887).

Analogamente, o efeito do vento etéreo em ondas de luz deveria ser semelhante ao efeito do vento sobre as ondas de som. Sabemos que as ondas sonoras viajam em uma velocidade constante em relação ao meio que se encontram (considerando que seja um meio isotrópico e homogêneo). No ar, por exemplo, a velocidade do som consta ser igual a 340 m/s em relação ao solo. No entanto, se houver um vento de 20 m/s em relação ao solo, dentro dessa corrente de ar, teremos percepção diferente da velocidade do vento. Caso o som se propagar a favor do vento, ele terá uma velocidade igual a 360 m/s (340 m/s + 20 m/s) em relação ao solo. Porém, se o som se propagar em um sentindo contrário ao vento, ele terá uma velocidade igual a 320 m/s (340 m/s – 20 m/s) em relação ao solo). Sabendo disso e medindo-se a velocidade do som em ambos os sentidos, seria possível determinar a velocidade do vento. Fazendo o mesmo com o movimento terrestre, seria possível determinar o vento de éter.

Apesar das diversas tentativas nenhum cientista conseguiu identificar o éter. Em contrapartida, experimentos como os de Michelson (1852-1931) e Morley (1838-1923),

[19] Disponível em: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AetherWind.svg#filelinks;. Acesso em: Fev. de 2015

realizado em 1877, além de não conseguir atingir o objetivo, mostravam algo um tanto quanto peculiar: a velocidade da luz se apresentava sempre com o mesmo valor, algo em torno de 300 000 000 m/s. Isso mostrava que a Terra não parecia sentir os efeitos do suposto éter luminífero.



III.26 - Interferômetro de Michelson e Morley
Fonte: MICHELSON e MORLEY, 1887.[20]

Apesar de existirem explicações para tal fenômeno, elas eram baseadas no modelo clássico tendo o espaço e tempo como entidades absolutas. Além disso, de acordo com o eletromagnetismo de Maxwell, a luz é constituída de campos elétricos e magnéticos que oscilam enquanto viajam. Sendo assim, o que aconteceria se eu acompanhasse um feixe de luz mantendo a mesma velocidade da luz? De acordo com a relatividade de Galileu e a Mecânica de Newton, a luz pareceria algo imóvel e sem alteração. O problema é que de acordo a teoria de campos eletromagnéticos de James C. Maxwell (1831-1879), completada pela teoria do elétron de Lorentz, o que caracteriza a luz é exatamente a alteração continua dos campos, um pulso de luz estático não poderia existir. Além dessa falta de simetria entre a Relatividade de Galileu e o eletromagnetismo de Maxwell-Lorentz, a teoria eletromagnética preservava um sistema de referência privilegiado, o éter.

Em sua célebre conferência "*Os princípios da física matemática"*, apresentada no Congresso Internacional das Artes e das Ciências, em 1904, em St. Louis (EUA), Henri Poincaré (1854-1912), colocou diversos questionamento a respeito dos problemas a serem enfrentados pelos físicos do início do século XX. Segundo ele, *"A ciência esta*(ria) *a ponto de experimentar uma mudança de orientação?*" (REIS, GUERRA e BRAGA, 2005).

[20] Disponível em: http://www.aip.org/history/gap/PDF/michelson.pdf;. Acesso em fev. de 2015.

Portanto, é nesse contexto que muitos físicos, incluindo um jovem físico que trabalhava em um instituo de patentes na cidade de Berna está inserido. Esse jovem chamava-se Albert Einstein (1879-1955).

Nesse período ainda, os trens já haviam se tornado o meio de transporte mais utilizado na Europa (ZORZO, 2009). Como existiam muitos trens indo e vindo de diversas direções, era necessário que tantos os terminais ferroviários, quanto os próprios maquinistas tivessem relógios bem sincronizados. Por esse motivo, muitos técnicos e engenheiros estavam desenvolvendo diversas patentes para fabricar relógios mais sincronizados (GALISON, 2005). Por trabalhar em um instituo de patentes Albert Einstein teve acesso aos mais diversos inventos de relógios elétricos. Isso pode ter feito com ele refletisse bastante acerca do tempo e do problema de sincronização (GALISON, 2005).

Einstein tinha uma preocupação estética em relação às explicações para a natureza, isso o fez pensar que a falta de simetria entre a mecânica e o eletromagnetismo parecesse insustentável. Na tentativa de resolver esse problema em 1905 (*O ano miraculoso de Einstein*) ele publica um artigo chamado "*Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento*".

III.5.2 – A Eletrodinâmica dos corpos em movimento

Apesar de conter poucas páginas o artigo publicado em 1905, por Einstein, foi um verdadeiro marco história da Física. Além de ter contribuído para a resolução do problema da falta de simetria entre o eletromagnetismo de Maxwell-Lorentz - mesmo isso não sendo um problema para Lorentz e outros - e a Mecânica de Galileu-Newton, este trabalho, que partiu de diversas protoideias, contribuiu para que um novo *estilo de pensamento* se fosse aceito por grande parte dos físicos, algo que mais tarde viria ser conhecida como "*Teoria da Relatividade*". Ao propor reformular a eletrodinâmica dos corpos em movimento para que este estivesse em conformidade com o princípio da relatividade (na qual as leis dos fenômenos físicos não dependessem de mudanças de referenciais inerciais), Einstein apresentou uma condição de covariância, ou seja, uma forma de transformação para uma certa grandeza devido as suas condições em relação a um referencial coordenado (EINSTEIN e INFELD, 2008).

De acordo com o trabalho de Einstein, o princípio da relatividade galileana e o problema da constância da velocidade da luz era algo adequável. No entanto, a lei da adição das velocidades proposta por Galileu deveria ser abandonada, já que, uma vez que a velocidade de um corpo seja sempre definida como a relação da distância percorrida pelo tempo gasto, seria necessário um novo significado para relação entre ambos. Inspirado em trabalhos como os de Poincaré e Ernst Mach (1838-1916)

(POJMAN, 2011), Einstein se propôs a buscar uma nova compreensão para o tempo e o espaço. Com isso, ele trouxe uma nova compreensão para a simultaneidade entre as observações de um determinado evento.

Para iniciar suas discussões, Einstein toma como ponto de partida dois postulados básicos:

> *"1. A velocidade da luz no vácuo é a mesma em todos os SC (sistemas de coordenadas) que se movem uniformemente uns em relação aos outros. 2. Todas as leis da Natureza são as mesmas em todos os SC que se movem uniformemente uns em relação aos outros." (EINSTEIN, 2001).*

A partir desses postulados, ele faz uma discussão sobre a simultaneidade, sobre o que é o movimento e o repouso dos corpos, além da própria ideia do tempo e do espaço.

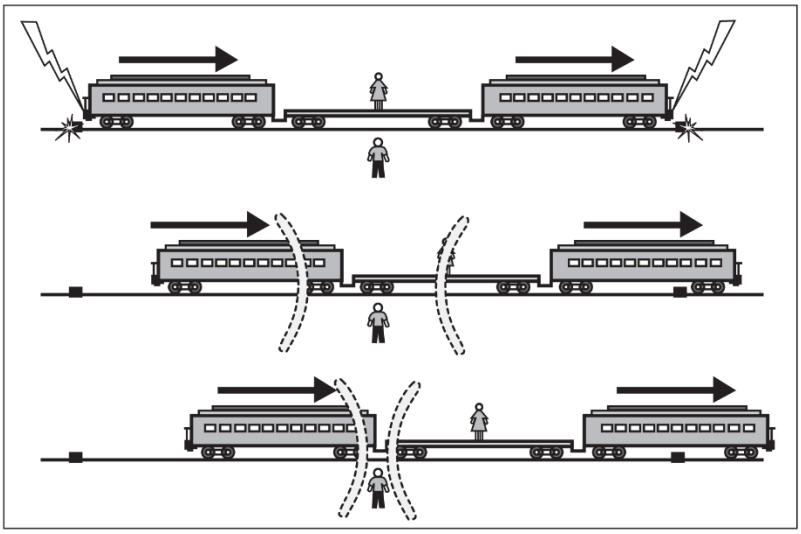
III.5.3 – A relatividade da simultaneidade

A simultaneidade de um evento foi algo que mereceu uma atenção especial no trabalho de Einstein. Talvez pelo fato de ter uma relação direta com a patente dos relógios e pelos trens serem os meios de transporte mais utilizado na Europa (GALISON, 2005), Einstein apresentou seus argumentos utilizando um trem como exemplo em diversos momentos de seu artigo de 1905. Utilizando essa analogia (do movimento de um trem) o físico realiza uma discussão sobre a simultaneidade. Assim, quando dizemos que uma coisa é simultânea é porque dois eventos estão ocorrendo no mesmo momento. Se falarmos que um trem chegou a uma estação às 7 horas da manhã, significa que a sua chegada ocorreu simultaneamente com a posição de um ponteiro de um relógio na marcação das 7 horas (EINSTEIN, 2001).

Antes da relatividade de Einstein, a simultaneidade era algo bem estabelecida pelas leis de Newton. Afinal, de acordo com a mecânica clássica, os fenômenos físicos sempre ocorrem de forma instantânea. Com o trabalho de Einstein, a velocidade da luz no vácuo seria a velocidade limite no universo, onde ela tem o mesmo valor para todos os observadores, qualquer que seja o seu estado de movimento ou o movimento da fonte. Assim, todos os fenômenos físicos sempre acontecem em um tempo finito e não instantaneamente. Esse postulado trouxe diversas consequências a estrutura da mecânica newtoniana e a primeira dela foi a noção de simultaneidade entre a ocorrência de um evento e a observação desse evento.

Se a velocidade da luz é o limite de velocidade no universo, quem pode me afirmar que o trem realmente chegou a estação as 7 horas da manhã? A marcação do

relógio do maquinista ou a marcação do relógio da estação? Ou ainda a marcação do relógio de uma pessoa que esteja em outro trem, ainda em movimento? Os relógios alterarão sua posição entre 6:59 para 7:00 no mesmo instante que o trem chega a estação? Se dois indivíduos observam um dado evento – um deles está dentro de um trem, exatamente no meio dele, e outro está fora do trem, no meio do trecho entre duas marcas no solo – eles terão conclusões diferentes sobre o mesmo evento. Se o observador no solo disser que dois raios caíram simultaneamente, isso significa que o brilho dos dois relâmpagos o alcançou no mesmo instante. Por outro lado, o observador dentro do trem observará os raios caírem em momentos diferentes, assim, ele dirá que os dois raios não caíram simultaneamente.



III.27 - Exemplo da relatividade da simultaneidade.
Fonte: TQN[21]

Isso ocorre porque o observador que está dentro do trem, que se desloca para a direita, vai de encontro ao relâmpago da parte da frente do trem ao mesmo tempo que se afasta do relâmpago que vem da extremidade traseira do trem. Com isso, o relâmpago da parte de trás deve percorrer uma distância maior que o da frente para chegar até o observador. Como a velocidade da luz é constante, o relâmpago da frente o atinge antes do que vem de trás. É claro que, para se observar esse efeito, o trem deveria viajar com uma velocidade próxima à da luz.

Para Einstein pode existir eventos que, para alguns observadores, podem ser simultâneos, mas para outros não. Isso ocorre porque, quando há dois observadores em movimento entre si e a velocidade da luz é a mesma para ambos, eles veem coisas diferentes.

[21] Disponível em: http://0.tqn.com/d/np/einstein/87-1.png;. Acesso em fev. de 2015

III.5.4 – O espaço e o tempo relativos

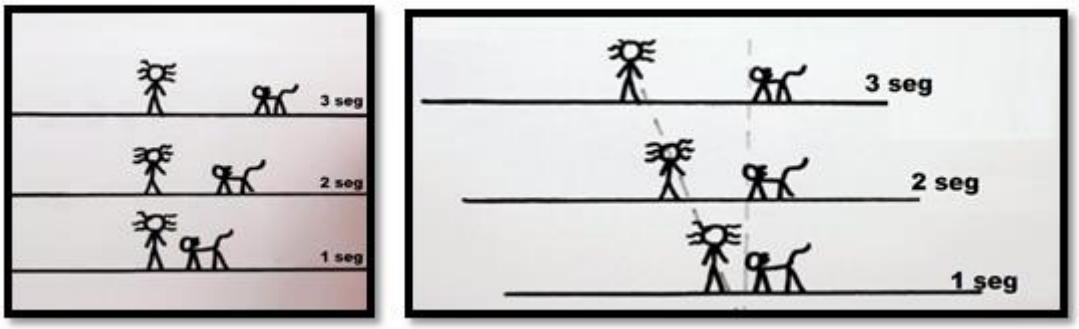
Quando se pensa em um espaço geométrico normalmente se tem a concepção de que é algo formado por três dimensões representado pelos sistemas coordenados (SC) x,y,z (largura, profundidade e altura). Uma caixa de madeira cúbica, por exemplo, possui tais dimensões. No entanto, ao refletir um pouco mais sobre a tridimensionalidade espacial, é possível encontrar alguns problemas de cunho filosófico e até mesmo físico.

Desde o período renascentista, o estudo do espaço geométrico ganhou destaque, principalmente no estudo academista das artes (HAUSER, 2003). A partir daquele momento, o espaço geométrico passou a ser compreendido como algo formado por três dimensões. No entanto, ainda no século XVIII não havia uma unanimidade por parte dos pensadores sobre tais dimensões espaciais. Immanuel Kant (1724-1804) foi um dos primeiros a falar que a tridimensionalidade do espaço era um problema da física. Ele considerou que os espaços poderiam ter dimensionalidades diferentes das três conhecidas (JAMMER, 2010). Outra personalidade na história da ciência que argumentou contra a tridimensionalidade espacial foi Carl Friedrich Gauss (1777-1855), que ao enviar uma carta para Christian Ludwig Gerling (1788-1864) fez uma referência sobre uma generalização de suas considerações sobre simetria e a congruência para uma geometria com mais de três dimensões, “da qual nós, seres humanos, não temos qualquer intuição, mas que, considerada *in abstracto*, não é inconsistente.” (JAMMER, 2010). Em um artigo escrito em seu último ano de vida, o próprio Poincaré apresentou uma ideia de dimensão e se interessou explicitamente pelas implicações físicas e filosóficas desse conceito. Afinal, como podemos afirmar que o espaço tem apenas três dimensões?

Não iremos nos aprofundar na discussão em relação ao que é uma dimensão espacial, pois não faz parte do objetivo desse trabalho. No entanto, como visto, a tridimensionalidade do espaço era algo questionável. O que Einstein fez com o seu trabalho nesse primeiro momento foi manter a tridimensionalidade espacial, mas acrescentou uma dimensão a mais nessa fórmula: o tempo. Ou seja, além de possuir uma característica espacial, um corpo também possui uma característica temporal (EINSTEIN e INFELD, 2008). A caixa citada anteriormente, por exemplo, nem sempre foi uma caixa, em algum momento a madeira que constitui a caixa ainda fazia parte de uma árvore, assim como também em algum momento no futuro essa caixa poderá quebrar e formar apenas alguns pequenos pedaços de madeira que podem, inclusive, servir de matéria prima para algum outro objeto. Além disso, a caixa pode ainda vir a queimar e deixar de ser madeira. Ou seja, em algum momento no futuro a caixa poderá

não ser mais a caixa. Logo, as três dimensões espaciais atribuídas a caixa só fazem sentido em um momento bem estabelecido.

Em seu artigo de 1905, Einstein apresentou um novo conceito de espaço-tempo, algo bem diferente do estilo de pensamento aceito pelos físicos da época. Tais grandezas, que antes eram absolutas se tornam relativas e dependendo do estado de movimento de um corpo, irão se comportar de forma diferente em relação a um referencial. Em uma situação hipotética na qual um pequeno gato, inicialmente em repouso começa a se afastar de um observador, pode-se ter duas situações distintas. Na primeira, em que o observador é tomado como referencial, quem está em movimento é o gato. No entanto, mudando um pouco o sistema de referencial (no referencial do gato), quem está em movimento é o observador.

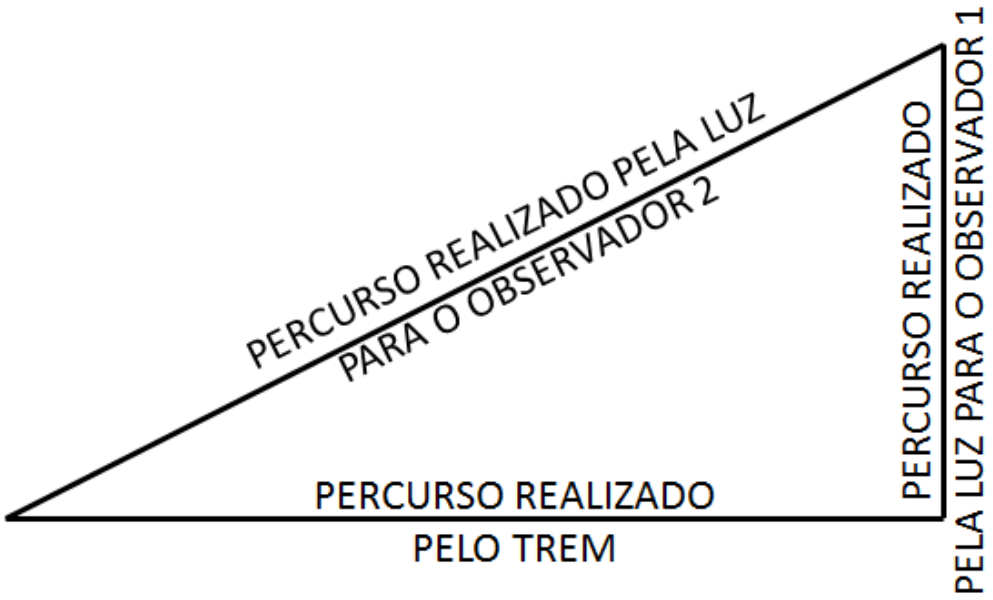


III.28 - Exemplo da relatividade de Galileu
Fonte: adaptado pelo autor

Apesar do ponto de vista dos observadores serem diferentes, existe algo que nunca muda, a distância entre os dois a cada momento considerado. Como o exemplo está de acordo com a relatividade de Galileu e as leis de Newton, o movimento pode ser algo relativo, mas a distância (e até mesmo o espaço) e o tempo são grandezas absolutas, já que não importa a mudança de referencial os dois continuarão sendo medidos da mesma forma. No entanto, com a Teoria da Relatividade de Einstein a velocidade da luz é que se tornou uma grandeza absoluta. Com isso, teríamos problemas em explicar o caso acima caso fosse a luz que estivesse se movimentando em relação aos observadores.

Para compreender o que ocorre com o tempo e espaço apresentado por Einstein, tomaremos a seguinte situação: Imagine novamente o trem de Einstein, aquele trem que se move com uma velocidade incrivelmente alta. Nesse trem hipotético, existe uma pessoa em seu interior (observador 1) e uma pessoa em repouso do lado de fora (observador 2). A pessoa que está no interior do trem está com uma lanterna apontada para o teto do trem, onde existe um espelho que irá refletir a luz. Assim, quando a luz é emitida pela lanterna, percorre certa distância até o teto e depois retorna. Como o

observador 1 está se movimentando junto ao trem, ele apenas verá a luz caminhando para cima e depois para baixo (imaginando que essa pessoa tenha a capacidade de observar a luz em sua enorme velocidade). No entanto, o observador 2 irá ver a luz se movimentando na diagonal, tanto para subir, quanto para descer. Como a velocidade da luz possui um valor absoluto, ambas pessoas vão observar a luz com um valor igual a **c**. Isso gera um problema: Se os dois vão medir a mesma velocidade para a luz, o que acontece com o tempo gasto por ela no percurso, visto que os dois observam trajetórias percorridas diferentes?



III.29 - Diagrama da trajetória da luz
Fonte: elaborado pelo autor

O diagrama acima mostra o percurso realizado pelo trem e pela luz para os dois observadores. Tais percursos podem ser determinados pelas equações cinemáticas:

$$\Delta S_{TREM} = v.\Delta t$$
$$\Delta S_{LUZ(01)} = c.\Delta t_0$$
$$\Delta S_{LUZ(02)} = c.\Delta t$$

Onde:

$\Delta S_{TREM} \rightarrow Corresponde\ ao\ percurso\ realizado\ pelo\ trem;$

$\Delta S_{LUZ\ (01)} \rightarrow Percurso\ realizado\ pela\ luz\ para\ o\ observador\ 1;$

$\Delta S_{LUZ\ (02)} \rightarrow Percurso\ realizado\ pela\ luz\ para\ o\ observador\ 2;$

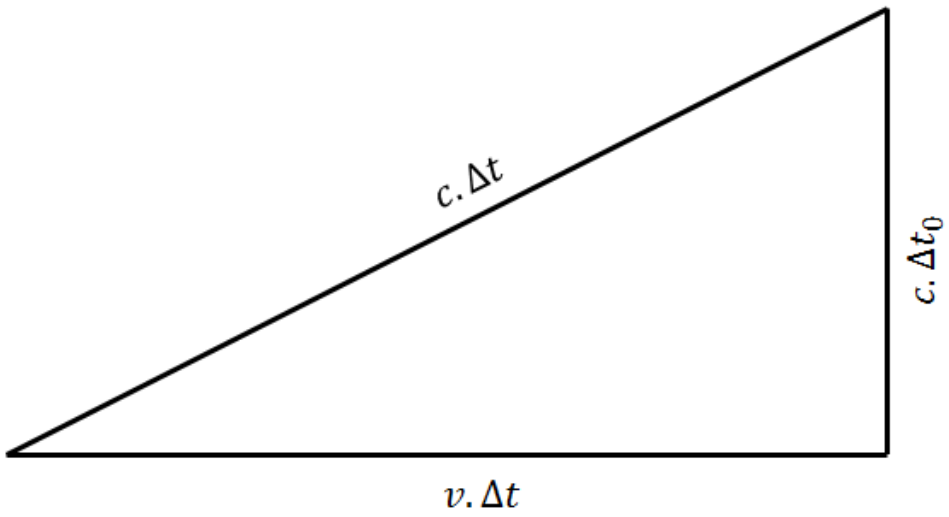
$v \rightarrow corresponde\ a\ velocidade\ do\ trem\ para\ o\ observador\ 2;$

$c \rightarrow corresponde\ a\ velocidade\ da\ luz\ no\ vácuo;$

$\Delta t \rightarrow tempo\ medido\ pelo\ relógio\ do\ observador\ 2;$

$\Delta t \rightarrow tempo\ medido\ pelo\ relógio\ do\ observador\ 1;$

Assim, é possível representar o diagrama acima da seguinte forma:



III.30 - Espaço percorrido pela luz
Fonte: elaborado pelo autor

Como o diagrama em questão pode ser representado por triângulo retângulo, é possível utilizar o Teorema de Pitágoras para relacionar os três percursos:

$$(c.\Delta t)^2 = (c.\Delta t_0)^2 + (v.\Delta t)^2$$

$$c^2.\Delta t^2 = c^2.{\Delta t_0}^2 + v^2.\Delta t^2$$

$$c^2.\Delta t^2 - v^2.\Delta t^2 = c^2.{\Delta t_0}^2$$

$$\Delta t^2.(c^2 - v^2) = c^2.{\Delta t_0}^2$$

Multiplicando por $\frac{1}{c^2}$ em ambos os lados da expressão:

$$\Delta t^2 . \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = {\Delta t_0}^2$$

$$\Delta t^2 = \frac{{\Delta t_0}^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta t^2 = {\Delta t_0}^2 . \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\Delta t = \Delta t_0 . \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}}$$

$$\Delta t = \Delta t_0 . \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$ [22]

Observando essa transformação, fica fácil perceber que o tempo medido pelo relógio de um observador externo ao trem será maior que o tempo medido que observador que se encontra no trem. Tal situação foi chamada de dilatação do tempo. Essa nova forma de enxergar o tempo trouxe uma nova concepção para o que era o próprio tempo. O caso é que, se o tempo sofreu uma alteração, ou seja, se ele agora é relativo e não mais absoluto, o que acontece com o espaço? Como o tempo ou intervalo de tempo não é mais absoluto e depende do SC adotado, o espaço também vai depender de um referencial.

Voltando ao caso do trem, vamos supor agora que o observador sobre a plataforma coloca uma régua paralela à velocidade do trem e anota os instantes de tempo quando o observador dentro do trem passa pelas extremidades da régua (é bom

[22] O fator de transformação: $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ é conhecido como fator de Lorentz-FitzGerald.

deixar claro novamente que nossa pessoa imaginaria teria a capacidade realizar tal fato). O observador dentro do trem também anota os instantes de tempo quando ele passa pelas extremidades da régua e obtém Δt_0 (tempo próprio). Chamando de comprimento próprio (L) o comprimento que é medido no referencial da régua, ou seja, o comprimento medido pela pessoa que está fora do trem (em repouso em relação a régua) e chamando de comprimento relativo (L_0) o comprimento que é medido pela pessoa que se encontra dentro do trem (em movimento em relação à régua), tem-se que $L=v.\Delta t_0$, que $L_0=v.\Delta t$. Realizando uma relação entre o comprimento próprio (L) e o comprimento relativo (L_0), tem-se que:

$$\frac{L_0}{L} = \frac{v.\Delta t}{v.\Delta t_0}$$

$$\frac{L_0}{L} = \frac{\Delta t}{\Delta t_0}$$

$$\frac{L_0}{L} = \frac{1}{\Delta t_0} \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

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

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

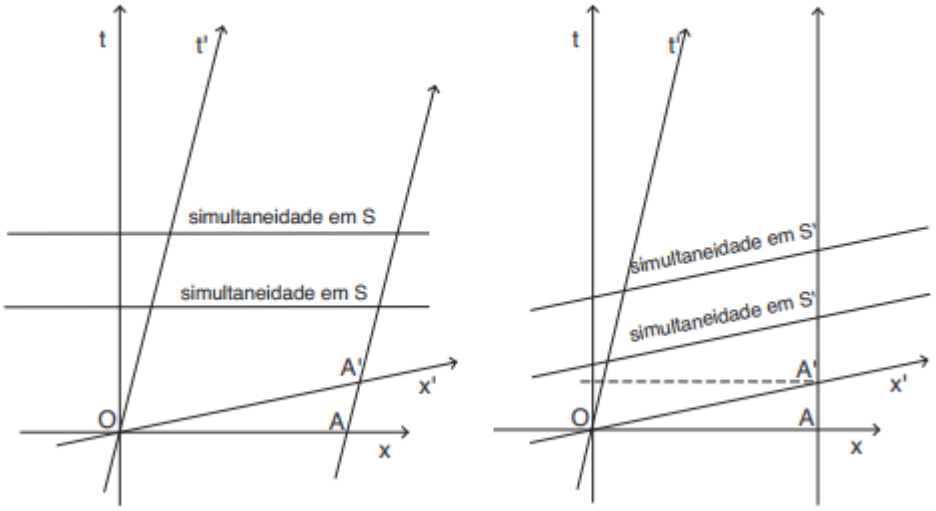
Ou seja, uma pessoa que se encontra em repouso em relação à régua medirá um comprimento menor do corpo que se encontra em movimento em relação a régua. Esse fenômeno recebe o nome de contração do espaço. Essa contração do espaço foi proposta pela primeira vez pelo físico George F. Fitzgerald (1851-1901) e expressa

matematicamente por Hendrik A. Lorentz (DISALLE, 2009). No entanto, esses dois físicos lançaram a hipótese de que era a matéria que sofria contração. Einstein, por outro lado, seguiu num caminho totalmente novo e diferente. Para ele, o que sofria contração não era o objeto, mas sim o próprio espaço.

Com essa relação estabelecida, as transformadas de Galileu precisaram sofrer uma alteração devido a relatividade do movimento. Com isso, ela passou a contar com o fator de Lorentz- Fitzgerald em suas equações.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad y' = y \qquad z' = z \qquad t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Em 1908, Hermann Minkowski (1864-1909) desenvolveu e apresentou um diagrama que mostrava a simultaneidade de um evento para dois observadores (CRAWFORD, 2012).



III.31 - Diagrama de Minkowski para a Simultaneidade entre os eventos
Fonte: CRAWFORD, 2012

III.5.5 – A relação massa-energia

Apesar de não ser o foco principal desse trabalho, não se pode deixar de falar sobre outro artigo de 1905, a relação massa-energia. Segundo essa relação, um corpo qualquer possui “energia de existência”, mesmo que não esteja interagindo com nenhum corpo e que se encontre em repouso. Tal energia ficou conhecida como energia de repouso. Einstein chegou à conclusão que para haver massa era necessário que

houvesse energia. A quantidade de energia associada a quantidade de massa ficou conhecida pela famosa equação $E=m.c^2$

III.5.6 – A Relatividade Geral de Einstein

Com a publicação da Teoria da Relatividade Restrita, Einstein conseguiu resolver o problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento. No entanto, a princípio ele recebeu algumas críticas (JAMMER, 2010). Uma dessas ponderações veio através de Paul Langevin (1872-1946), que em 1911, na Primeira Conferência de Solvay, apresentou um experimento mental conhecido como o “Paradoxo dos Gêmeos”. Essa experiência mostrava algumas contradições aparentes na relatividade de Einstein (CRAWFORD, 2012).

O experimento mental de Langevin apresentava dois gêmeos, A e B. Por serem gêmeos, os indivíduos A e B são idênticos e possuem exatamente a mesma idade. Agora supondo que o irmão B fosse colocado a bordo de uma espaçonave (imaginária novamente) para viajar através do cosmo com uma velocidade muito próxima da velocidade da luz, enquanto que o seu irmão, o indivíduo A, fique na Terra. Passados alguns anos terrestres a nave na qual o irmão B embarcou retornaria a Terra. A premissa básica é pensar que ambos os irmãos terão a mesma idade e que o fato do irmão B ter estado algum tempo viajando próximo a velocidade da luz não importa. Só que a relatividade mostra que essa resposta é incorreta. Como objetos à velocidade próxima a da luz têm uma dilatação temporal menor que objetos em repouso, o gêmeo B estaria mais novo que o gêmeo A, pois sofreu menos a ação do tempo. Apesar de ambos os irmãos concordarem que o tempo que passaram separados foi o mesmo, o irmão A mostraria significativa diferença de idade em relação ao irmão B se o tempo da viagem for longo o suficiente. O problema com isso é que o gêmeo B, vendo por uma janela poderia dizer que a sua nave ficou parada enquanto a Terra se afastava juntamente ao gêmeo A. Na perspectiva do irmão B, seria o irmão A que deveria estar mais novo e isso leva a uma contradição lógica. Afinal, qual dos dois irmãos realmente ficou mais novo?

De acordo com Paulo Crawford (CRAWFORD, 2012) existe um problema de simetria nesse exemplo, pois o gêmeo teve que desacelerar e acelerar de volta em algum momento da viagem, isso seria necessário para corrigir o problema do paradoxo. Porém nos anos de 1915 e 1917, no auge da primeira guerra mundial, Albert Einstein publicou dois novos artigos que tratavam de casos em que houvesse aceleração e desaceleração. O primeiro chamado “As equações de campo da gravitação” e o segundo “Considerações cosmológicas na Teoria Geral da Relatividade (TRG)”. Nesses artigos, Einstein trouxe novamente algo totalmente novo. Dessa vez ele realizou uma generalização do que havia feito antes. A TRG veio para generalizar o conhecimento

que se tinha sobre a gravitação e sua estranha interação com a matéria, onde é bem mais fácil de se perceber, mas difícil de ser explicada.

Pensando em relação ao problema dos irmãos, o enunciado parte de uma premissa errada (CRAWFORD, 2012). Na relatividade restrita, a simultaneidade de acontecimentos não é garantida entre referenciais movendo-se um em relação ao outro. Por esse motivo, não faz sentido comparar o correr do tempo para o gêmeo A com o correr do tempo para o gêmeo B sem referir qual o referencial em que essa comparação está a ser feita. No entanto, existe uma quebra de simetria fundamental no problema: somente o irmão A pode afirmar que esteve todo o tempo em um mesmo referencial inercial, a Terra, enquanto que o irmão B saiu do referencial inercial Terra e foi para um referencial movendo-se a velocidade constante em relação ao primeiro; mais tarde, teve de inverter o sentido do movimento (outra mudança de referencial inercial) e, finalmente, regressar ao referencial em que se encontrava à partida (uma terceira mudança de referencial inercial).

Assim, a comparação do correr do tempo pode ser feita no referencial inercial da Terra - que foi onde A sempre esteve e de onde B partiu e chegou - e se conclui que A é mais velho do que B. Estas mudanças de referencial inercial implicam uma aceleração, e B, enquanto acelerado, encontra-se num referencial não-inercial. Como visto, a relatividade restrita só se aplica a referenciais inerciais. O caso dos gêmeos precisa então de uma nova solução, algo que seja aplicável a referenciais não inerciais. A Relatividade Geral de Einstein conseguiu resolver tal problema.

Uma forma simples de entender como a gravidade é tratada na Relatividade Geral é imaginar uma cama elástica bem esticada e sobre a mesma por um corpo dotado de massa, onde, ao se fazer isso se observa que a superfície da cama elástica fica distorcida. De acordo com essa analogia, o mesmo acontece com a estrutura do universo, onde, admitindo que o contínuo espaço-tempo seja uma malha, e os corpos quaisquer e astros celestes sejam corpos massivos, o espaço se curva (EINSTEIN e INFELD, 2008). E em termos simples, a gravidade seria um campo curvo no contínuo espaço-tempo. Em outras palavras, a Teoria da Relatividade Geral afirma que tais efeitos se devem à forma geométrica assumida pelo próprio espaço-tempo quando está disposto a um corpo detentor de massa. No entanto, como Einstein chegou a esse conhecimento?

Uma das questões fundamentais que ainda não havia sido resolvida, desde a época de Newton: o sistema inercial existe? Newton, apresentou a ideia de um espaço absoluto para conseguir estabelecer sua ideia de sistema inercial. Porém, o espaço absoluto e a ideia do éter já havia sido abandonada pela teoria da relatividade restrita. No entanto, a Relatividade Restrita, juntamente com as transformações de Lorentz é

válida apenas para sistemas inerciais em movimento uniforme. Assim, de acordo com o próprio Einstein, apesar de conhecer as leis sobre os sistemas inerciais, não sabemos sobre o que elas se referem (EINSTEIN e INFELD, 2008). Em um livro publicado em 1938, Einstein aborda esse tema e tenta responder o que é um sistema inercial apresentando uma entrevista ficcional com um velho físico.

> *"- O que é um sistema inercial? - É um SC no qual as leis da mecânica são válidas. Um corpo no qual nenhuma força externa atua, move-se uniformemente em tal SC. Esta propriedade habilita-nos a distinguir um SC inercial de qualquer outro. -Mas que quer dizer "nenhuma força externa atua"? -Quer dizer que o corpo se move uniformemente num SC inercial. Aqui poderíamos propor mais uma questão: "Que é um SC inercial?" Mas como há poucas esperanças de obter resposta diferente da anterior, experimentaremos conseguir algo mais concreto com a modificação da pergunta. - É inercial um SC rigidamente ligado à Terra? - Não, por que as leis da mecânica não são rigorosamente ligadas ao Sol, pode, para muitos problemas, ser considerado inercial; mas quando consideramos o Sol não é rigorosamente inercial. - Então que é, concretamente, esse SC inercial, e como pode ser determinado o seu estado de movimento? - É meramente uma ficção útil, mas não tenho ideia de como se realiza. Se eu pudesse afastar todos os corpos materiais e libertar-me de todas as influências externas, o meu SC seria então inercial. - Mas que quer dizer com um SC livre de todas as influências externas? E novamente retornamos à questão do princípio."* (EINSTEIN e INFELD, 2008)

Essa entrevista mostra uma série de dificuldades da ciência clássica, ou seja, temos leis, mas não sabemos a que aplicá-las, de modo que toda a nossa estrutura física parece ser construída sobre areia. Pensando nisso, Einstein faz uma crítica a física clássica e diz que é preciso generalizar a relatividade restrita, que é um caso especial para os sistemas inerciais, para um sistema mais amplos. Com isso, ele quer construir uma nova física válida para todos os sistemas. De acordo com Einstein, a lei da inércia trata-se de um marco inicial na Física, já que foi apreendida pela contemplação de uma experiência idealizada – um corpo em perpétuo movimento, sem nenhum atrito, nem nenhuma força externa atuando nele (EINSTEIN e INFELD, 2008). Esse exemplo mostra como a é importante a idealização na Física.

Em 1907, Einstein apresenta o princípio da equivalência. Para compreender o princípio da equivalência, tomaremos o seguinte exemplo: Supondo que uma pedra seja abandonada no interior de um foguete totalmente fechado. Em uma 1ª situação, o

foguete está em repouso próximo da superfície da Terra. Assim, quando o corpo é abandonado ele cai com uma aceleração igual a aceleração da gravidade na Terra, ou seja, 9,8 m/s². Isso ocorre por causa da gravidade da Terra. Em uma 2ª situação, o foguete está sendo "empurrado" para "cima" com aceleração igual a 9,8 m/s², mas está muito distante da Terra ou de qualquer outro corpo. Nesse caso, a pedra não "cai", mas como o foguete vai subir com uma aceleração igual a 9,8 m/s², um observador em seu interior (acompanhando o movimento do foguete) terá a sensação de que a pedra está caindo (com aceleração igual a 9,8 m/s²).

Para quem está de fora do foguete, é possível diferenciar as duas situações. Assim, o 1º caso é explicado pela mecânica newtoniana através do conceito de massa gravitacional (a propriedade dos corpos de se atraírem gravitacionalmente). Já o segundo caso é explicado através do conceito de massa inercial (a propriedade dos corpos de resistir a mudança de movimento). Entretanto, para a pessoa que está trancada dentro do foguete não consegue distinguir uma situação da outra. Isso indica que para ela as duas explicações são indiferentes. A explicação para o caso apresentado acima recebe o nome de **princípio da equivalência local**. O Princípio da equivalência diz que dentro de um sistema fechado o campo gravitacional é equivalente a um referencial em movimento acelerado. Com isso, é possível concluir que a massa gravitacional é equivalente a massa inercial, ou seja: $m_{gravitacional} = m_{inercial}$ (EINSTEIN e INFELD, 2008).

Através do Princípio da Equivalência, Albert Einstein desenvolveu a Teoria da Relatividade Geral. Nesse trabalho, o conceito de campo gravitacional em um ponto torna-se desnecessário, basta conhecer as propriedades do movimento acelerado do corpo nesse ponto. Assim, às propriedades do espaço não se resumem apenas a um sistema de coordenadas espaciais, mas a um sistema de coordenadas mais complexos que tem relação com a massa dos corpos. A TRG faz ainda uma análise mais profunda do contínuo espaço-tempo e repensa o papel representado pela geometria na descrição do mundo físico.

No trabalho de 1908, Minkowski mostrou que o trabalho de Einstein seria melhor compreendido em um espaço de quatro dimensões, conhecido desde então como "*espaço-tempo de Minkowski*". No espaço de Minkowski, o tempo e o espaço não são entidades separadas, mas misturadas em um espaço-tempo de quatro dimensões, e no qual a geometria de Lorentz da relatividade especial pode ser muito bem representada (SANTOS, 2010). Observando essa questão quadrimensional, Einstein apresenta sua teoria se debruçando em um espaço-tempo. Além disso, a TRG, por ser mais geral, ataca o problema da gravitação e formula novas leis que estruturam o campo gravitacional. Considera o fato da igualdade da massa inercial e gravitacional como

essencial e não, como na mecânica antiga, meramente acidental. As consequências experimentais da relatividade geral diferem levemente das experiências da velha mecânica (SANTOS, 2010). A velha mecânica era totalmente baseada em um espaço geométrico euclidiano, entretanto os princípios de Euclides trazem alguns problemas.

Propondo uma nova interpretação, Einstein diz que a luz também se curva com a ação da gravidade. Bem, se a luz não tem massa, como é possível que a mesma mude sua trajetória ao ser submetida a um campo gravitacional? De acordo com o que foi apresentado, energia e massa são equivalentes, e, portanto, ainda que a luz não tenha massa tem energia, o que possibilita a ação da gravidade na mesma. Outra forma de entender esse mesmo fenômeno é pensar que a luz se curva porque ela se propaga num espaço-tempo com geometria curva, pois a presença de massa resulta numa curvatura do contínuo espaço-tempo. Assim, o tecido espaço tempo é melhor representando como uma geometria não euclidiana.

III.5.7 – Tempo, espaço e gravidade

A teoria da Relatividade Geral mostra um fenômeno decorrente da gravidade que afeta o tempo, pois, de acordo com essa teoria a gravitação faz o tempo correr mais vagarosamente. Na Relatividade Especial pode ser visto que a dilatação temporal depende da rapidez com que um sistema se move em relação a outro, já na relatividade geral tal dilatação depende da posição de um ponto em relação a outro no campo gravitacional, onde, quanto mais ao centro do campo, mais lentamente o tempo passa.

Da teoria da Relatividade Especial sabemos que as medidas de espaço e tempo sofrem transformações quando o movimento está envolvido, e na teoria geral as medidas de espaço diferem entre si em diferentes campos gravitacionais. Pode-se começar a entender que as medidas de espaço são alteradas num campo gravitacional considerando um sistema de referência acelerado, que de acordo com o princípio da equivalência é análogo à ação da gravidade. Segundo as ideias de Einstein, a gravidade torna o espaço euclidiano em um espaço não-Euclidiano. A partir dessa ideia se pode afirmar que todo objeto que possui massa cria uma saliência no espaço-tempo que o rodeia. Quando o objeto se move, a curvatura no contínuo espaço-tempo ao redor move-se também a fim de se ajustar a nova posição do objeto. Esses reajustes produzem ondulações na geometria resultante do espaço-tempo (JAMMER, 2010).

Todo esse desenvolvimento científico realizado por Einstein a partir de conhecimentos anteriores e contemporâneos fez com que o estilo de pensamento newtoniano na qual dizia que o espaço e o tempo eram entidades absolutas fosse aos poucos sendo substituído por um novo estilo de pensamento, na qual o espaço e o tempo se tornaram entidades relativas aos corpos. No entanto, diferente do que Leibniz

havia afirmado em seu tempo, para a mecânica de Einstein o espaço e o tempo não são entidade idealizadas mas que são grandezas ligadas em um contínuo espaço-tempo mantendo uma íntima relação com os objetos, sua massa e energia. O espaço-tempo de Einstein é alterado na presença de um corpo/energia e, consequentemente, também altera a posição de um corpo/energia.

III.6 – Construindo uma linha histórica a partir da epistemologia de Ludwik Fleck

Como visto, as concepções de espaço e de tempo apresentam um longo percurso histórico. Em cada um desses momentos estas concepções tiveram características diferenciadas. Além disso, o espaço e o tempo estavam imersos em estilos de pensamento de cada momento apresentado. Devido à enorme dificuldade de compreensão, não se pode definir o tempo e o espaço com poucas palavras, mas pode-se estabelecer certos parâmetros para conceitua-los. Por esse motivo, nas páginas seguintes, será apresentado de que forma tais conceitos estiveram presentes ao longo da história da Física. Para não incorrer ao erro de realizar um anacronismo não será realizado comparações diretas entre ideias apresentadas em contextos históricos completamente diferentes. Por esse motivo, como apresentado anteriormente, será utilizado o referencial epistemológico de Ludwik Fleck para direcionar o “olhar” desse trabalho para a história da ciência.

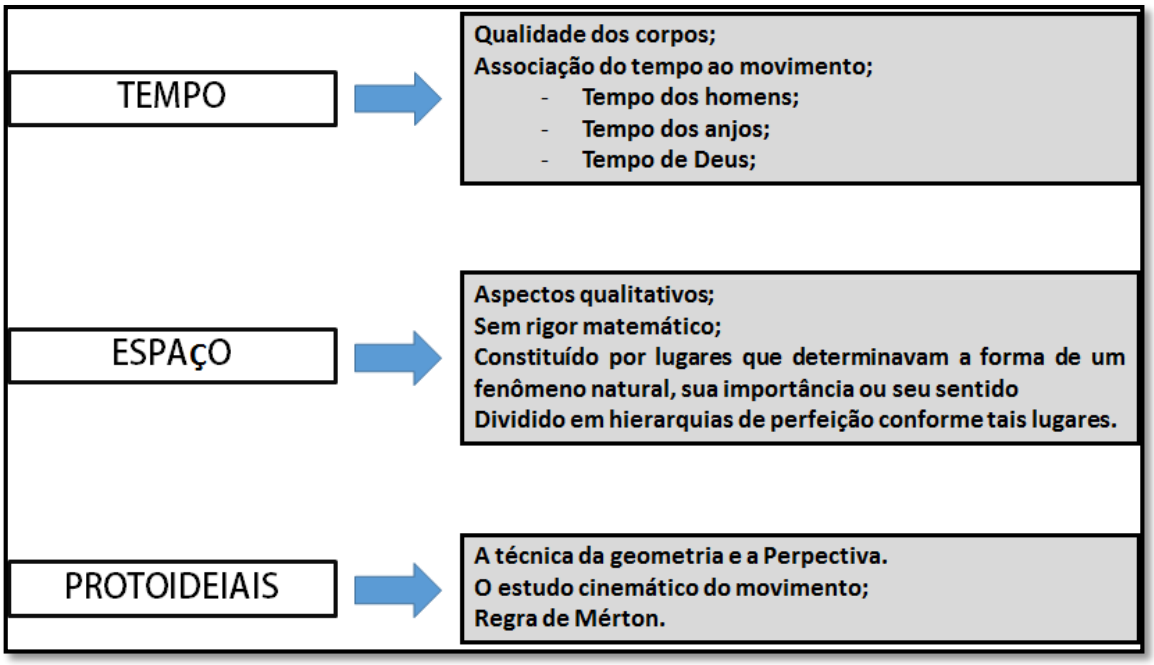
III.6.1 – O caráter transitório dos conceitos de espaço e de tempo

No século XIII, o estilo de pensamento compartilhado entre diversos filósofos da época se tratava do platonismo, visto que o próprio Agostinho de Hipona havia realizado uma unificação entre o pensamento platônico e a Igreja. Porém, começaram a surgir algumas protoideias que apresentavam uma visão que tendia ao aristotelismo. Essa mudança de estilo de pensamento se concretizou com os trabalhos de Tomás de Aquino. Aquino realizou a segunda unificação entre os pensamentos da Igreja com a lógica grega, mas dessa vez utilizou o pensamento de Aristóteles para tal.

O estilo de pensamento de Aquino apresentava o tempo e o espaço como qualidades inerentes aos corpos. Apesar de se afastar da ideia aristotélica de que o tempo sempre existiu, também associou o tempo ao movimento. Aquino defendeu a existência de três tipos de tempo: o tempo dos homens, o tempo dos anjos e o tempo de Deus. Nessas definições é percebido o caráter adjetivo dado ao tempo. Nesse período, o espaço também era representado apenas de forma qualitativa carente de dimensões, ou seja, não apresentavam aspectos mensuráveis ou algum rigor matemático. A arte bizantina, por exemplo, apresentava um paisagismo arquitetônico que não circunscreviam o espaço, fazendo apenas uma alusão a ele. Tal característica

era condizente a física aristotélico-tomista, em que o espaço topológico e topográfico estava dividido em hierarquias de perfeição conforme tais lugares.

Essa postura começou a sofrer alterações ainda no final da Idade Média através do "*resgaste"* de algumas obras da antiguidade grega. Na escola de Mérton já o estudo geométrico dos movimentos, através da geometria euclidiana, estabeleceu a regra da velocidade média. Na Itália, Frei Antonine pregava em muitos de seus sermões sobre uma ciência recém chegada na Itália, a tal Perspectiva. Toda a riqueza cultural na Itália renascentista e os estudos geométricos colaboraram para que um novo olhar para o espaço e o tempo fosse iniciado, dando início ao processo de geometrização de tais categorias.

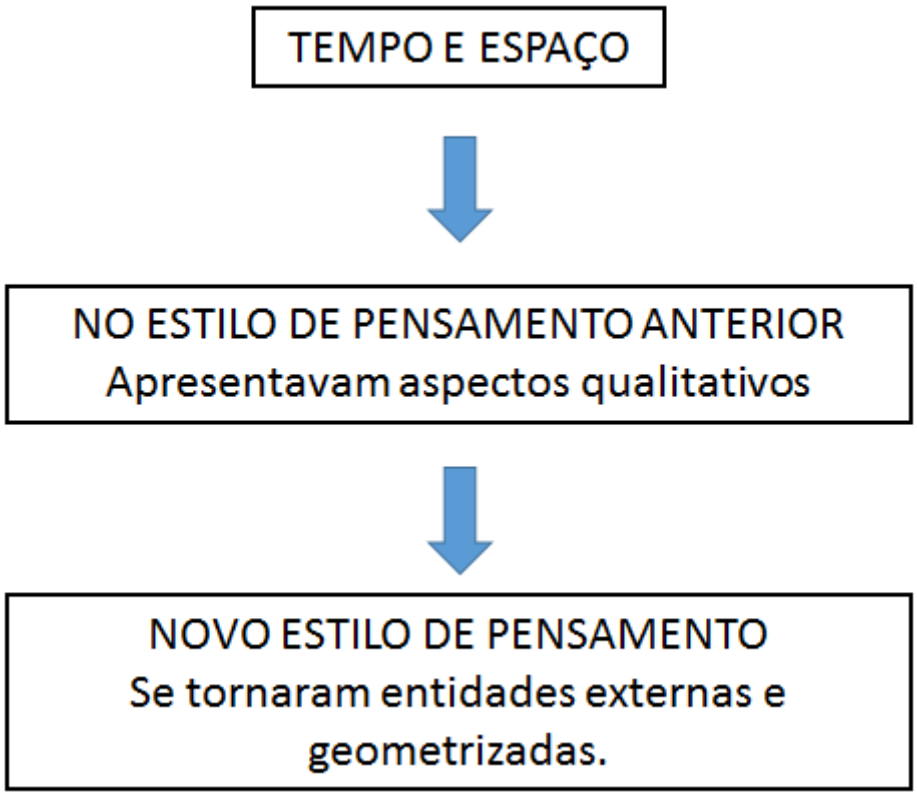


III.32 - Estilos de pensamentos na segunda metade da Idade Média
Fonte: elaborado pelo autor

Ao estudar a queda dos corpos, Galileu utiliza muitos de seus conhecimentos sobre geometria e perspectiva para contribuir ainda mais com o estabelecimento desse estilo de pensamento. Além de ter relacionado o tempo e o espaço ao estudar o movimento, ele representou tais grandezas com um segmento de reta. Tal fato fez com que, além do espaço, o tempo também fosse admitido pela geometria e assim, pudesse ser estudado pelas regras da matemática. Utilizando essa concepção, seus conhecimentos relacionados a arte da perspectiva, a regra de Merton e a experimentação, o matemático italiano desenvolveu a lei matemática da queda dos corpos, mostrando, inclusive, que o espaço percorrido por um corpo em queda livre é diretamente proporcional ao quadrado do tempo e que a velocidade é diretamente proporcional ao tempo. Esse processo mostra ainda que o desenvolvimento de um

conhecimento científico não é produzido unicamente com uma suposta “descoberta” a partir da realização de um experimento.

Essa visão de geometrização do espaço e tempo não foi algo exclusivo de Galileu, o próprio Kepler já se preocupava em apresentar algum modelo planetário que utilizasse a regra da geometria. Em seus primeiros modelos ele utilizou os sólidos de Platão para posicionar os planetas em suas órbitas em torno do Sol. Além disso, um pouco mais tarde, René Descartes contribuiu ainda mais para a geometrização do espaço ao desenvolver uma relação entre a álgebra e a geometria. Com o seu estilo de pensamento pautado no mecanicismo, Descartes apresentou a ideia de utilizar dois eixos que se intersectam para especificar a posição de um ponto ou objeto em uma superfície, ou seja, o plano cartesiano. Todos esses processos que duraram mais de um século, contribuíram para que o espaço e o tempo deixassem de ser meros adjetivos associados aos corpos e se tornassem entidades matematizadas ou geometrizadas.



III.33 - Mutação do estilo de pensamento
Fonte: elaborado pelo autor

Não há dúvidas que as regras da geometria acabaram se tornando um ferramental de extrema importância para o desenvolvimento da ciência naquele momento. Muitos filósofos naturais adotaram essa nova forma de produzir conhecimento, inclusive na busca de uma equação matemática que descrevesse com precisão a órbita elíptica que os planetas ao redor do Sol. Como visto, Isaac Newton

não foi o único a buscar essa *"resposta"*, mas o interessa de seus trabalhos é que além de ter conseguido explicar essa questão, ele conseguiu desenvolver relações matemáticas (geométricas) que explicasse o movimento de diversos corpos celestes, incluindo até mesmo o movimento dos cometas. Na Física de Newton, o que rege o movimento orbital é uma força mútua (agindo a distância) e que possui uma relação direta com a massa dos corpos e com a distância entre eles. Assim, o que mantém a lua orbitando ao redor da Terra também faz com que um corpo sofra uma queda ao estar próximo a superfície terrestre.

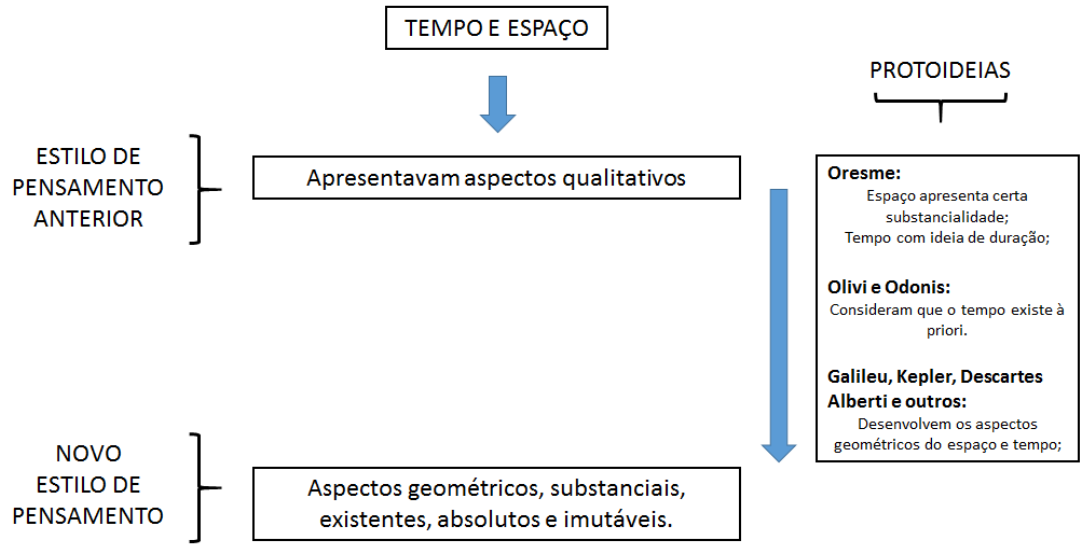
Apesar de não ter explicado porque essa força agia a distância, uma coisa era um fato na mecânica newtoniana: as forças sempre agiam em pares. Uma pedra cai porque a Terra exerce uma força na pedra e a pedra exerce uma força na pedra; a lua orbita ao redor da Terra porque os dois corpos exercem uma força sobre o outro. No entanto, existiam casos, tais como o caso do balde de rotação, em que não existia um agente a ser relacionado com o fenômeno observado. No caso do balde, não existia nenhum corpo ao qual pudesse ser relacionado a curvatura que a água fazia, mesmo quando estivesse em repouso em relação ao balde. Por esse motivo, Newton defendeu a existência de um espaço que fosse existente, absoluto e imutável. Com isso, além de conseguir explicar casos como esse o espaço absoluto de Newton, o espaço absoluto seria um referencial inercial perfeito, onde todos os corpos poderiam ser relacionados a ele.

Seguindo essa mesma lógica, o filosofo natural, também eleva o tempo ao status de absoluto. O tempo absoluto de Newton era a duração dos eventos. Assim, não importava a posição de dois observadores, nem o sistema que eles utilizassem para medir o tempo, os dois sempre concordariam com a duração de algum evento.

Nessa época, o tempo e espaço absoluto de Newton não era o estilo de pensamento dominante, era apenas uma das muitas protoideias existentes. Nicole d'Oresme, Petrus Johannis Olivi, Gerardus Odonis, dentre outros, apresentaram ideias que fugiam da concepção aristotélica dominante. Além disso, o próprio Leibniz, contemporâneo a Newton, criticou as ideias newtonianas e defendeu que o espaço e o tempo eram entidades puramente relativas, categorias idealizadas pelo homem para relacionar a coexistência dos corpos e a sucessividade dos eventos. Ao criticar o posicionamento de Newton, tanto físico quanto metafísico, Leibniz defendeu que o espaço e o tempo não poderiam ser absolutos nem tampouco existentes à priori. Essa divergência de ideias acaba nos levando a fazer o seguinte questionamento: o tempo e o espaço existem ou são frutos do intelecto humano? São apenas entidades idealizadas para que possamos nos relacionar com os corpos a nossa volta, tanto em sua

coexistência quanto em sua sucessividade? Se eles existem, são imutáveis na presença dos corpos?

Apesar desses questionamentos, com o passar do tempo e com o sucesso da mecânica newtoniana nos anos seguintes, o espaço e tempo newtoniano acabaram se tornando o estilo de pensamento dominante por quase 200 anos. É importante observar aqui a importância da validade de um conhecimento científico pelos pares e portadores do estilo de pensamento. Mesmo que a princípio a mecânica newtoniana tenha sido alvo de críticas, com o tempo ele foi defendido por “hereges” e validado pelos portadores do novo estilo de pensamento. No entanto, em meio a esse período ainda surgiu a ideia de forças fictícias para explicar casos como o do balde de rotação, surgiu a mecânica relacional para explicar esses casos sem a necessidade de recorrer ao uso das forças fictícias e as leis da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, trazendo uma nova discussão ao conceito de tempo.



III.34 - Mutação do estilo de pensamento
Fonte: elaborado pelo autor

Nesse trabalho não realizaremos uma discussão maior no que se refere a contextualização histórica sobre o desenvolvimento da Termodinâmica e da Mecânica Estatística, já que nosso objetivo principal e discutir esses conceitos em uma turma do 1º ano do Ensino Médio, em que o assunto a ser estudado é a mecânica de Galileu e Newton e a Relatividade de Einstein. No entanto, não podemos deixar de mencionar em uma característica relacionado ao conceito de tempo que surgiu nesse período: a irreversibilidade do tempo.

Segundo as leis de Newton, não existe uma preferência no sentido do tempo. O tempo da mecânica é linear, contínuo e homogêneo, independente do referencial e da presença de matéria, sendo, juntamente ao espaço, apenas o palco para a ocorrência

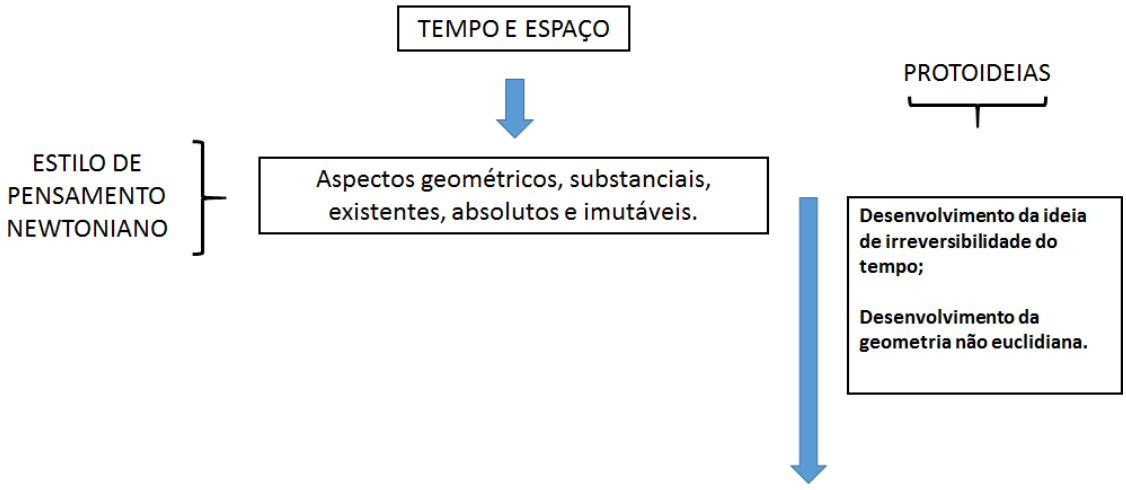
dos fenômenos físicos. A existência de matéria, não afeta a estrutura do palco, que por sua vez existe mesmo na ausência dos atores. Por ser linear e contínuo, entre dois instantes de tempo quaisquer há infinitos outros instantes (MARTINS, 2007). Essa característica do tempo clássico permite representá-lo por meio de uma reta de números reais. Além disso, como o tempo é homogêneo, todas as partes do tempo são iguais entre si. Ou seja, se dois experimentos (isolados do resto do universo) forem realizados hoje com uma determinada duração e apresentarem um resultado, eles poderão ser repetidos no futuro com igual duração e resultado (MARTINS e ZANETIC, 2002).

Afirmar que o tempo é linear, continuo e homogêneo não significa dizer que ele flui necessariamente do passado para o futuro. O tempo newtoniano permite percorrer a linha reta tanto em um sentido como no outro, já que se trata de um tempo reversível. Se por acaso, colocássemos um pêndulo em movimento e gravássemos um vídeo com essa oscilação, no momento da reprodução não saberíamos distinguir se o vídeo está avançando ou retrocedendo. Além disso, a mecânica newtoniana garante a homogeneidade e, principalmente, a reversibilidade do tempo nesse tipo de situação. Mas com o tempo Termodinâmico essa configuração acaba se tornando muito improvável. Se colocássemos o pêndulo em movimento e gravássemos um vídeo com essa oscilação, no momento da reprodução não saberíamos distinguir se o vídeo está avançando ou retrocedendo. Além disso, a mecânica newtoniana garante a homogeneidade e, principalmente, a reversibilidade do tempo nesse tipo de situação (MARTINS, 2007).

A divergência em relação à orientação do tempo newtoniano está relacionada aos processos de transformações de energia, principalmente quando ocorrem dissipação e degradação, já que são processos irreversíveis. Nos casos dissipativos, há sempre transformação de energia em formas mais desorganizadas, principalmente a térmica. Um sistema desse jeito pode ser considerado irreversível, mas apenas no sentido de que sua reversão temporal nunca é observada. A não-conservação da energia mecânica acrescenta uma característica fundamental ao tempo: a sua irreversibilidade, ou seja, o fluir do tempo tem um sentido preferencial: do passado para o futuro.

Ao longo do século XIX também, houve o desenvolvimento da geometria não-euclidiana, uma geometria baseada num sistema axiomático distinto da geometria euclidiana. Possuindo diversos colaboradores tais como Carl Friedrich Gauss, Nikolai Lobachevsky, János Bolyai, e Bernhard Riemann, a geometria não euclidiana altera um dos axiomas de Euclides, o axioma das paralelas, que postula que pôr um ponto exterior a uma reta passa exatamente uma reta paralela à inicial. Ao alterar esse axioma foi possível desenvolver uma geometria elíptica e hiperbólica. Na geometria elíptica, por

exemplo, não há nenhuma reta paralela à reta inicial, enquanto que na geometria hiperbólica existe uma infinidade de retas paralelas a inicial que passam no mesmo ponto. Na geometria elíptica a soma dos ângulos internos de um triangulo é maior que dois ângulos retos, enquanto na geometria hiperbólica esta soma é menor que dois ângulos retos. O desenvolvimento da geometria não-euclidiana foi de grande importância para que mais tarde, Albert Einstein desenvolvesse a Relatividade Geral.



III.35 - Transição do estilo de pensamento
Fonte: elaborado pelo autor

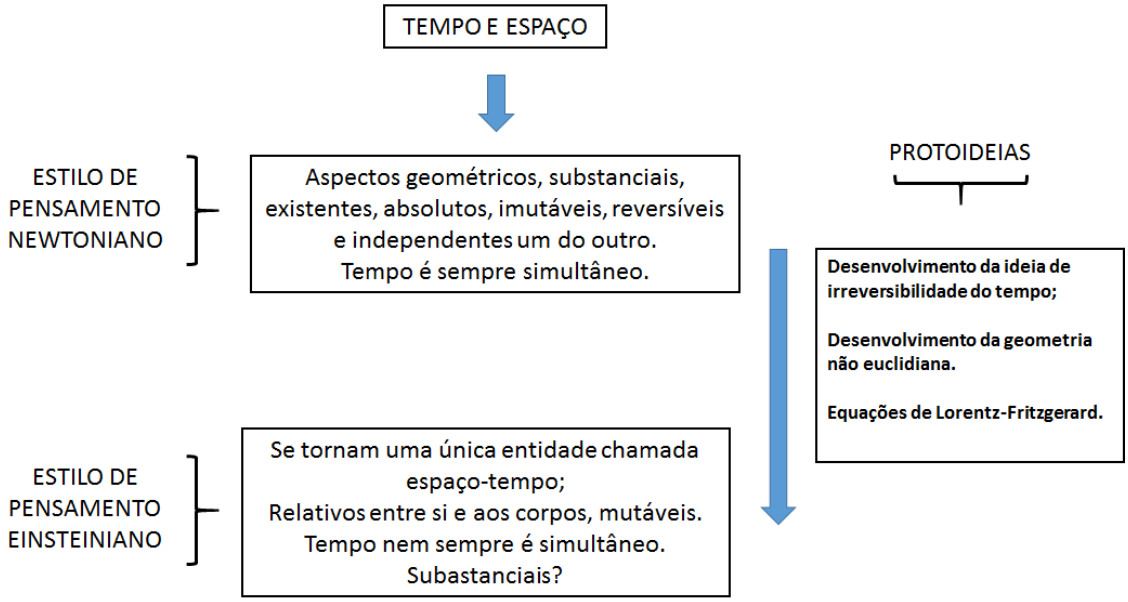
Como visto, no século XIX começaram a surgir novas protoideias em relação aos conceitos de espaço e tempo apresentados por Newton. Através desses diversos trabalhos que se afastaram do estilo de pensamento newtoniano e se configurando em uma verdadeira fase de complicações, acabou eclodindo no desenvolvimento da Relatividade de Albert Einstein.

A primeira característica na qual Einstein se afasta das ideias de Newton está relacionada com a ideia de simultaneidade. Para Einstein dois observadores nem sempre vão concordar com a simultaneidade de algum evento. A segunda característica está relacionada com a dependência do espaço e tempo, já que apesar deles estarem relacionados pelas transformadas de Galileu, de acordo com Newton, eles são entidades independentes uma da outra. Na relatividade de Einstein, o tempo e o espaço se tornaram algo único chamado espaço-tempo, em que um pode afetar o outro. A terceira característica está relacionada com a relatividade do espaço-tempo devido a velocidade de um observador em relação a outro. Assim, o tempo pode passar de forma diferente para um dos observadores em relação ao outro, assim como o espaço observado.

A quarta característica abala com todo o sistema newtoniano de espaço e tempo absoluto. Para a Relatividade Geral de Einstein, o espaço-tempo não seria algo

imutável, muito pelo contrário, ele se encurvaria (deformaria) na presença de um corpo, isso conseguiu até mesmo explicar porque um corpo é atraído por outro. Segundo a TRG, a lua fica em órbita ao redor da Terra, não porque existe uma força de atração entre os dois, mas porque a Terra deforma o espaço ao seu redor e a lua se movimenta através dessa deformação mantendo-se, com isso, a órbita ao redor da Terra. Além disso, assim como o corpo altera a estrutura do espaço-tempo, o espaço-tempo também altera a matéria dos corpos e a energia.

A deformação no espaço ao redor dos corpos também altera a medida de tempo nessa deformação. Assim, se um observador estivesse em repouso em uma região com uma certa gravidade e outro observador estivesse em outra região com gravidade diferente, ambos não iam concordar com a medida de tempo realizada através de seus relógios. Com a relatividade de Einstein, novamente os conceitos de espaço e tempo sofreram uma mudança conceitual.



III.36 - Transição do estilo de pensamento
Fonte: elaborado pelo autor

Apesar do estilo de pensamento de Einstein ter surgido e servido para explicar muitos fenômenos observados em sua época e até hoje, ela custou um certo tempo para ser aceita e validade pela comunidade científica. Não se pode esquecer que a ciência possui um caráter de validação e que um conhecimento científico só é dito cientifico quando é aceito e validade pelos pares e pelo coletivo de pensamento, mesmo que não haja concordância com outro coletivo de pensamento.

Ainda hoje, mesmo que o estilo de pensamento einsteiniano seja o aceito e validado pela comunidade científica, a Mecânica Newtoniana ainda continua sendo utilizada por diversas áreas, principalmente em caráter ferramental. Além disso, em

nossa vida diária estamos habituados a utilizar a ideia de tempo e espaço absoluto, que o tempo é sempre simultâneo irreversível e uniformemente bem distribuído e que o espaço é apenas um palco para a ocorrência dos eventos.

Atualmente existem discussões sobre eventos cósmicos, tais como buraco negro, buraco de minhoca e mecânica quântica que de certa forma abriu o caminho para novos questionamentos sobre o tempo e o espaço. Se algum dia chegaremos a uma resposta fundamental para eles, acreditamos que não. Como visto ao longo de toda essa história, a ciência é dinâmica e transitória e o que hoje está bem estabelecido pode vir a mudar em um futuro próximo.

A Epistemologia de Ludwik Fleck nos permitiu observar o caráter transitório dos conceitos de espaço e tempo. Sendo essas características apresentadas no diagrama abaixo.



III.37 - Transitoriedade dos conceitos de espaço e tempo físico.
Fonte: elaborado pelo autor

O diagrama acima mostra as características atribuídas aos conceitos de espaço e tempo ao longo da história da Física. Por se tratar de um processo gradual e evolutivo, uma característica acaba compartilhando o mesmo momento histórico que outras características através do desenvolvimento de protoideias. Por esse motivo, que representamos essa transitoriedade através de um degrade.

A epistemologia fleckiana permitir ir além da observação realizada nesse trabalho. Sendo assim, poderíamos ter analisado também como os conceitos de espaço e tempo são tratados/compreendidos por outros grupos de produtores de conhecimento, ou seja, outros coletivos de pensamento, tais como a filosofia, a arte, a geografia, a história, ou até mesmo por outros grupos de cientistas. Isso poderia enriquecer ainda mais este trabalho. No entanto, devido aos limites de tempo para o término dessa dissertação deixamos esses pontos em aberto para serem abordados em um possível trabalho futuro.

Capítulo IV – Pesquisa de aplicação em sala de aula

Ao apresentar o percurso histórico no módulo anterior, é percebido que os conceitos de espaço e de tempo são transitórios, ou seja, eles se alteram ao longo da história e, assim como toda a ciência, eles passam por processos de mutação e evolução. No entanto, é importante novamente destacar que essa evolução não está sendo aqui abordada como um caráter de progresso - do pior para o melhor – mas em sentindo de que as mudanças ocorrem de forma lenta e processual. Além disso, que os conceitos apresentados nesse texto, assim também como toda a ciência, são integrados socialmente, com caraterísticas atribuídas por homens que estavam imersos em sociedades com características que formaram sua visão de mundo. A técnica, a arte, a religião, a filosofia e a ciência são criações humanas que possuem características distintas, mas que fazem parte de um *todo-comum* que molda e é moldada pela visão de mundo de diversos homens de suas respectivas áreas ou não.

Neste capítulo, será apresentado um módulo pedagógico que foi desenvolvido para ser aplicado em uma turma da 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública estadual do município de Magé, na baixada fluminense no Rio de Janeiro. Ao longo dessa seção, apresentaremos atividades elaboradas para discutir os conceitos de espaço e tempo em sala de aula através uma perspectiva histórico-filosófica. Para isso, apresentaremos o caráter transitório desses conceitos e seus estilos de pensamentos, a integração com a sociedade, as controvérsias e o caráter de validação de um conhecimento científico.

É importante destacar que por se tratar de uma escola da rede estadual do Rio de Janeiro existe um currículo mínimo a ser cumprido (SEEDUC, 2012). O currículo mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro surgiu com uma proposta de apresentar a Física de uma forma contextualizada, tendo como objetivo o desenvolvimento nos alunos de habilidades e competências que estejam ligados não apenas aos conteúdos tradicionais de Física, mas também os relacionados a diversos elementos de Natureza da Ciência, tais como: a) A ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; (b) existem fatores comuns a todas as ciências (normas, pensamento lógico e métodos); (c) a experiência não é o único caminho para o conhecimento; (d) a ciência usa tanto o raciocínio indutivo como o teste hipotético-dedutivo; (e) a produção do conhecimento científico é parcialmente baseado em inferência humana, imaginação e criatividade; (f) a ciência é integrada socialmente e culturalmente; e que (g) o conhecimento científico é provisório, durável e de auto-correção, etc.

IV.1 – Cenário da pesquisa

A pesquisa foi realizada em uma escola público estadual no município de Magé, na baixada fluminense no Rio de Janeiro. A escola em questão se trata do Colégio Estadual de Magé e possui cerca de 700 alunos, sendo que a maior concentração deles se encontra no turno da manhã com cerca de 350 alunos divididos em 13 turmas. No 2º turno se concentra cerca de 300 alunos também divididos em 13 turmas. O 3º turno possui cerca de 50 alunos devidos entre as 3 turmas do Ensino Médio regular que é oferecido nesse horário. O colégio oferece o Ensino Médio regular nos três turnos. Por esse motivo, possui alunos com a faixa etária entre 14 e 18 anos, sendo que desses alunos, cerca de 40% são do sexo feminino e 60 % são do sexo masculino. Grande parte dos alunos pertence a classe média baixa e classe média.

A escola possui acesso a internet com laboratório de informática, sala de diretoria, sala de professores, quadra de esportes coberta, cozinha, refeitório, despensa, biblioteca, banheiro fora e dentro do prédio com chuveiros, banheiro adequado aos alunos com deficiência ou mobilidade reduzida, dependências e vias adequadas a alunos com deficiência ou mobilidade reduzida, sala de secretaria, almoxarifado, auditório, pátio coberto, pátio descoberto e ampla área verde. Além das dependências, o colégio possui sala de TV com reprodutor de DVD e antena parabólica, projetor multimídia (Datashow), aparelho de som e filmadora.

Dentre as 29 turmas do Ensino Médio regular, a escola possui 10 turmas com alunos que estão na 1ª série da. Dessas 10 turmas, 5 são do turno matutino, 4 do vespertino e 1 do noturno. Todas essas turmas poderiam fazer parte da pesquisa realizada nesse trabalho. No entanto, o professor e pesquisador desse trabalho só atuava como regente em uma dessas turmas, a 1009. Por esse motivo, todas as atividades realizadas e apresentadas nesse trabalho foram desenvolvidas nessa turma. A 1009 possuía cerca 35 alunos, com a faixa etária de 14 anos de idade. Dos 35 alunos, 14 eram do sexo masculino e 21 eram do sexo feminino. Grande parte dos alunos pertenciam a classe média baixa e classe média. Além disso, quase todos os alunos eram oriundos de escolas municipais da região.

As aulas de Física sempre ocorriam nas segundas-feiras, nos dois últimos tempos da tarde, sempre após o intervalo. Mesmo sendo no fim da tarde, a sala não ficava exposta ao sol e era climatizada com ar condicionado. Porém, quase sempre os alunos chegavam bem agitados, devido a ser as últimas aulas após o intervalo.

IV.3 - O desenvolvimento, a aplicação e a avaliação da sequência didática

De acordo com o percurso histórico apresentado anteriormente e utilizando a proposta de pesquisa-ação (ENGEL, 2000), pretendemos desenvolver, aplicar e avaliar

a proposta de um módulo didático para apresentar/problematizar os conceitos de espaço e tempo presentes em três momentos históricos principais. São eles:

1) Galileu e a geometrização do espaço e tempo;

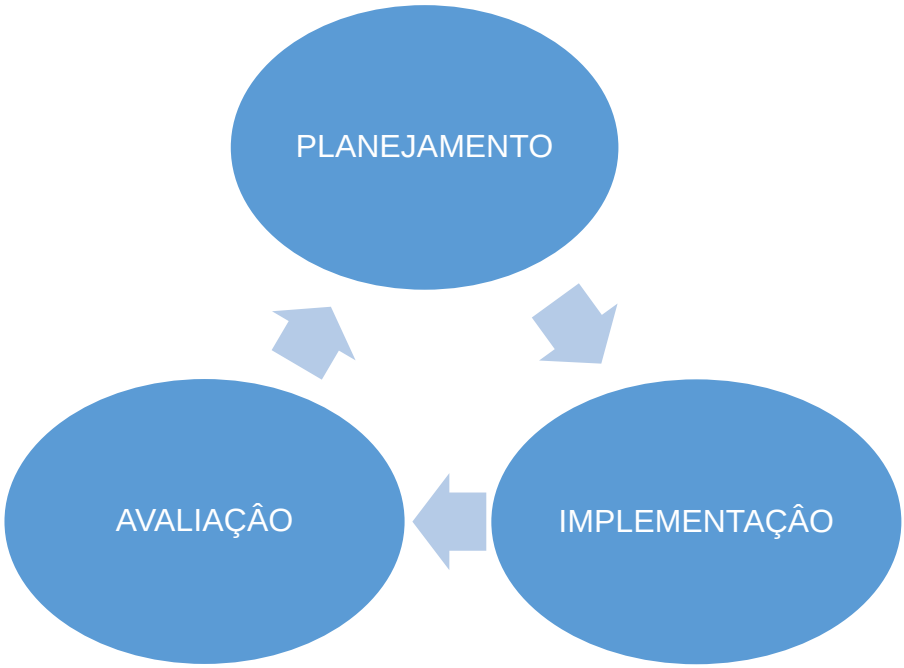
2) A Mecânica de Newton e o espaço e tempo absoluto;

3) A Relatividade de Einstein e o espaço e tempo relativo;

Para isso será utilizado o referencial teórico de Igail Galili (2011) em relação a construção de um módulo didático que leve o aluno a realizar um percurso histórico através do desenvolvimento de um determinado conceito científico. Por esse motivo, em cada um dos momentos históricos será realizado a seguinte sequência didática:

- Contextualização histórica;
- Apresentação/Problematização dos conceitos;
- Realização de Atividades;
- Atividade de Avaliação.

Além disso, como dito anteriormente, por se tratar de uma pesquisa-ação na qual o professor estará atuando como pesquisador de sua própria ação, a cada atividade realizada estaremos realizando um planejamento, uma implementação e por último uma avaliação apontando os pontos positivos e os negativos. Com a reflexão dessa avaliação, será realizado um novo planejamento para implementação das atividades no episódio seguinte. Ou seja, será sempre realizada esse processo cíclico.



IV. 1 - Ciclo da pesquisa-ação
Fonte: elaborado pelo autor

Logo abaixo segue a apresentação das atividades realizadas para promover o percurso histórico através dos três momentos históricos escolhidos.

IV.3.1 – Questionário de sondagem

Objetivo: Realizar uma sondagem inicial com os estudantes a fim de obter suas concepções sobre os conceitos de espaço e de tempo e sobre a Natureza da Ciência.

Dinâmica da Atividade: Para iniciar o curso, o professor fez uma pequena discussão sobre o que é a Física e o seu campo de atuação. No entanto, não entrou em grandes detalhes sobre o que é a Ciência ou sobre os aspectos da Natureza da Ciência. Em seguida, entregou aos alunos um pequeno questionário (EM ANEXO) com quatro questões a fim de obter as concepções iniciais dos alunos sobre a ciência, sobre o trabalho realizado pelos cientistas e sobre os conceitos de espaço e tempo. Esse questionário também contou com uma questão (uma das quatro) pedindo que os alunos realizassem uma representação sobre o que são o espaço e o tempo para eles.

Metodologia de análise da atividade: As respostas para as questões foram categorizadas de acordo com a Análise de Conteúdo (MORAES, 1999), apresentada anteriormente no capítulo metodológico.

Apresentação dos resultados e comentários:
Ver Quadro IV.1

As respostas apresentadas no Quadro IV.1 foram categorizadas em padrões de respostas. Nesse momento o que vale muito a pena ser destacado está relacionado com dois grupos de respostas. O primeiro, com relação ao estudo dos seres vivos e o segundo com relação ao conhecimento sobre algo (aquilo que está ao nosso redor).

O primeiro grupo, com 14 respostas dos 30 questionários analisados mostrou que grande parte dos alunos desse grupo apresentou concepções de ciência ainda associada a Biologia, ou seja, como um estudo dos seres vivos. Isso pode ser explicado pelo fato deles serem alunos oriundo do Ensino Fundamental, no qual, em sua maioria, estudaram apenas Biologia e, portanto, possuem conhecimento apenas sobre essa Ciência. O interessante é que para grande parte dos alunos a palavra *natureza* também é remetida aos seres vivos. Eles não apresentaram uma concepção de Natureza como sendo ao mundo natural ou universo físico. Isso também pode ser devido a suas referências escolares anteriores no que diz respeito a Biologia.

Quadro IV.1 - Questionário de sondagem: questão 01

Questão 01: *A Física pode ser compreendida como uma ciência que interpreta e descreve fenômenos da natureza. No entanto, existem outras ciências, tais como a Química e a Biologia que também descrevem a natureza. Pensando nisso, como você definiria o que significa ciência?*		
Categoria	**Número de Respostas**	**Exemplos de respostas**
Estudo dos seres vivos	14	*"O estudo da vida"* *"O estudo do corpo humano e dos animais"* *"O estudo de tudo que tem vida"*
Estuda/Interpreta os fenômenos naturais	4	*"Estuda e interpreta fenômenos da natureza"* *"É o estudo e interpretação do mundo, visto que esse conhecimento move o mundo e o nosso conhecimento"*
Estuda o movimento dos corpos	2	*"Estuda o movimento dos corpos"*
Um conhecimento sobre algo/aquilo que está ao nosso redor	6	*"Um conhecimento sobre aquilo que você pretende estudar: animais, força da natureza, vulcões, etc."* *"Não estuda apenas a natureza, mas também o que acontece em nosso cotidiano, tais como o movimento do nosso corpo e outras coisas também."* *"É um estudo importante sobre a natureza, movimentos humanos e o conhecimento do universo."*
Estudo dos planetas	1	*"Estudo da terra e dos planetas."*
Permite avanços, tais como a cura de doenças	2	*"Algumas pessoas fazem para encontrar curas para doenças e desenvolver avanços para o nosso mundo."*
Tecnologia dos estudos	1	*"É a tecnologia dos estudos."*

Fonte: elaborado pelo autor

O segundo grupo de respostas (6 das 30) que merece nossa atenção mostra que alguns alunos possuem uma concepção bem diferente da abordada pelo grupo anterior. Para eles, a ciência já se trata de um conjunto de conhecimentos mais amplo, ou seja, eles apresentaram respostas que se distanciaram da simples compreensão de que a Ciência estuda unicamente os seres vivos. É interessante observar que eles afirmaram que a ciência estuda os seres vivos, mas também fenômenos, tais como o movimento ou ainda o universo como um todo.

As demais respostas (10 das 30) também se afastaram da simples noção de que a ciência estuda os seres vivos, porém em uma conversa após a aplicação dos questionários, eles (em sua maioria) apresentaram concepções da natureza fazendo referência aos seres vivos também e não o sentido amplo da palavra, ou seja, a natureza como sendo o universo físico.

O questionário aplicado nos permitiu avaliar que a turma é formada por alunos que, em grande parte, compreende a ciência como o estudo dos seres vivos e que além disso, os alunos interpretam a palavra natureza como sendo o meio dos seres vivos (ou os seres vivos em si) e não como sendo o universo físico como um todo. É importante deixar claro que o questionário aplicado não é um pré-teste e nem que nosso objetivo seja alterar tais concepções ao longo do ano. Ele se trata apenas de uma sondagem inicial para conhecer o grupo em que a pesquisa será realizada. (Ver quadro IV.2)

A quadro IV. 2 apresenta uma categorização de acordo com as respostas apresentadas pelos 30 alunos. A diferença do número total de respostas e o número de alunos se deve ao fato de que muitas das respostas se enquadram em mais de uma categoria. O primeiro dado a ser observado é o número de respostas que mostram que o cientista ou trabalha realizando estudos ou que produz seus conhecimentos através de estudos. Não há dúvida que um cientista que produz conhecimento precise estudar bastante e grande parte dos alunos compreendem isso.

As respostas seguintes, mesmo com um número menor, mostram que alguns alunos compreendem que é o cientista precisa realizar pesquisas e experiências. Mesmo que exista ciências em que não há realização de experiência (no sentido testagem experimental), como os alunos possuem uma visão de ciência muito ligada à Biologia, é possível que esses alunos tenham o biólogo como o símbolo de cientista.

As demais categorias apresentaram um número bem menor de respostas, no entanto, algo curioso é que apenas dois alunos apresentaram respostas dizendo que o cientista realiza descobertas. Um fato interessante, visto que no imaginário popular o cientista produz seus conhecimentos através de descobertas.

Quadro IV.2 - Questionário de sondagem: questão 02

Questão 02: *Existem diversos livros, documentários e até filmes que retratam o cientista. Para você, como é realizado o trabalho científico e como os cientistas produzem o conhecimento que estudamos nas aulas de ciências (seja Física, Química ou Biologia)?*		
Categoria	**Número de Respostas**	**Exemplos de respostas**
Realiza e produz conhecimento através de estudos.	17	*"Através do estudo"* *"Os cientistas produzem conhecimento com anos de estudos para obter a informação desejada e os seus trabalhos são produzidos com anos de estudo em laboratório e etc."* *"Estudando a Natureza"* *"...com o conhecimento através dos estudos"* *"Eles estudam o conhecimento geral e tudo sobre seres vivos"*
Realiza pesquisas e produz conhecimento através de pesquisas.	6	*"Estudando e pesquisando"* *"Na minha opinião, eles produzem conhecimento com experiências, pesquisas e etc."*
Realiza experiências e produz conhecimento através de experiências.	5	*"Os cientistas produzem de vários modos, fazendo pesquisas, estudos e experiências."* *"Eles conseguem através de suas mentes, experiências com vários aparelhos e máquinas."*
Realiza testes.	1	*"Tudo que é descoberto é anotado e testado várias vezes antes de ir para os livros"*
Faz descobertas.	2	*"Cientista faz descoberta com muito estudo e pesquisa em sua área e com base em suas teorias tentam comprová-las"*

Continuação: Quadro IV.2

Buscam comprovar teorias.	1	*“Cientista busca descoberta com muito estudo e pesquisa em sua área e com base em suas teorias tentam comprová-las”*
Produzem conhecimento através de conhecimentos produzidos por outros.	4	*“Através de livros ou até mesmo o conhecimento de outras pessoas”* *“É realizado através de "sabedorias unidas" porque é sempre passado o conhecimento de um para o outro. Um começa antes e outro complementa depois.”*
Busca compreender e explicar “algo”.	1	*“Primeiro o cientista fica curioso por um assunto, procuro entender e explicar o motivo pelo qual ele acontece.”*
Produz conhecimento através de erros e acertos	1	*“Fazendo estudos que dão errado até achar uma coisa concluída”*
Produz conhecimento a partir da curiosidade.	2	*“Primeiro o cientista fica curioso por um assunto, procuro entender e explicar o motivo pelo qual ele acontece.”*

Fonte: elaborado pelo autor

Outras respostas apresentas, mesmo que em menor número, também são importantes de serem observadas, visto que esses alunos apresentam visões de ciência bem dicotômicas. Ou seja, enquanto um apresenta que a ciência é produzida através de erros e acertos, outro já mostra que a ciência se construiu de uma produção continua e progressista. Tais visões podem ser abordadas ao longo do ano letivo e confrontadas com os episódios históricos a serem apresentados.

Nessa primeira parte da questão 03, realizamos uma categorização no que diz respeito ao conceito de espaço (Ver Quadro IV.3). Ao perguntar aos alunos o que era o espaço, de acordo com a própria vivência deles, eles responderam com as mais variadas respostas. No entanto, ao observar essas respostas, percebemos que elas se enquadravam em algumas categorias que merecem nossa atenção.

Quadro IV. 3 - Questionário de sondagem: questão 03.1

Questão 03.1: *Você sempre ouviu falar de tempo e espaço como se fossem as coisas mais comuns do mundo. Então, com base nessa vivência, diga o que é o espaço para você.*		
Categoria	**Número de Respostas**	**Exemplos de respostas**
Meio em que estamos (Região ocupada pelos corpos)	5	*"Espaço é onde estamos"* *"Lugar que em que estamos"* *"Meu quarto é um espaço pra mim"*
Distância entre dois lugares (pontos)	4	*"A distância entre dois lugares"* *"A distância entre dois locais"*
Espaço Sideral	10	*"Tudo em volta da Terra"* *"O lugar onde ficam os planetas"* *"Espaço é acima da Terra"* *"É o lugar além da lua"*
Ideia de lugar (localidade)	4	*"Um lugar ou ambiente"* *"O lugar onde acontecem as coisas"*
Ideia de deslocamento	4	*"É tudo que se distância ou se afasta"* *"É o andar de um lugar para o outro, exemplo, da escola até a praça"*
Uma região vazia	2	*"Espaço é o vazio"*

Fonte: elaborado pelo autor

O primeiro grupo de alunos apresentou respostas que de certa forma diziam que o espaço é o meio na qual estamos, ou seja, um meio que permeia os corpos ou nós mesmos. O segundo grupo de respostas mostrou algo que normalmente é tratado no ensino de cinemática, que o espaço é a distância entre dois pontos. Como alguns dos alunos, bem poucos, já haviam estudado cinemática no 9º ano do ensino fundamental, existe a possibilidade de que eles se basearam nesse conhecimento para responder essa questão.

O terceiro grupo, composto pela maioria dos alunos, apresentou respostas dizendo que o espaço era a região composta pelos planetas, estrelas, etc, ou seja, ao espaço sideral. Essas respostas estão de acordo com a atribuição (através da nomeação) dada ao espaço sideral como sendo o espaço, algo normalmente falado no dia a dia. A quarta categoria concentrou respostas que mostraram que o espaço é um lugar, mas não com uma ideia de posição. Mesmo que eles apresentassem a ideia de

que o espaço é um lugar, não é necessariamente um meio que permeia os corpos, mas uma região (especifica) em que as coisas ocorrem ou que eventos acontecem.

O quinto grupo de alunos apresentou respostas que se assemelha ao que é estudado na cinemática, já que mostraram que o espaço é uma espécie de deslocamento entre dois pontos (ou lugares). Isso pode estar relacionado ao que esses alunos estudaram no 9º ano do ensino fundamental. Dois alunos apresentaram respostas dizendo que o espaço é vazio, ou seja, um lugar onde não há matéria, o próprio vácuo.

Quadro IV. 4 - Questionário de sondagem: questão 03.2

Questão 03.2: *Você sempre ouviu falar de tempo e espaço como se fossem as coisas mais comuns do mundo. Então, com base nessa vivência, diga o que é o tempo para você.*		
Categoria	**Número de Respostas**	**Exemplos de respostas**
O clima	5	*"Algo ... que marca o clima"* *"... pode ser chuva, Sol, etc."*
Uma medida do movimento	6	*"Serve para calcular o movimento"* *"O tempo que eu levo da minha casa até a escola"* *"É o tempo que eu demoro para ir da escola até a praça"*
A medida do relógio	4	*"As horas que passam em um relógio"* *"É cada hora, minuto, segundo"*
A duração de um evento	7	*"Tempo é o que vivemos ou que iremos ainda viver"* *"É a cronometragem da ação"* *"É o tempo do universo"*
Algo que se sucede (antes, agora e depois)	7	*"Uma coisa que passa"* *"Algo que passa"* *"Passado, presente e futuro"*
Organiza as atividades	4	*"É a forma que você controla seus afazeres"* *"É um meio que forma o passar das coisas, ou até mesmo controlar algo que fazemos"*

Fonte: elaborado pelo autor

Nessa segunda parte da questão, realizamos uma categorização no que diz respeito ao conceito de tempo. Ao perguntar aos alunos o que era o tempo, eles apresentaram as mais variadas respostas. No entanto, ao observar essas respostas, também podemos categoriza-las em alguns grupos específicos de respostas.

O primeiro grupo, por exemplo deu respostas que de certa forma se enquadrava no tempo meteorológico, ou seja, atribuíra ao tempo o estado da atmosfera em um dado momento. É interessante observar que no dia a dia, essa é atribuição dado ao tempo (conceito) na maior parte do tempo (cronológico), pois em telejornais, em artigos de revistas ou até mesmo na internet o tempo metrológico é o mais mencionado e difundido. Então seria incomum se alguns alunos realmente não apresentassem respostas com essa característica.

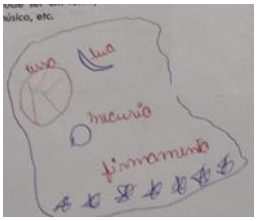
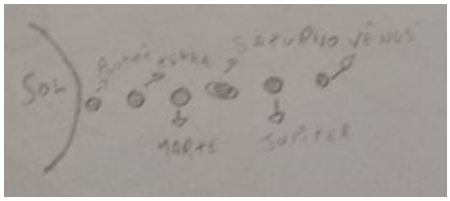
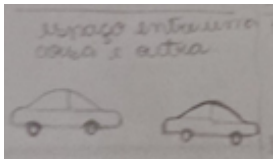
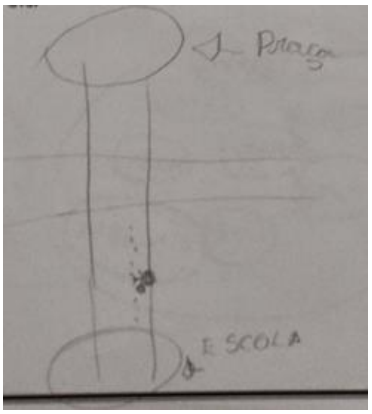
A segunda categoria, por outro lado, apresentou respostas que caracterizavam o tempo como uma medida do movimento, ou seja, algo que serve para cronometrar os movimentos/deslocamentos. Sendo assim, pode-se dizer que esse grupo de alunos caracterizou o tempo como se fosse uma qualidade/característica inerente aos movimentos.

O terceiro grupo de alunos apresentou respostas de um tempo cronológico, ou seja, uma medida utilizada pelos relógios. Devido a realização de uma pesquisa semelhante realizada anteriormente em outra turma, era esperado que mais alunos atribuíssem essa característica ao tempo, mas isso acabou não sendo muito observado. Levemente diferente do terceiro grupo, a quarta categoria apresentou respostas que diziam que o tempo era uma espécie de duração de eventos, ou seja, ele que serve para cronometrar a duração da existência dos seres, objetos, etc ou ainda quanto tempo leva (intervalo de tempo) para que uma ação seja realizada.

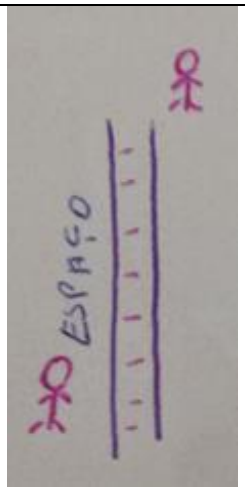
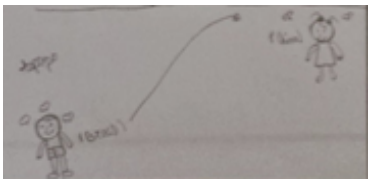
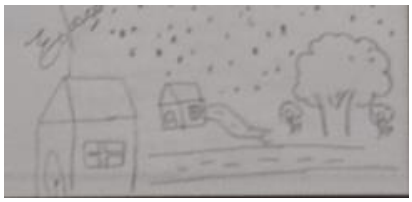
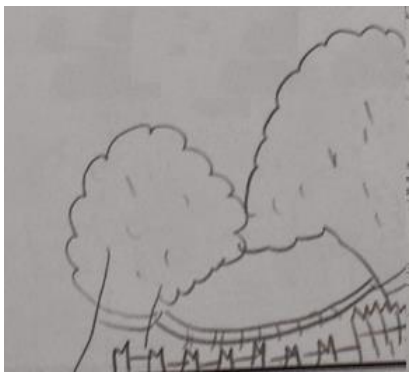
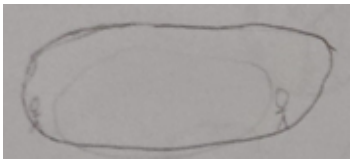
Um dos grupos apresentou em suas palavras algo que pode ser caracterizado como a sucessão de eventos, ou seja, um elo entre passado, presente e futuro, um antes, um agora e um depois. Essas respostas sugerem ainda que os alunos desse grupo compreendem que o tempo é algo que está sempre fluindo em uma direção bem determinada rumo ao futuro.

O último grupo apresentou uma característica de um tempo como um agente organizador para a realização de eventos. Isso mostra que para eles, o tempo serve apenas para nos orientarmos na execução de tarefas. Ou seja, o tempo não precisa necessariamente existir, mas podemos utilizá-lo, mesmo que em caráter idealizado, como um indicador do momento para realizar determinada ação.

Quadro IV. 5 - Questionário de sondagem: questão 04.1

Questão 04.1: *Na região abaixo faça uma representação sobre o espaço. Essa representação pode ser um texto, um desenho, um poema, uma música, etc.*		
Categoria	**Número de Representações**	**Exemplos de representações**
Espaço sideral ou universo (local dos planetas, estrelas, etc)	14	  
Distância entre os corpos / Movimento (deslocamento)	10	 

Continuação: Quadro IV.5

		 
Um lugar ou uma região	6	  

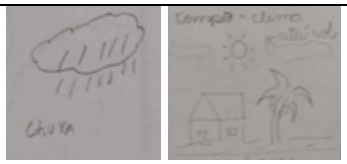
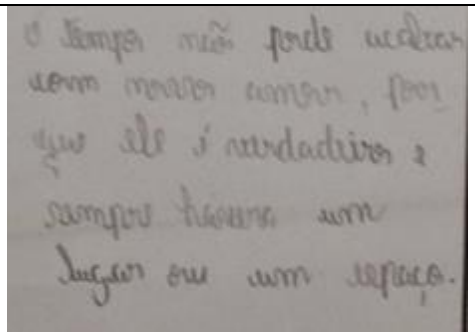
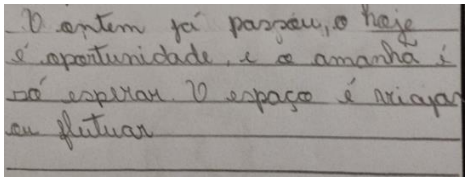
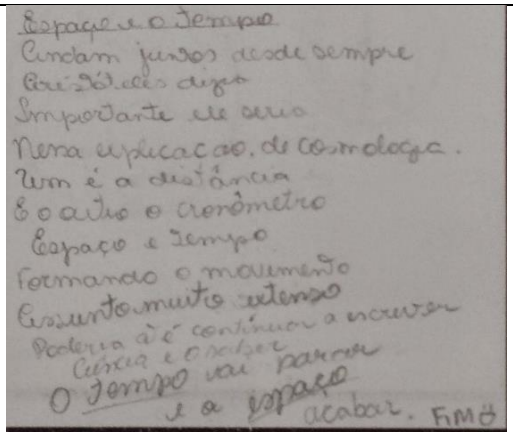
Fonte: elaborado pelo autor

É interessante perceber que a maioria das representações também apresentou o espaço como sendo a região composta pelos planetas, estrelas, etc., ou seja, o espaço sideral. No entanto, as outras representações divergiram um pouco do apresentado nas respostas dos alunos. Mesmo que eles estivessem tentando

representar o que eles escreveram, podemos apenas adiciona-las as categorias apresentadas acima, com 10 representações se enquadrando na ideia de distância entre corpos ou região de deslocamento de um corpo - tal qual uma estrada – e 6 representações dando a ideia de região ou lugar ocupado pelos corpos. Para realizar uma análise mais detalhada, seria necessário se aprofundar na semiótica, algo que não faremos nesse trabalho. Porém, é importante perceber que para os alunos, em sua maioria, o espaço remete à ideia de região dos corpos celestes ou ainda à ideia de distância ou região do movimento (de descolamento).

Ao observar o Quadro IV.6, é observado que um pouco mais da metade dos alunos representou o tempo através de um relógio. Ou seja, mesmo que ao responder que o tempo pode possuir diversas características diferentes, como apresentado na categorização da conceituação do tempo, eles tendem a representar tal categoria através do que eles estão mais acostumados a observar como o símbolo para tempo, que é o relógio. Então, de acordo com suas concepções, não importa se ele é uma medida do movimento, a medida de um relógio, a duração de um evento, algo que se sucede, ou ainda, algo que serve para organizar as atividades, o tempo pode ser representado através do desenho de um relógio, algo que de certa forma engloba todas essas características distintas. Alguns poucos alunos fugiram dessa ideia ao representar o tempo meteorológico, três alunos representando dessa forma e concordando com o que eles haviam falado na questão 3. Outros três alunos ao produzir um texto, fugiram da ideia de um simples relógio, mas possivelmente eles também teriam feito o mesmo que os outros – representando através de um relógio - caso fosse pedido que eles fizessem uma representação pictórica. Dos trinta alunos que fizeram a atividade, quatro não representaram com nada, sendo que desses quatro, dois alunos haviam considerado o tempo como um ente meteorológico.

Quadro IV.6 - Questionário de sondagem: questão 04.2

Questão 04.2: *Na região abaixo faça uma representação sobre o tempo. Essa representação pode ser um texto, um desenho, um poema, uma música, etc.*		
Categoria	**Número de Representações**	**Exemplos de representações**
Representou através do desenho de um relógio.	20	
Representou o tempo meteorológico	3	
Apresentou uma ideia de tempo como uma duração	1	
Algo que se sucede (passado, presente e futuro)	1	
Medida do movimento	1	
Não representou	4	---

Fonte: elaborado pelo autor

CONSIDERAÇÕES SOBRE A ATIVIDADE: A partir da realização da atividade, é percebido que estamos diante de uma turma com muitas formas de pensar, principalmente por ser uma turma em que os alunos vieram de diversos tipos de escolas diferentes. Porém, em sua maioria eles possuem uma visão de biológo como modelo de cientista, já que definiram a ciência como o estudo dos seres vivos, além de argumentarem que o cientista realiza e produz conhecimento através de estudos e pesquisas. Para eles, o espaço pode ser considerado tanto o espaço sideral, ou uma distância entre os corpos ou ainda um deslocamento entre dois pontos. O tempo, na concepção dos alunos, pode apresentar diversas características, mas todas elas podem ser representadas através de um relógio. Claro que essas concepções não representam 100% da turma. Como apresentado anteriormente, existem muitas outras ideias levantas pelos estudantes. Por esse motivo, ao longo dos bimestres seguintes elas serão abordadas em diferentes contextos históricos. O objetivo desse trabalho não é o de alterar as concepções apresentadas pelos alunos, mas problematizar a ciência, o processo de produção do conhecimento e mostrar que o espaço e o tempo são conceitos repletos de significados e que dificilmente se chegará a uma concepção única e absoluta acerca deles, assim como toda a ciência.

IV.3.2 - A geometrização do tempo e do espaço

Nessa seção, serão apresentadas as atividades realizadas com os estudantes em relação a *mutação* do estilo de pensamento que ocorreu no início da Idade Média e que deu origem a geometrização do espaço e do tempo. É importante deixar claro que neste momento apresentaremos apenas o que foi desenvolvido e aplicado em sala de aula, fazendo os respectivos comentários e apresentando algumas indicações de mudanças a serem realizadas. Com essas indicações, estaremos planejando e implementando as próximas atividades. Seguiremos a proposta de pesquisa-ação realizando um planejamento, uma implementação e uma avaliação das atividades referentes ao espaço e ao tempo. No entanto, não deixaremos de fazer um breve comentário da impressão que tivemos em relação a aplicação das demais atividades. Como já disto anteriormente, o professor abaixo mencionado trata-se do pesquisador de sua própria ação.

- OBJETIVOS CURRICULARES: Conhecer as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses, marés etc.); Compreender a relatividade do movimento; Compreender fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos, identificando e relacionando as grandezas envolvidas; Compreender os conceitos de velocidade e

aceleração associados ao movimento dos planetas; Reconhecer o caráter vetorial da velocidade e da aceleração; Destacar o contexto histórico-social em que Galileu vivia e seus principais desenvolvimentos científicos; De que forma os conceitos de espaço e tempo são definidos e dialogam com a ciência desenvolvida por ele; Compreender o conceito de espaço e tempo para Galileu; Compreender a lei da queda dos corpos;

- OBJETIVOS FILOSÓFICOS E DA NATUREZA DA CIÊNCIA: Compreender que a ciência é um tipo de cultura[23]; Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social; Compreender que a ciência não pode fornecer respostas a todas as perguntas; Compreender que a produção do conhecimento científico é parcialmente baseada em inferência humana, imaginação e criatividade; Compreender que a ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; Compreender que o conhecimento científico é transitório e de auto-correção; Compreender o caráter de validação de um conhecimento científico.

- QUADRO SINÓTICO:

Quadro IV. 7 - Quadro sinótico 01

ATIVIDADE	MOMENTO	TEMPO (AULAS)
1. A geometria do movimento: A cinemática	Exposição: “Os relógios e as réguas da história”	4 Aulas
	Exibição de vídeo: “A cinemática” Link: https://youtu.be/nrCZvQD5PAk	
	Discussão: O espaço, o tempo e o movimento.	

[23] O termo cultura utilizada nesse trabalho está de acordo com o trabalho apresentado por Igal Galili (2011)

Continuação: Quadro IV.7

2. Galileu Galilei	Aula expositiva: contextualização histórica.	4 Aulas
	Exibição da animação: “Grandes Personagens da História: Galileu Galilei”, EUA, 2010, 60min.; COR. Diretor: Jason Connery	
	Texto 1: Os trabalhos de Galileu e porque ele queria desenvolver uma nova cinemática. Responder em grupo às questões do texto 1.	
3. A cinemática de Galileu e suas concepções de espaço e tempo.	Aula Expositiva: “Galileu e a queda dos corpos”	6 Aulas
	Exibição de simulação: O experimento do Plano Inclinado de Galileu.	
	Slide: O Movimento para Galileu; as transformadas de Galileu e a ideia de movimento relativo: seria um tempo e um espaço absoluto?	

Fonte: elaborado pelo autor

- DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES:

Atividade 1.1 - Exposição: Os relógios e as réguas da história

DESCRIÇÃO: Após conhecer o perfil dos alunos, o professor pediu a eles que realizassem uma breve pesquisa sobre o tempo e o espaço como medida. Ele dividiu os alunos em grupos e entregou os seguintes tema para cada um deles: 1) O espaço e o tempo como medida; 2) As medidas de comprimento no Egito antigo; 2) A clepsidra; 3) A ampulheta; 4) Os relógios mecânicos; 5) A geometria. Na semana seguinte, os alunos apresentaram a pesquisa realizada em forma de pôster, onde cada um deles fez um breve comentário sobre o que foi pesquisado.

OBJETIVO: Levar os alunos a refletirem que o tempo e o espaço já eram conceitos presentes desde a antiguidade e que em muitas sociedades de diferentes momentos da história houve uma grande preocupação em encontrar formas de medi-las; Fazer com que os alunos compreendam as relações entre os movimentos da Terra, da Lua e do Sol para a descrição de fenômenos astronômicos (duração do dia/noite, estações do ano, fases da Lua, eclipses, marés etc.)

COMENTÁRIOS: Apesar da atividade ter sido realizada com certo sucesso, onde todos os grupos buscaram o que foi pedido, eles tiveram certa dificuldade em apresentar o conteúdo. Isso provavelmente ocorreu devido a atenção que deram apenas em realizar uma busca pelas informações disponíveis em materiais de consultas, tais como a internet. Como se tratava de uma atividade de sensibilização, pode-se dizer que o objetivo foi de certa forma alcançado. Entretanto, na próxima execução de uma atividade parecida é interessante que seja entregue aos alunos um pequeno roteiro e algumas questões para serem respondidas no próprio trabalho. Além disso, algumas indicações de sites/livros para eles buscarem as informações.

Atividade 1.2 - Exibição de vídeo: "A cinemática"

DESCRIÇÃO: Na semana seguinte, foi exibido um vídeo sobre o desenvolvimento da cinemática. Este vídeo mostrou que o desenvolvimento inicial da cinemática ocorreu de forma geométrica. Os alunos assistiram ao vídeo e realizaram algumas anotações dos pontos principais apresentados no vídeo. O vídeo, com apenas 5 minutos, foi desenvolvido pelo próprio professor e sua transcrição encontra-se em anexo. (http://youtu.be/nrCZvQD5PAk).

OBJETIVO: Mostrar aos alunos que na Idade Média, mesmo a ciência ainda baseada no estilo de pensamento aristotélico, houve desenvolvimentos científicos que até hoje ainda são utilizados como ferramenta na descrição dos movimentos.

COMENTÁRIOS: Ao apresentar o vídeo, grande parte dos alunos ficaram atentos ao que estava sendo apresentado. Um pequeno grupo, no entanto, ficou um pouco disperso e não realizou nenhum tipo de anotação. O professor percebeu que alguns alunos não conseguiram acompanhar as informações que estavam sendo apresentadas. Entretanto, alguns alunos, os que estavam sentados mais a frente da

sala, ficaram mais atentos e aparentemente estavam compreendendo o que estava sendo apresentado. Ao perceber isso, ao final da atividade, o professor perguntou a esses alunos o que eles tinham compreendido e eles responderam dizendo que já haviam estudado isso no 9º ano, mas mesmo assim, eles acharam que as informações foram apresentadas de forma muito rápida.

PONTOS POSITIVOS: A atividade serviu para sair da rotina da aula expositiva e apresentou a história da cinemática de uma forma contextualizada. Além disso, a duração do vídeo manteve a maioria dos alunos atentos e focados ao que estava sendo apresentado e ao objetivo principal do vídeo, apresentar os conceitos principais da cinemática e seu caráter geométrico.

PONTOS NEGATIVOS: A apresentação dos conteúdos foi feita de forma muito rápida. Isso não foi um problema para alunos que já conheciam o conteúdo, mas para outros isso se tornou um obstáculo para o completo entendimento. Por esse motivo, seria interessante que tivesse um texto de apoio para acompanhar a exibição do vídeo.

Atividade 1.3 - Discussão: "O Espaço, o tempo e o movimento"

DESCRIÇÃO: Após a exibição do vídeo "A Cinemática", foi pedido que os alunos apresentassem as anotações que eles realizaram. Em seguida, o professor começou fazendo uma pergunta: "O que vocês entenderam do vídeo"? A partir dessa pergunta, o professor mediou uma pequena discussão e tentou levantar os pontos principais do que estava sendo apresentado/discutido.

OBJETIVO: Levantar os pontos destacados pelos alunos e fazer uma discussão sobre o espaço, o tempo e o movimento. Destacar que no período do séc. XIV o espaço e o tempo possuíam características qualitativas e métricas, mas sem possuir externalidade própria, visto que as medidas possuíam um fim comparativo; Reconhecer a importância da Física Aristotélica e a influência exercida sobre o pensamento ocidental.

COMENTÁRIOS: Ao perguntar o que os alunos haviam compreendido sobre o vídeo nem todos responderam. O grupo de alunos que apresentou maior compreensão a respeito do que foi passado comentou que já haviam estudado um pouco de cinemática no ano anterior, incluindo a ideia de velocidade, deslocamento e intervalo de tempo. Quando questionados, eles ainda informam que nunca ouviram falar sobre essa ligação

com a geometria e nem que a cinemática havia sido desenvolvida há tanto tempo. O professor apresentou a ideia de que o tempo e o espaço já eram estudados por um grupo chamado "*geômetras do movimento*" de uma escola conhecida como Merton. Que tal grupo utilizou a geometria para desenvolver os primeiros estudos "modernos" sobre a geometria do movimento e que eles não foram os únicos nesse empenho. Apesar disso, grande parte desse desenvolvimento ainda tinha como base o estilo de pensamento medieval – tomista-aristotélico - na qual o espaço e o tempo possuíam características de qualidades, ou seja, eram espécies de adjetivos que estavam intimamente ligados a caracterizar os corpos, entidades ou movimentos. O professor ainda destacou que isso começou a mudar com o renascimento artístico que ocorreu a princípio na Itália e depois no resto da Europa. Nesse momento, um aluno perguntou o que a arte tinha a ver com a Física. O professor respondeu dizendo que o contexto social da época permitiu que muitas mudanças ocorressem na forma de pensar no espaço, no tempo e no movimento, isso incluía a arte, a técnica, a filosofia, a ciência, dentre outros. Após essa parte, o professor ainda definiu a ideia de velocidade como sendo a rapidez com que um corpo executa um movimento e passou alguns exemplos de movimentos e determinações de suas velocidades.

PONTOS POSITIVOS: Os alunos perceberam que na Idade Média houve desenvolvimento cientifico. Conseguiram compreender também o caráter métrico da velocidade.

PONTOS NEGATIVOS: Seria interessante que essa atividade fosse precedida de uma atividade sobre o movimento artístico que ocorreu na Renascença e a mudança da forma de representar o espaço que ocorreu nesse período. Possivelmente, eles conseguiriam fazer uma relação melhor com o período estudado.

Atividade 1.4 - Aula Expositiva: Contextualização Histórica

DESCRIÇÃO: O professor realizou uma aula expositiva mostrando o cenário histórico no qual ocorreu o desenvolvimento da Ciência Moderna. Para isso, ele apresentou uma narrativa que envolvia diversos setores da sociedade, incluindo as questões artísticas, comerciais, técnicas de engenharia, a filosofia, a religião e a ciência. Além disso, foi mencionado que nesse período houve muitos homens que estavam imersos nesse contexto e que eles também contribuíram para que uma nova forma de fazer ciência fosse desenvolvida. Dentre eles, Galileu Galilei.



IV. 2 - Aula expositiva "contextualização histórica de Galileu Galilei"
Fonte: elaborado pelo autor

OBJETIVO: Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social; Discutir o processo de validação de um conhecimento científico.

COMENTÁRIOS: O professor realizou uma contextualização histórica dos séculos XVI, XV e XVI abordando as principais mudanças que ocorrem em diversos setores da sociedade nesse período. Mostrou a transformação que ocorreu nas artes, no comércio, na técnica, na filosofia e na ciência. Os alunos não tiveram dificuldades em compreender o que foi apresentado. No entanto, eles se sentiram como se estivessem em uma verdadeira aula de história. No momento em que o professor falou sobre a relação da Igreja e da ciência alguns dos alunos mostraram que já haviam ouvido falar sobre isso. Ao serem questionados, eles falaram que foi a "*época em que a igreja proibia a ciência*". O professor então falou que não é que eles impedissem quem tentasse fazer ciência, mas eles mesmos produziam conhecimento científico de uma forma diferente como fazemos hoje, mas o que eles faziam era tão válido como os cientistas trabalham atualmente, a diferença está apenas na forma de produzir conhecimento. Logo após, o professor comentou novamente sobre a ideia de espaço e tempo como qualidades e citou como exemplo a ideia de Tomás de Aquino, na qual podia existir três tipos de tempos (o de Deus, o dos anjos e o dos homens). Uma aluna, inclusive, mencionou que já tinha ouvido falar sobre isso na igreja. Nesse momento, alguns alunos no fundo da sala ficaram um pouco dispersos, mas mesmo assim o professor continuou e apresentou Galileu Galilei como sendo um dos homens que colaborou para a mudança da forma de pensar e fazer ciência nesse período, incluindo a mudança na ideia do que era espaço e tempo.

PONTOS POSITIVOS: Os alunos gostaram da contextualização histórica, principalmente por ter mostrado coisas que eles já haviam estudado nas aulas de história, tais como as inovações técnicas, comerciais e artistas durante a renascença. Além disso, a apresentação de ideias que os alunos já possuíam (como o conceito de tempo para Tomás de Aquino) fez uma aproximação um pouco maior entre eles e o que foi apresentado. Aparentemente, grande parte dos alunos compreendeu que nesse período estava ocorrendo uma grande mudança na forma de pensar em diversos setores da sociedade, incluindo a ciência. Isso permitiu mostrar que a ciência é integrada socialmente.

PONTOS NEGATIVOS: Seria mais interessante que a aula começasse com uma apresentação da ideia de tempo e espaço presente na idade média, incluindo as ideias de Tomás de Aquino e de outros escolásticos, além de mostrar como os artistas desse período representavam essas ideias em suas obras. Em seguida, apresentar mais exemplos das mudanças que ocorreram nos setores da sociedade, tais como a relação do comércio com a família Médici e como isso impulsionou o desenvolvimento artístico em Florença, algo que permitiu a geometrização do espaço, dentre outros fatores - como a "descoberta" da geometria pelos artistas florentinos. Isso poderia fazer com que os alunos percebessem um pouco mais tudo que ocorreu nesse período e como isso foi importante para o desenvolvimento da geometrização do espaço e tempo, já que nesse momento eles não perceberam muito bem isso.

Atividade 1.5 - Exibição de vídeo: desenho animado de Galileu Galilei

DESCRIÇÃO: Dando seguimento a ideia de apresentar o homem Galileu Galilei, na aula seguinte, o professor realizou uma exibição de um desenho animado sobre alguns pontos da vida do cientista. O professor pediu que os alunos prestassem bastante atenção ao vídeo e aos pontos principais que ele apresenta.

OBJETIVO: Motivar os alunos a conhecerem um pouco sobre a vida e obra de Galileu Galilei; Apresentar as ideias do Universo geostático de Aristóteles-Ptolomeu e heliostático de Copérnico-Galileu; Compreender a relatividade do movimento.

COMENTÁRIOS: Os alunos gostaram de assistir a obra audiovisual, principalmente por se tratar de um desenho animado com uma duração de 30 minutos. Ao final da apresentação, alguns alunos fizeram alguns comentários sobre a animação, incluindo um aluno que disse que Galileu poderia ser comparado a Jesus, isso porque ele estava tentando dizer a "verdade", mas os outros não ouviram. Apesar de mostrar alguns trechos da vida de Galileu, ele apresentou essa história de uma forma muito romantizada mostrando Galileu como um herói em meio a um universo de vilões. Por esse motivo, foi necessário falar com os alunos que o vídeo apresenta alguns recortes da vida de Galileu, mas com muita "liberdade poética", já que a história mostra a vida dele de uma forma um pouco diferente da apresentada na animação.

PONTOS POSITIVOS: A animação conseguiu fazer com que a grande maioria da turma se interessasse pela história de Galileu Galilei e pelo que ele realizou. Ela mostrou

também a importância da experimentação na ciência de Galileu e os alunos perceberam isso.

PONTOS NEGATIVOS: A obra apresenta uma versão muito romantizada da história. Isso levou alguns alunos a terem uma visão de Galileu como se fosse um herói. Por esse motivo, foi necessário que após a exibição do vídeo o professor realizasse uma discussão mostrando algumas diferenças entre o que foi apresentado no vídeo e o que a história adequada nos apresenta. Seria mais interessante que, em uma próxima aplicação da atividade, fosse levado um pequeno texto sobre a vida de Galileu e suas relações com a sociedade da época, mas com uma história um pouco mais contextualizada. Assim, poderia ser pedido que os alunos confrontassem as duas versões. Tal atividade poderia ajudar a desmitificar a ideia de Galileu como um herói da ciência, mas um dentre muitos homens presentes nesse contexto que colaborou para o desenvolvimento de um novo estilo de pensamento.

Atividade 1.6 - Texto 01: Os trabalhos de Galileu

DESCRIÇÃO: Ainda falando sobre Galileu, foi entregue aos alunos um pequeno texto com um resumo sobre os trabalhos científicos realizados por ele. Nesse texto foi explicado que o objetivo dele era desenvolver uma nova cinemática. Como foi um dos defensores do heliocentrismo em grande parte de sua vida, ele desejava desenvolver uma nova física que fosse possível para um modelo planetário no qual a Terra não necessitasse estar imóvel. Para isso, Galileu contou com conhecimentos desenvolvidos anteriormente, incluindo a regra de Merton, a experimentação, a sua criatividade e imaginação. Os alunos tiveram cerca de 20 minutos para realizarem uma leitura em grupo (com quatro alunos). Em seguida, responderam algumas questões que estavam no final do texto.

OBJETIVOS: Compreender que a produção do conhecimento científico é parcialmente baseada em inferência humana, imaginação e criatividade; Compreender que a ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; Compreender que a abstração matemática fazia parte dos trabalhos desenvolvidos por Galileu; Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos naturais ou sistemas tecnológicos; Compreender a relatividade do movimento.

COMENTÁRIOS: Ao iniciar a aula e com a entrega do texto, alguns poucos alunos demoraram a entender a ideia da atividade. A grande maioria, no entanto, rapidamente se separou em grupo e começou a leitura. O interessante é perceber que existia uma grande diferença na postura dos alunos em relação ao texto, alguns compreenderam bem, outros tiveram uma enorme dificuldade, solicitando a presença do professor o tempo todo para sanar dúvidas de compreensão. Outro detalhe observado foi, que se tratando das questões, eles (a maioria, pelo menos) buscavam "recortes" no texto para responde-las. Eles não elaboraram respostas com o entendimento deles. Isso pode ter ocorrido pelo fato deles estarem acostumados a responder questionários onde sempre havia uma resposta "certa" sem que fosse necessário realizar uma reflexão maior. Foi percebido que eles compreenderam a importância da experimentação nos trabalhos de Galileu.

PONTOS POSITIVOS: O texto serviu para sistematizar o que foi discutido sobre Galileu e seus desenvolvimentos científicos. Apesar de apresentar uma leitura muito complexa para os alunos em questão, o texto fez com que eles se sentissem mais seguros em relação ao que estava sendo discutido/apresentado.

PONTOS NEGATIVOS: O texto poderia ser um pouco mais lúdico e que mostrasse um pouco mais as relações entre os trabalhos de Galileu com a sociedade na qual ele estava inserido e não apenas mostrasse o "motivo" pelo qual ele desejava desenvolver uma nova cinemática. No entanto, para desenvolver um texto com essa perspectiva, levaria um tempo maior na execução do mesmo. Por esse motivo, em atividades futuras o texto foram refeitas tomando cuidado com tais detalhes.

Atividade 1.7 - Aula Expositiva: A queda dos corpos

DESCRIÇÃO: Nessa aula, o professor realizou uma aula expositiva sobre a queda dos corpos. Ao iniciar a aula, o professor mostrou como era a ciência no final da Idade Média, que ela era baseada nas ideias aristotélicas e que diversos fenômenos físicos eram explicados tendo como base esse estilo de pensamento, um desses fenômenos era a queda dos corpos. A partir dessa introdução, foi feita uma pergunta: "*se uma folha e um caderno fossem abandonados ao mesmo tempo de uma determinada altura, qual chegaria primeiro ao solo?".* Tal questão serviu para sensibilizar os alunos e mostrar a dificuldade em explicar como um corpo caia, principalmente com a retirada da Terra do centro do universo. A aula ainda mostrou os desenvolvimentos cinemáticos que Galileu

realizou na tentativa de desenvolver uma nova física para um sistema geodinâmico. Para isso, ele fez uso da abstração matemática, do conhecimento desenvolvido por outros homens da ciência (ou matemáticos), tais como os geômetras de Merton, além da experimentação e da criatividade e imaginação. Após a realização da aula foi entregue aos alunos alguns exercícios de fixação. Os exercícios serviram para consolidar o que havia sido exposto na aula. (Ver imagem IV.3 e IV.4)

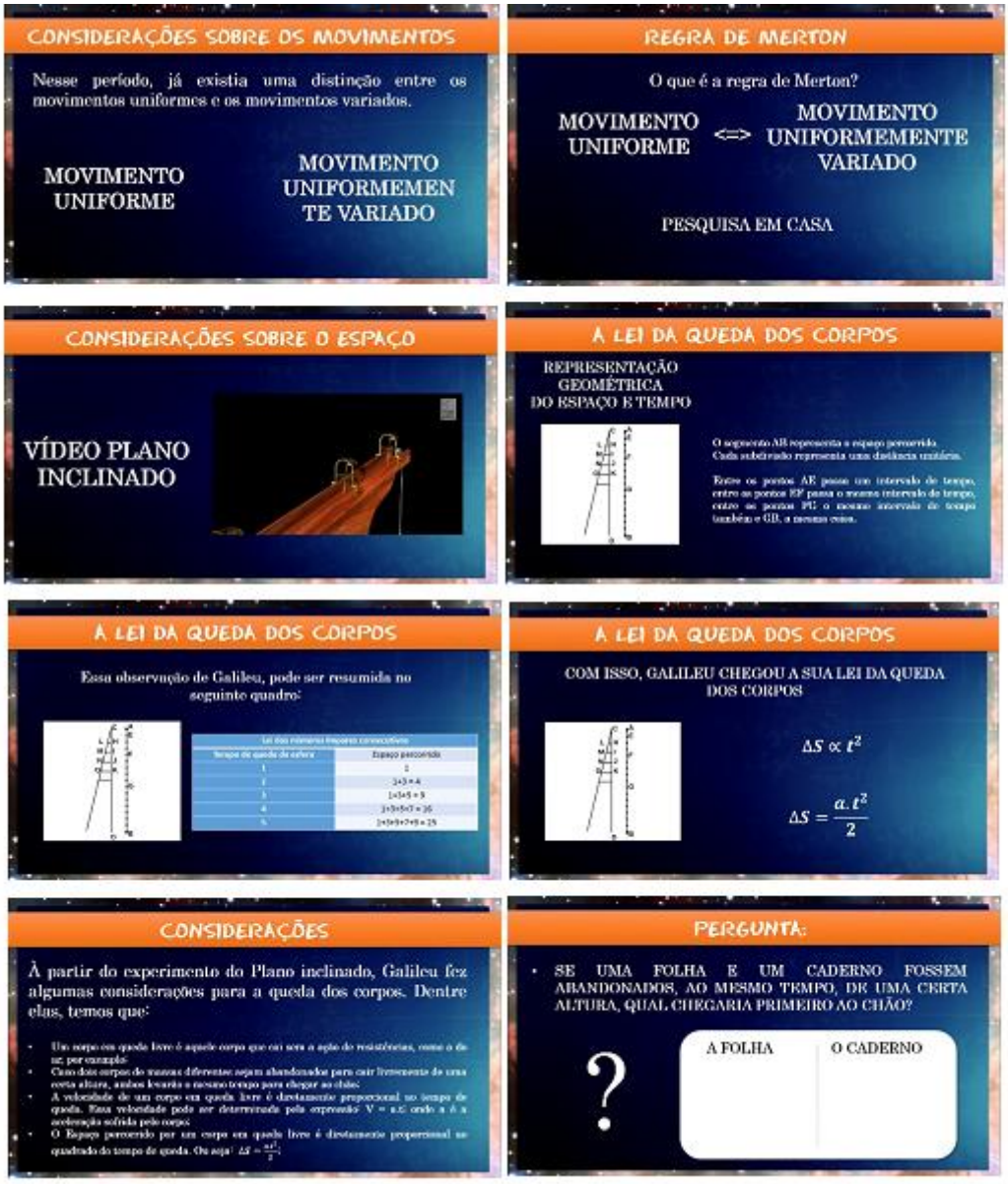
OBJETIVO: Compreender o caráter transitório da Ciência; Compreender que a produção do conhecimento científico é parcialmente baseada em inferência humana, imaginação e criatividade; Compreender que a ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social; Compreender os conceitos de velocidade e aceleração;

COMENTÁRIOS: Ao longo da aula, em torno de 5 alunos ficaram dispersos o tempo todo. Foi percebido também que, por já terem estudado sobre a queda dos corpos em algum outro momento, alguns alunos ficaram confusos com a ideia de corpos mais pesados “caírem primeiro”, já que para eles, os corpos caem juntos. O professor encontrou uma certa dificuldade inicial para chamar a atenção da turma para o tema. No entanto, ele teve que fazer um pequeno desvio da aula e falar em poucos minutos a dificuldade em explicar como os corpos caem quando a Terra está em movimento. Já que nesse caso, um corpo cairia “atrás” do ponto onde começou a cair, mas não é isso que acontece. Para explicar este caso, o professor fez uso de uma esfera de papel e uma tampa de caneta para mostrar onde a tampa cairia com uma Terra em movimento. Depois ele mostrou um exemplo similar ao barco de Galileu (no qual um corpo é abandonado do mastro) utilizando para isso a própria mão (servido de mastro), a tampa de caneta (como bala de canhão) e um caderno (servindo de barco).

Os alunos conseguiram compreender bem melhor o caso de um corpo caindo quando a Terra se encontra em movimento e viram que essa explicação era bem plausível para explicar tal fato. O vídeo mostrando a simulação do plano inclinado serviu para mostrar como Galileu realizou tal feito e que para isso contou com muita criatividade e imaginação. Interessante observar também que uma aluna repetente interagiu bastante com a aula, principalmente por ela conhecer um pouco da parte conceitual apresentada. Outro detalhe interessante sobre esse dia, é que antes de iniciar a aula, um grupo de três alunas interrompeu o professor no corredor para perguntar se haveria mais “historia” de Galileu naquele dia.



IV.3 - Aula expositiva: "A queda dos corpos" - parte 01
Fonte: elaborado pelo autor



IV.4 - Aula expositiva: " A queda dos corpos" - parte 02
Fonte: elaborado pelo autor

Com essa fala é possível perceber que mesmo que alguns alunos achem um pouco cansativo e até mesmo “chato” ter aula com história, eles conseguem pelo menos se integrar um pouco mais ao assunto e saber sobre o que o professor está ensinado. Em experiências anteriores, na qual o professor já havia lecionado sobre o assunto, mas sem utilizar nada de história da ciência, eram poucos os alunos que sabiam exatamente sobre o que estavam estudando. Não havia muito significado naquilo. Então, mesmo que a utilização de “história da ciência” em sala de aula seja até menos motivacional para os alunos, uma coisa é fato: O ensino com história da ciência se torna mais significativo para os alunos, eles sabem o porquê daquele conhecimento e o porquê

dele ter sido desenvolvido. Isso por si só, já é suficiente para a defesa desse tipo de aula.

PONTOS POSITIVOS: A apresentação do problema dos corpos com uma perspectiva histórica, mesmo que mais internalista, dá um significa maior para o assunto que está sendo estudado. Os alunos (em sua maioria) compreenderam que na época apresentada havia um problema para explicar a queda dos corpos e que Galileu foi um dos que colaborou para resolver o problema. Perceberam também a importância da experimentação, da criatividade e da imaginação nos trabalhos de Galileu. Eles também compreenderam que Galileu contou com conhecimentos já desenvolvidos, tais como a regra de Merton.

PONTOS NEGATIVOS: Apesar de uma aula sobre queda dos corpos, faltou realizar uma contextualização maior sobre o próprio problema apresentado. A aula poderia ter apresentado como outras pessoas estavam tentando resolver o problema da queda dos corpos e que Galileu não foi o único nesse empenho, além disso seria interessante ter mostrado que Galileu e Kepler mantiveram contato um com o outro – através de correspondências - para falar sobre essa questão. Algo que também ficaria melhor se a aula apresentasse o caráter geométrico que Galileu utilizou (mesmo se fosse utilizando uma notação matemática atual) para que ele chegasse a lei da queda dos corpos ($v \alpha t$ / $S \alpha t^2$). Isso poderia contextualizar melhor o processo de geometrização do espaço e tempo.

Atividade 1.8 - Texto 02: A geometrização do espaço e tempo

DESCRIÇÃO: O professor iniciou sua aula fazendo uma apresentação sobre os tipos de movimento (O M.U e o MUV). Falou das principais diferenças entre esses movimentos, incluindo a constância e variação da velocidade no decorrer do tempo e o espaço percorrido em relação ao tempo. Citou alguns exemplos sobre os movimentos uniformes (incluindo a manutenção da velocidade de um carro em uma pista) e do movimento uniformemente variado (a queda dos corpos). Após essa apresentação, ele mostrou aos alunos que Galileu, ao estudar os movimentos, representou os tipos de movimento através de figuras geométricas. Nesse momento, ele desenhou duas retas geométricas, uma representando o espaço percorrido por um corpo nos dois movimentos a outra representando o transcorrer do tempo. Em seguida, falou que anteriormente à época de Galileu, o tempo, apesar de já ser utilizado como medida dos

relógios, eram tratados como qualidades ou características dos corpos, mas que Galileu estava em um momento da história em que muitas coisas começaram a ser representadas por formas geométricas, era uma característica da arte da época. O professor lembrou até da aula que ele havia dado sobre a contextualização histórica em que falou sobre o desenvolvimento da perspectiva e a representação do espaço através das regras da geometria, havendo com isso uma geometrização. Galileu fez uso desse conhecimento para representar o tempo através de um segmento de reta, ou seja, ele geometrizou o tempo. De acordo com ele, se o tempo fosse representado dessa forma poderia ser estudado pelas regras da matemática. Partindo desse ponto, o professor entregou um texto sobre o espaço e o tempo de Galileu, para que eles sentassem em grupo e discutissem sobre as diversas características relativas ao tempo e a geometrização do tempo e do espaço. Durante a leitura do texto muitos alunos não chamaram tanto o professor, apenas para tirar uma dúvida ou outra sobre palavras. No entanto, quando eles começaram a responder as questões veio uma verdadeira problematização sobre o tema. Primeiro, porque eles queriam saber o que era qualidade, visto que para grande parte dos alunos a palavra qualidade soava como se fosse uma coisa boa - uma característica positiva associada ao tempo - e não que o tempo fosse uma qualidade associada aos corpos. O professor precisou chamar a atenção da turma inteira e explicou que a qualidade se refere a uma característica dos corpos, e que o tempo seria uma dessas características. Citou alguns exemplos: "*um tempo de viver, um tempo de morrer, um tempo de crescer, etc*. *Quando falamos essas coisas, estamos dizendo que o tempo seria uma qualidade ou característica desse corpo*". O professor voltou ao texto novamente e explicou que Tomás de Aquino, por exemplo, classificava o tempo em três tipos: o tempo de Deus, o tempo dos anjos e o tempo dos homens. E que ele não pensava em um tempo que existia fora dos corpos (nesses três seres, no caso) mas que era algo interno ao corpo. Nesse momento, surgiu certa inquietação na turma. Aos olhos do professor, parecia que eles estavam um pouco incomodados com o tipo de pergunta, algo que não era tão simples de responder. Alguns alunos conseguiram compreender e responderam imediatamente, porém houve alguns grupos que chamaram o professor para que ele explicasse um pouco melhor. O professor foi e explicou novamente aos alunos, falando que o tempo como qualidade seria um adjetivo das coisas, ou seja como se fosse um tempo para cada coisa, um tempo passado, o seu ontem, o tempo futuro, o seu amanhã, que tinha tempo para beber, comer, casar, se divertir, era um tempo para cada coisa que você fosse fazer. Enquanto eles respondiam as questões paravam para questionar ao professor sobre as respostas e tirar dúvidas. Isso, inclusive, foi muito proveitoso para a aula, já que o

objetivo do questionário e do texto era o de problematizar o conceito de espaço e tempo geometrizado e isso acabou funcionando.

OBJETIVOS: Problematizar o processo de geometrização do espaço e tempo; Apresentar a mudança de estilo de pensamento entre a visão escolástica-tomista-aristotélica para o estilo de pensamento matemático-geométrico.

ANÁLISE DAS RESPOSTAS: Logo abaixo se encontra as questões com as respectivas respostas dos grupos de alunos e uma breve análise do conteúdo.

Quadro IV. 8 – Pergunta: "o que significa o tempo?"

Questão 01: Para você, o que significa o tempo ser uma qualidade dos corpos?	
Grupo 01	Tempo é basicamente uma propriedade onde cada ser humano tem o seu determinado tempo para tudo na vida, por exemplo: o nascimento de uma criança, nele a mãe fica esperando por quase 9 meses para o bebê nascer.
Grupo 02	Um homem chamado Tomás de Aquino considerou que havia três tipos de tempo: O do homem, o dos Anjos e o de Deus
Grupo 03	É uma qualidade dos corpos porque nele há muitas coisas que o ser humano precisa.
Grupo 04	É porque existe um tempo para tudo: tempo de viver, tempo de morrer, etc.
Grupo 05	Porque não podemos fazer nada em nossa vida se não houve "tempo" porque para tudo precisamos de tempo.
Grupo 06	É porque existe tempo de viver, de morrer, de permanecer fazendo algo.
Grupo 07	O tempo é uma qualidade porque pra tudo temos que esperar, ou seja, esperar é o momento para algo acontecer.
Grupo 08	É uma qualidade, pois cada coisa tem o seu próprio tempo e que cada corpo tem o seu tempo de crescer, envelhecer e etc.

Fonte: elaborado pelo autor

Falar que um tempo é uma qualidade pode significar muitas coisas, porém em uma perspectiva tomista, o tempo é uma característica pertencente a um ser, (ao homem, aos anjos e a Deus). Porém, para Aquino, o tempo também pode ser uma característica do movimento, sem possuir uma externalidade própria. Observando a

resposta dos alunos, é percebido que para eles, o tempo ser uma qualidade é porque existe um tempo para tudo na vida. Os grupos 2,4,6,7 e 8 deixaram isso bem claro em suas respostas. Ao afirmarem que para tudo existe um tempo, eles estão dizendo que o tempo é um dado pertencente a um fato que irá ocorrer (ou ocorreu), ou seja, existe uma dinâmica que é caracterizada pelo tempo. É possível que os alunos tenham compreendido parte do caráter qualitativo presente na visão tomista. Porém, seria necessário que o texto entregue aos alunos deixasse isso bem mais claro e com exemplos didáticos. Como o texto possuía um caráter problematizador tendo como principal objetivo apresentar a mudança de estilo de pensamento entre a visão escolástica-tomista-aristotélica para o estilo de pensamento matemático-geométrico.

Quadro IV. 9 - Pergunta: "o que você entende por tempo geometrizado?"

Questão 02: O que você entende por tempo geometrizado?	
Grupo 01	É quando o tempo é representado por figuras geométricas, exemplo: uma reta.
Grupo 02	Foi algo desenvolvido por cientistas, como Galileu, para representar o tempo.
Grupo 03	Quando é medido geometricamente.
Grupo 04	O tempo sendo representado geometricamente, por um segmento de reta, por exemplo.
Grupo 05	Quando ele é representado por um segmento de reta, assim como Galileu fez.
Grupo 06	O tempo representado por figuras geométricas, por exemplo, uma reta.
Grupo 07	Como a matemática se tornou tão importante naquela época, eles resolveram usar formas geométricas, principalmente retas, para representar diversas coisas, incluindo o tempo.
Grupo 08	O tempo representado por figuras retas numéricas, figuras geométricas, etc.

Fonte: elaborado pelo autor

Nessa questão, praticamente todos os grupos compreenderam que um tempo geometrizado é uma forma de representar o tempo através de figuras geométricas, principalmente um segmento de reta. Por ser a forma mais comum de representar o tempo, já que a linha do tempo é uma representação geométrica, não houve muitas

dificuldades para que os grupos compreendessem esse caráter representativo. Ao observar a resposta do grupo 2 é percebido que eles foram um pouco além no que foi pedido, visto que, ao afirmarem foi "*desenvolvido por cientistas, como Galileu, ...*" eles mostraram uma compreensão de que Galileu não realizou tal fato sozinho. Ou seja, um cientista não trabalha isolado sem que haja mais pessoas que tentando resolver os mesmos problemas. Existe um coletivo de pensamento (FLECK, 2010) que buscar responder as mesmas questões ou questões semelhantes. Percebendo ainda a resposta do grupo 07, observamos que eles compreenderam a importância da linguagem matemática (pensamento matemático) naquele contexto histórico, já que essa foi uma, mas não a única, das características do desenvolvimento da ciência moderna.

Quadro IV. 10 - Pergunta: "Como Galileu representa o tempo e o espaço?"

Questão 03: Como Galileu representa o tempo e o espaço?	
Grupo 01	Através de um segmento de reta, mas para ele o tempo era uma grandeza continua e com infinitos instantes.
Grupo 02	Galileu representava o tempo e o movimento através de uma linha geométrica.
Grupo 03	Através da geometria.
Grupo 04	Por um segmento de reta.
Grupo 05	Com um segmento de reta.
Grupo 06	Segmento de reta
Grupo 07	Ele utilizava parâmetros matemáticos, tais como uma linha geométrica.
Grupo 08	Através de uma linha geométrica independente uma da outra.

Fonte: elaborado pelo autor

Todos os grupos responderam que Galileu representava o tempo através da geometria. Porém, apenas um grupo (grupo 01) foi um pouco além ao dizer as características físicas que Galileu atribuiu ao tempo, já que afirmaram que "*para ele o tempo era uma grandeza continua e com infinitos instantes*".

Quadro IV. 11 - Pergunta: "Representação do espaço e do tempo."

Questão 04: Você acredita que conceitos como o tempo e o espaço podem ser interpretados de formas diferentes por diferentes cientistas (ou filósofos)? Defenda seu ponto de vista citando exemplos.	
Grupo 01	Sim, pois basicamente muitos tem sua forma de pensar, mas basicamente estavam explicando com o mesmo sentido.
Grupo 02	...
Grupo 03	Sim.
Grupo 04	Sim, já que na Idade Média o tempo era considerado uma qualidade dos corpos, porém depois ele foi matematizado por Galileu.
Grupo 05	Sim. Antes Tomás de Aquino considerava o tempo como uma qualidade dos corpos e dizia que existiam três tipos de tempo. Porém, depois Galileu representou o tempo através de figuras geométricas, tais como retas.
Grupo 06	Tomás de Aquino dizia que existia o tempo dos homens, dos anjos e de Deus, já Galileu transformou o tempo em parâmetro matemático.
Grupo 07	Sim, porque cada um tem um ponto de vista diferente, ou seja, eles podem não concordar com outros cientistas ou filósofos.
Grupo 08	Sim, porque cada um tem uma forma de pensar e por isso cada um pode interpretar de uma forma.

Fonte: elaborado pelo autor

Todos os grupos (com exceção do grupo 02 que não respondeu a questão e do grupo 3) compreenderam o caráter transitório do conceito de tempo no contexto apresentado. Compreenderam também que dois ou mais cientistas podem ter intepretações diferentes a cerca de um fenômeno ou realizar uma conceituação diferente acerca de coisas como o tempo e o espaço. O grande problema apresentado é que existem respostas de alguns grupos (grupos 01, 07 e 08) que apesar de afirmarem que cientistas podem ter interpretações diferentes, é percebido que para eles cada um pode interpretar (ou pensar) a sua maneira e com isso vai explicar o mundo dessa forma. Para isso, é necessário que seja discutido – e deixado mais claro no texto – que apesar de cada um possuir uma forma de pensar e interpretar o mundo é preciso que suas ideias sejam avaliadas e validadas por um grupo de pares – o coletivo de pensamento. Assim, essas ideias se tornarão as leis, teorias e(ou) conceitos utilizados por esse coletivo. Ou seja, não existe um “vale tudo” no contexto científico.

COMENTÁRIOS: Ao longo da aula, alguns alunos ficaram dispersos, mas acabaram respondendo ao questionário. Três dos cinco grupos formados questionaram ao professor o tempo todo. Outro grupo questionou apenas sobre a primeira pergunta e o último grupo não questionou em nenhum momento.

PONTOS POSTIVOS: O texto foi ótimo para levantar a curiosidade e o questionamento dos alunos. Apesar de alguns alunos se sentirem incomodados em “ter” que responder a um questionário, ele foi importante para retirá-los da zona de conforto. Apesar de sofrer alguma resistência inicial dos alunos, depois eles acabam se comprometendo mais com a atividade.

PONTOS NEGATIVOS: Seria interessante se o texto deixasse mais claro o que é um tempo como uma qualidade, inclusive citando exemplos e falasse também um pouco mais sobre Tomás de Aquino e as atribuições dadas por ele ao tempo no que se refere a qualidade do movimento. O texto também poderia apresentar melhor o desenvolvimento da perspectiva, para só depois fazer uma relação com o espaço e tempo geométrico de Galileu. No entanto, se tal relação for melhor explorada nas atividades anteriores, nesse será necessário apenas fazer uma alusão a esse processo. Assim, poderia ter uma atividade prévia para que os alunos realizassem uma pesquisa sobre obras de arte do Renascimento (incluindo trabalhos de Brunelleschi e Alberti). Seria mais interessante que o texto abordasse outros exemplos que contribuíram para a geometrização do tempo, além de explorar um pouco mais a ideia de coletivo de pensamento e mostrar que para uma nova ideia - lei, teoria, conceito - ser aceita, é necessário que ela seja aceita e validada pelo coletivo. Ou seja, como dito, não existe um “vale tudo” na ciência.

Considerações sobre o episódio 01 da sequência didática

As atividades realizadas nesse primeiro episódio serviram para apresentar a mudança de estilo de pensamento dos conceitos de espaço e tempo. No estilo de pensamento escolástico-tomista-aristotélico, o tempo e o espaço eram qualidades inerentes aos corpos e/ou aos movimentos. Com o surgimento da perspectiva, o desenvolvimento da cinemática e a importância dada ao pensamento matemático nesse contexto, o tempo e o espaço passaram por um processo de geometrização. Com isso, foram admitidos pelas regras da geometria e ganharam uma externalidade própria que independia do movimento ou dos corpos.

Tais atividades mostraram que a ciência é incluída socialmente, que ela possui um caráter transitório e que existe um grupo que pensa de forma similar – o coletivo de pensamento – através do estilo de pensamento dominante (FLECK, 2010). Além disso, o coletivo de pensamento possui normas e regras que são compartilhadas entre eles formando uma cultura científica (GALILI, 2011), tal como era na escolástica e como isso mudou com a "nova" ciência.

Apesar de certo sucesso, as atividades precisam ser revistas e, em um novo momento, reaplicadas de acordo com as seguintes observações: 1) é preciso que o caráter métrico do tempo e do espaço seja mais explorado; 2) é preciso que o cenário na Idade Média seja ampliado, mostrando, inclusive os movimentos artísticos nesse período e como o espaço era representado. Além disso, mostrar como ocorreu o desenvolvimento da perspectiva e como isso colaborou para que Galileu, dentre outros, tivesse uma visão geométrica (matemática) do mundo; 3) As visões tomistas precisam ser melhorar exploradas para que os alunos compreendam melhor a mudança de estilo de pensamento entre o tempo e o espaço como qualidade e o tempo e espaço como parâmetros matemáticos (geométricos); 4) Ao utilizar vídeos, tais como a "animação de Galileu Galilei" é preciso tomar muito cuidado, principalmente devido à valorização romântica dada ao personagem. Por isso, é interessante que além do vídeo tenha um texto de apoio apresentando uma história um pouco mais informada, para que os alunos possam até mesmo confrontar as ideias apresentadas nas duas versões; 5) Os alunos precisam compreender melhor que apesar de todos possuírem formas de pensar diferentes, existem normas a serem seguidas pelo coletivo de pensamento, e que para uma nova ideia ser aceita é preciso que ela seja avaliada e validada pelos portadores do estilo de pensamento vigente. Por esse motivo, é preciso que os textos e as atividades deixem isso mais evidente.

IV.3.3 – Episódio 02: O espaço e o tempo absolutos de Isaac Newton

Nessa seção serão apresentadas as atividades sobre o episódio da controvérsia entre Isaac Newton e Gottfried Leibniz sobre a natureza ontológica do espaço e tempo. É importante deixar claro que neste momento apresentaremos apenas o que foi desenvolvido e aplicado em sala de aula, fazendo os respectivos comentários e apresentando algumas mudanças a serem realizadas. Apesar de serem apresentadas todas as atividades que foram realizadas com os alunos, faremos análises mais profundas apenas com atividades que estão diretamente ligadas ao tema deste trabalho: o tempo e o espaço. Nesta etapa levamos em consideração as observações e

indicações de melhorias feitas no episódio anterior para a implementação das atividades. Ao final, faremos uma nova avaliação do processo.

- OBJETIVOS CURRICULARES: Realizar uma breve contextualização histórica do séc. XVI e XVII; Apresentar a biografia de Newton; Apresentar os problemas físicos da época; Compreender a mecânica desenvolvida por Isaac Newton, incluindo as leis do movimento (Inércia, Dinâmica, Ação e Reação) e a Lei da Gravitação Universal; Compreender que Newton desenvolveu sua Mecânica para tentar responder a questões científicas de seu tempo, incluindo o problema da órbita dos planetas; Compreender a diferença entre grandezas absolutas e relativas; Compreender que a mecânica de Newton foi desenvolvida, tendo como base o espaço e tempo absoluto; Compreender a metafísica de Newton quanto a natureza do espaço e tempo e que existe uma relação direta com sua Física; Compreender que houve discordâncias a esse respeito e que o protagonista principal dessa discordância foi Leibniz; Compreender a concepção de Leibniz sobre a Natureza do espaço e tempo;

- OBJETIVOS FILOSÓFICOS E DA NATUREZA DA CIÊNCIA: Compreender que a ciência é um tipo de cultura; Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social; Compreender que os cientistas podem apresentar explicações e conceitos diferentes para o mesmo fenômeno observado; Compreender o caráter transitório da ciência; Compreender que a ciência sofre uma evolução – no sentido de mudança de forma gradual – ela não ocorre necessariamente num sentido progressista, mas na mudança entre estilos de pensamentos diferentes.

- QUADRO SINÓTICO:

Ver Quadro IV.2

Quadro IV. 12 - Quadro sinótico 02

ATIVIDADE	**MOMENTO**	**TEMPO (AULAS)**
1. Contextualização Histórica.	Aula Expositiva: O Contexto Histórico do séc. XVII	2 Aulas
	Exibição de Vídeo: Halley e Newton.	

	Exposição: Newton, Leibniz, Descartes, Edmundo Halley e Samuel Clarke.	

Continuação: Quadro IV.2

2. A Manutenção do Movimento.	Aula expositiva: A Manutenção do Movimento.	2 Aulas
	Discussão: O que é Força?	
3. As Leis do Movimento	Aula expositiva: As leis do movimento: Inércia, Dinâmica e Ação e Reação.	4 Aulas
	Atividade: As leis de Newton.	
4. A Gravitação Universal	Texto: O problema da órbita dos planetas e a solução newtoniana: a lei do inverso do quadrado.	2 Aulas
	Problematização: A ideia de um referencial inercial e o experimento do balde. Seria o espaço algo absoluto?	
5. O Espaço Absoluto de Newton	Leitura de Texto: O Espaço e Tempo Absoluto de Newton; O Espaço e Tempo Relativo de Leibniz	2 Aulas
	Aula Expositiva: A controvérsia Newton x Leibniz	
	Debate e entrega de Atividade	
6. Atividade de Encerramento	Atividade: História em quadrinho “A controvérsia: Newton x Leibniz”	4 Aulas

Fonte: elaborado pelo autor

- DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES:

Atividade 2.1 - Aula Expositiva: O Contexto Histórico do séc. XVII

DESCRIÇÃO: Nessa aula, foi apresentado aos alunos uma contextualização histórica do século XVII, época em que Isaac Newton desenvolveu suas ideias. O professor

mostrou as mudanças que ocorreram na sociedade europeia nesse período, tais como: o estabelecimento das religiões protestantes, as novas artes plásticas e o surgimento das organizações científicas, fatores esses que foram muito importantes para o desenvolvimento científico da época. (Ver imagem IV.5)



IV. 5 - Aula expositiva: "Contextualização histórica de Newton"
Fonte: elaborado pelo autor

OBJETIVOS: Compreender que a ciência é integrada socialmente e culturalmente; Reconhecer a importância da Física Newtoniana e sua influência sobre o pensamento ocidental;

COMENTÁRIOS: No início da aula sobre as Leis de Newton, o professor chamou a atenção dos alunos para alguns fatos históricos do século XVII, incluindo as solidificações das mudanças que ocorreram no setor artístico, religioso, filosófico e científico, como por exemplo, a fundação das sociedades científicas. Os alunos se mostraram muito interessados nessa parte histórica, principalmente quando o professor tocou no assunto das religiões protestantes, visto que eles já haviam tido aula de história sobre o assunto.

PONTOS POSITIVOS: A aula realmente chamou a atenção dos alunos para os diferentes aspectos sociais/culturais que ocorreram no século XVII, talvez por essa aula ter apresentado uma contextualização bem mais ampla que a do episódio anterior.

PONTOS NEGATIVOS: Notamos que os alunos se interessaram bastante pelas questões religiosas, isso também poderia ser melhor trabalhado nesse momento e mostrando o posicionamento religioso de muitos cientistas nesse período e como isso era importante para a produção científica da época. Por esse motivo, essa relação visão religiosa/visão científica será melhor trabalhado quando for discutido a visão newtoniana acerca da natureza do espaço e tempo.

Atividade 2.2 - Exibição de Vídeo: Edmundo Halley e Isaac Newton

DESCRIÇÃO: Logo após a contextualização histórica, foi realizado a exibição de um vídeo que conta um pouco da história de Edmund Halley e como ele contribuiu para a publicação dos Princípios Matemáticos da Filosofia Natural de Newton. O vídeo em questão trata-se do 3º episódio da série “Cosmos: Uma Odisseia no Espaço-Tempo”, estrelado pelo físico estadunidense Neil De Grasse Tyson. O episódio intitulado “Quando o conhecimento venceu o medo” possui 50 minutos de duração e foi exibido integralmente em sala de aula.

OBJETIVO: Compreender que a ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; Compreender que a experiência não é o único caminho para a produção de conhecimento; Compreender que a produção do conhecimento científico é parcialmente baseada em inferência humana, imaginação e criatividade; Compreender que a ciência não pode fornecer respostas completas a todas as perguntas; Compreender a

importância dos pares na produção do conhecimento científico; Reconhecer a importância da Física Newtoniana e sua influência sobre o pensamento ocidental,

COMENTÁRIOS: A princípio os alunos se mostraram muito interessados no vídeo, mas à medida que o tempo foi passando alguns foram perdendo o foco, talvez pelo fato do vídeo ser um pouco longo para ser exibido em sala de aula. De acordo com o observado, o ideal é que seja exibido vídeos de no máximo 30 minutos, mais do que isso se torna cansativo e os alunos perdem o foco. No entanto, ao final da exibição do vídeo, um grupo de alunos procurou o professor para fazer algumas perguntas sobre o que foi exibido e sobre os trabalhos desenvolvidos por Isaac Newton. O professor falou que ao longo do bimestre eles estariam estudando um pouco sobre esses trabalhos, inclusive suas ideias relacionadas ao espaço e tempo.

PONTOS POSITIVOS: O vídeo conseguiu apresentar um pouco sobre a relação entre Newton e outros filósofos naturais da época, além de ter mostrado outras investigações científicas que estavam ocorrendo nesse mesmo período, como por exemplo, os trabalhos de Halley sobre os cometas e os trabalhos experimentais com óptica desenvolvidos por Hooke.

PONTOS NEGATIVOS: A série “Cosmos: Uma odisseia no espaço-tempo”, apesar de ser uma ótima série para divulgar ciência, peca em alguns quesitos, como por exemplo, o caráter romântico atribuído aos personagens. Nesse episódio, Isaac Newton é visto como um herói ao lado de amigos sempre presentes – como Halley – enquanto que por outro lado existe um vilão chamado Hooke, que fazia de tudo para que Newton não conseguisse desenvolver seus trabalhos. Embora, de fato, Newton tenha sofrido certa restrição, principalmente pela sua posição social na época. Essa forma de história não é a mais adequada para apresentar uma visão de ciência mais informada e aceita pela comunidade de filósofos da ciência atualmente. De certa forma, esse vídeo acaba contribuindo para que os alunos possuam uma visão idealizada do cientista. Por esse motivo, seria interessante que juntamente ao episódio, fosse novamente entregue um texto com uma história um pouco mais adequada e que essas principais ideias fossem abordadas e confrontadas entre os alunos e mediado pelo professor. No entanto, como não foi possível elaborar um texto de apoio para ser utilizada nessa atividade, o professor fez uma breve discussão com os alunos e falou que a visão apresentada na obra possuía certa liberdade poética e que, apesar de apresentar elementos importantes da vida e obra dos cientistas apresentados, ela deixa de abordar assuntos importantes

do próprio desenvolvimento da ciência, tais como o caráter de validação e a ideia de que os cientistas são homens como todos os outros e não gênios isolados da sociedade.

Atividade 2.3 - Exposição: Cientistas/Filósofos naturais do séc. XVII/XVIII

DESCRIÇÃO: Logo após a exibição do vídeo, ainda foi pedido aos alunos que realizassem um trabalho/pôster sobre alguns cientistas/filósofos do século XVII/XVIII. Dentre eles, Isaac Newton, Gottfried W. Leibniz, Edmundo Halley, René Descartes e Samuel Clark. Esse trabalho, que apresentou um pouco da vida e obra de cada um, também apresentou a concepção de espaço e tempo que cada um defendia. O trabalho foi exposto na semana seguinte e ficou em amostra na sala de aula para que os alunos pudessem realizar futuras consultas.

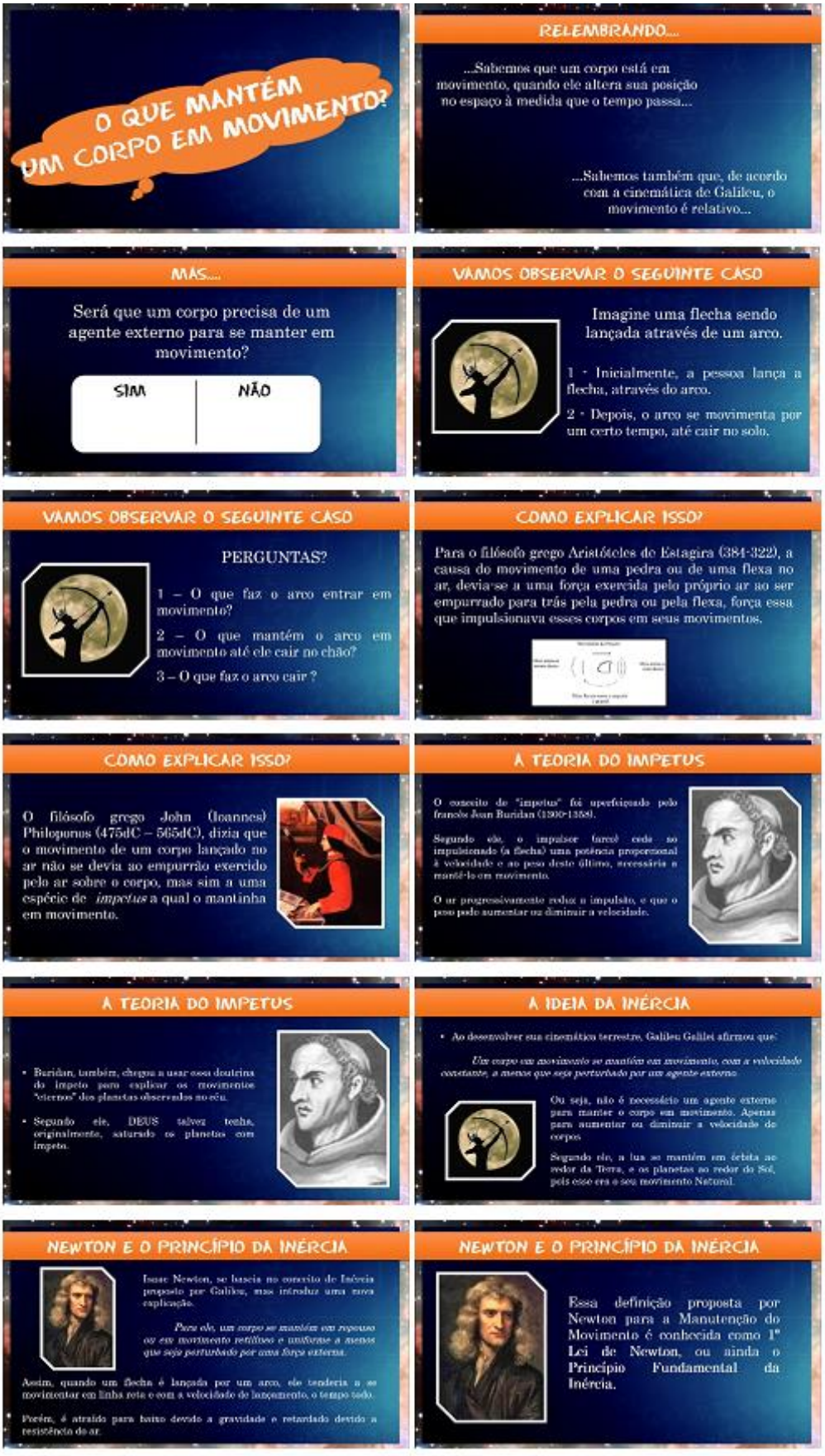
OBJETIVO: Compreender a ciência e a filosofia desenvolvida por alguns filósofos naturais do século XVII/XVIII; Problematizar os conceitos de espaço e tempo presente nas obras de cada um deles; Compreender que a experiência não é o único caminho para o conhecimento; Compreender que dois ou mais cientistas podem ter interpretações diferentes sobre o mesmo fenômeno.

COMENTÁRIOS: Todos os grupos realizaram o trabalho de exposição. No entanto, um dos grupos apresentou apenas a biografia, que no caso foi de Samuel Clark, porém o trabalho chegou a mencionar que Clark personificou Newton na controvérsia com Leibniz. Os demais trabalhos apresentaram as ideias de tempo e espaço presentes nas obras de cada um deles. Os trabalhos ficaram expostos na sala ao longo de todo o bimestre.

Atividade 2.4 - Aula Expositiva: A Manutenção do Movimento

DESCRIÇÃO: No mesmo dia em que os trabalhos foram entregues e expostos, foi realizado uma aula expositiva, mostrando um pouco sobre a ideia da manutenção do movimento. A aula partiu desde a ideia do movimento presente em Aristóteles, passou pela teoria do Impetus e finalizou com a ideia de Inércia presente em Galileu e em Newton.

OBJETIVO: Compreender a primeira lei de Newton; compreender que o conhecimento científico é provisório, durável e de autocorreção; Compreender o princípio da Inércia e da manutenção do movimento.



IV. 6 - Aula expositiva: "A manutenção do movimento" – parte 01.
Fonte: elaborado pelo autor



IV. 7 - Aula expositiva: "A manutenção do movimento" - parte 02
Fonte: elaborado pelo autor

COMENTÁRIOS: A princípio, os alunos tiveram certa dificuldade em compreender que para um corpo se manter em movimento ele não depende da permanência da aplicação de uma força, principalmente por tal situação não está de acordo com o senso comum. Mas no decorrer da aula, mais da metade da turma conseguiu entender a ideia principal da aula. Além disso, foi possível mostrar o caráter transitório de um conceito científico, mas de uma forma que eles compreendam que cada uma das ideias apresentadas estava de acordo com o estilo de pensamento vigente na época.

Atividade 2.5 - Discussão: O que é Força?

DESCRIÇÃO: Após exposição sobre as ideias de permanência de movimento e inércia foi realizada uma discussão sobre o que é Força. A princípio, o professor colocou algumas questões no quadro, para incitar a curiosidade dos alunos e iniciar uma breve discussão. As perguntas eram as seguintes: Um corpo tem força ou exerce uma força? Seria necessário a força para manter um corpo em movimento, ou não? Seria necessária uma força para aumentar ou diminuir a velocidade de um corpo? Ou ainda

mudar sua direção de Movimento? Em seguida, pediu que os alunos respondessem as questões na sequência. Após a apresentação das respostas dos alunos (que foi anotado no quadro), o professor começou a explicar que a força, assim como o tempo e o espaço, era um conceito e portanto não poderia dizer que existe uma única explicação para tal. Porém, de acordo com a visão newtoniana, a força poderia ser compreendida como um ente físico que surge a partir da interação entre os corpos. Esse ente, poderia alterar o estado de movimento de um corpo, deformar esse corpo, ou ainda alterar a direção de movimento dele. O professor ainda continuou apresentado alguns exemplos e interagindo com a turma. Ao final, ele entregou uma atividade aos alunos para que eles respondessem e entregassem na próxima aula.

OBJETIVO: Compreender que a força newtoniana é o produto da interação entre os corpos; Compreender que a força pode alterar o estado de movimento de um corpo, mas que não é necessária a aplicação de uma força para manter o corpo em movimento; Compreender o caráter vetorial da Força.

COMENTÁRIOS: Como a discussão sempre movimenta a turma, ainda mais com questões que aparentemente são simples mas que requer uma reflexão maior, a maioria dos alunos interagiu bastante e respondeu as questões quando solicitados, mesmo que não estivesse de acordo com a conceituação newtoniana. Acredita-se que ao final, os alunos tenham compreendido a ideia de Newton para a força.

Atividade 2.6 - Aula Expositiva: As leis do Movimento.

DESCRIÇÃO: Dando continuidade ao conteúdo sobre as leis de Newton, nessa aula foi apresentado as três leis do movimento para Newton, incluindo a lei da inércia, a lei da Dinâmica e a lei da Ação e Reação. Com isso, o professor apresentou as ideias principais juntamente a alguns exemplos. Nessa aula, foi muito enfatizado que a força na mecânica de Newton sempre age em pares de ação e reação. Isso será muito importante para compreender a ideia de um espaço absoluto presente na obra de Newton. Ao final da aula, foi entregue alguns exercícios de ficção para os alunos, para que eles compreendessem bem as leis de Newton.

OBJETIVO: Compreender as leis de Newton; Compreender que a força sempre age em pares;

Atividade 2.7 - Texto: A lei do inverso do quadrado.

DESCRIÇÃO: Na aula seguinte, o professor entregou aos alunos um breve texto apresentando o problema da órbita dos planetas. Além de ser apresentado o problema em si, foi apresentado a lei do inverso do quadrado da distância e como isso ainda ajudou a unificar a Física celeste com a Física terrestre. Após a entrega do texto, os alunos se dividiram em grupos para realizar uma breve leitura. Porém, ao final da aula, o professor explicou a importância dessa lei e como Newton utilizou as leis de Kepler, além de outros conhecimentos, como os do movimento circular desenvolvido por Hooke, para chegar as suas conclusões.

OBJETIVO: Compreender a lei da gravitação universal; compreender que a ciência produz conhecimento baseado em evidências empíricas; compreender que experiência não é o único caminho para o conhecimento; compreender que a ciência é uma produção humana.

COMENTÁRIOS: Apesar da aula ter apresentado a lei do inverso do quadrado e como Newton desenvolveu essa expressão para explicar a órbita elíptica dos planetas, seria interessante que fosse realizado uma aula mostrando que outros filósofos naturais, tais como Ismaël Bouliau, já estavam desenvolvendo trabalhos que utilizassem a lei do inverso do quadrado para descrever a órbita dos planetas. A aula também poderia mostrar que essa lei serviu até mesmo para prever (matematicamente) a existência de um novo planeta, mesmo que ele não tivesse sido observado anteriormente. Tal fato fez com que as leis de Newton tivessem um grande sucesso e se tornando o estilo de pensamento vigente por quase 200 anos. Além disso, a aula poderia ainda mostrar que a lei do inverso do quadrado foi desenvolvida geometricamente, isso serviria para mostrar ainda mais como a geometria era importante nesse período como uma forma de descrever os fenômenos observados e o desenvolvimento de novos conhecimentos científicos. Outro detalhe a ser observado é que grande parte dos alunos tiveram dificuldades em compreender a matemática do inverso do quadrado. Isso se deve a certa falta de conhecimento matemático, principalmente relacionado com potenciação, ainda mais no caso da lei da gravitação universal, que utiliza o inverso de uma potenciação. Isso se tornou um obstáculo muito grande para que os alunos compreendessem melhor essa característica da lei.

Atividade 2.8 - Problematização: A experiência do balde de rotação.

DESCRIÇÃO: Essa aula começou com o professor apresentando a ideia de referenciais inerciais, mostrando que os referenciais inerciais são aqueles referenciais que estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. Além disso, foi falado também que as leis de Newton são desenvolvidas tendo como base os referenciais inerciais. Portanto, como a Terra não é um referencial inercial, Newton passou parte de sua vida tentando encontrar um referencial que estivesse em total repouso para ser considerado um referencial inercial absoluto. Nessa tentativa, o filosofo natural apresenta um experimento mental conhecido como balde de rotação. Após essa discussão inicial, o professor exibiu um vídeo com uma simulação do balde de rotação (Vídeo 01 https://www.youtube.com/watch?v=Bz5WBEDAL0k; Vídeo 02: https://www.youtube.com/watch?v=Toy4T9WMS9U). Em seguida, foi explicado que Newton apresentou este exemplo na tentativa de explicar o que produzia a concavidade apresentada na água. Além disso, mostrou aos alunos o que acontece com a água em cada uma das etapas: 1-Quando tanto o balde, quanto a água estão em repouso; 2-Quando o balde começa a se movimentar, mas água ainda está em repouso; 3-Quando a água começa a se movimentar; 4-Quando a água está se movimentando com a mesma velocidade que o balde, ou seja, quando ela está em repouso em relação ao balde; 5-Quando o balde para de se movimentar e a água continua se movimentando; 6-Quando os dois estão novamente em repouso. Logo depois, o professor pediu que os alunos desenvolvessem uma explicação para a concavidade formada pela água. Essa problematização servirá como ponto de partida para a próxima parte deste episódio.

OBJETIVO: Compreender a ideia de referencial inercial; Desenvolver hipóteses sobre o movimento absoluto da água, e consequentemente, a ideia da possibilidade de ter um espaço absoluto.

COMENTÁRIOS: Ao longo da aula, os alunos compreenderam a ideia principal de um referencial inercial. Ao se tratar do vídeo com a simulação, eles ficaram bem curiosos do porquê a água apresentava tal característica, mesmo quando a água estava em repouso em relação ao balde. Em relação as respostas, segue abaixo uma tabela apresentando uma categorização feita através da análise de conteúdo.

Quadro IV. 13 - Questão: "Por que a água forma uma concavidade?"

Questão: Em sua opinião, por que a água forma uma concavidade?		
Categoria	**Número de respostas**	**Exemplos de respostas**
Devido a velocidade de rotação do balde.	9	*"A velocidade, conforme o balde gira, aumenta a velocidade de rotação e a água o acompanha, formando a concavidade."* *"A velocidade que o balde se movimenta faz com que a água se movimente tão rápido quanto o balde."* *"A curva* (concavidade) *que faz* (a água faz) *é por causa da velocidade de rotação do balde"*
Devido ao movimento do balde.	3	*"Como a água gira para o mesmo lado do movimento do balde é provocado essas ondas."* *"Em minha opinião a circunstância do movimento é o que provoca uma reação que causa o formato"*
Força realizada pelo balde.	6	*"O balde provoca uma força indireta sobre a água. Por isso, ele vai se movimentando "para fora"."* *"O balde aplica uma força sobre a água fazendo com que ela acompanhe o corpo a girar e quanto mais força aplicar mais a água vai se expandindo dentro do balde."* *"Por que o balde gira e com isso a força do balde faz com que a água comece a girar também."*

Continuação: Quadro IV.13

O balde forma uma barreira.	3	*"Conforme o balde vai girando, a água vai batendo na borda do balde e vai formando essa concavidade."* *"O fato do balde ser como uma parede, quando a água bate e conforme a velocidade aumenta, a água se encosta no copo e vai subindo, provocando um buraco ali no meio e formando a concavidade."*
Devido à gravidade	3	*"Conforme o balde gira em uma alta velocidade, a gravidade dentro do balde forma essa cavidade."* *"O balde gira com uma velocidade média até a corda se enrolar ao máximo, a velocidade, cada vez enrolar mais, tende a aumentar. Ao soltar a corda, o balde se movimenta com uma certa velocidade fazendo a água se movimentar, a concavidade é formada por causa da gravidade."*

Fonte: elaborado pelo autor

Observando o padrão de respostas dos alunos, é percebido que grande parte disse em suas respostas que o motivo da água ter formado a concavidade foi devido à velocidade de rotação do balde. Segundo eles, quanto maior fosse a velocidade do movimento, maior seria a concavidade. Claro que se não houvesse o momento do balde, a água continuaria em repouso e nada aconteceria. Porém, não se pode esquecer que no quarto momento - quando a água está se movimentando com a mesma velocidade que o balde – a água está em repouso em relação ao balde. Sendo assim, se o "motivo" da concavidade fosse o movimento do balde, ou seja, caso a ação realizada sobre água – e que forma o paraboloide de revolução - fosse originaria do balde, a água deveria voltar a ficar plana nesse momento. Logo, não é necessariamente devido ao movimento do balde em relação a água, nem tão pouco à sua velocidade de rotação.

Tratando-se do segundo grupo de alunos, que responderam que o motivo da água formar tal geometria é devido ao movimento circular da água, é de grande importância deixar claro que para eles não importa, necessariamente, a velocidade de rotação, basta estar em movimento. Por esse motivo, que suas respostas foram apresentadas em uma nova categoria. É bom deixar claro que ao responderem que o causa da concavidade é devido ao movimento e/ou a velocidade do balde, alguns alunos deixaram claro – quando questionados verbalmente – que esse movimento poderia tanto ser em relação a própria água ou a Terra também, o que faz todo sentido. No entanto, ao fazer essa mesma pergunta, o próprio Newton chegou à conclusão que não poderia ser o movimento em relação a Terra, pois em um caso hipotético, se o balde ficasse em "repouso" e a Terra que girasse em relação ao balde, a água não formaria tal concavidade. Logo, a força gerada sobre a água também não poderia ser através da ação da Terra.

O terceiro grupo de alunos apresentou respostas deixando bem claro que o paraboloide de revolução é formado devido a força realizada pelo balde (ou força do balde, segundo alguns). A ação não poderia ter origem no balde, visto que, conforme já foi dito, quando a água está se movimentando com a mesma velocidade que o balde, a água está em repouso em relação ao balde e, com isso, a água deveria voltar a ficar plana nesse momento. Outro dado a ser observado, mesmo não tendo relação direta com a atividade, é que alguns alunos desse grupo responderam que a força era "do balde" e não "aplicada ou exercida" pelo balde. Percebe-se então, que alguns alunos ainda consideram que a força é algo inerente ao corpo e não um produto da interação entre dois corpos.

A quarta categoria apresenta respostas que mostram que a causa da concavidade está no fato do balde formar uma barreira (resistência) impedindo que a água estravasse, com isso ela forma a concavidade apresentada. Não que isso realmente não aconteça, se não houve a barreira, provavelmente a água formaria a geometria apresentada, no entanto e novamente reafirmando, a ação não pode ter origem no balde, caso contrário quando os dois (balde e água) estivessem em repouso em relação ao outro, a água deveria ficar plana.

O quinto grupo de alunos apresentou respostas defendendo que a causa da concavidade formada na água tinha origem na gravidade local. É importante perceber que apesar deles serem descritivos em suas repostas, dizendo que o balde se movimenta e tudo mais, eles deixaram bem claro que a causa era a gravidade. Porém, como visto, não poderia ser a gravidade local (Terra), pois como já dito, se a causa estivesse na Terra, em uma situação hipotética se o balde ficasse em repouso e a Terra

que girasse em relação ao balde, a água deveria apresentar o paraboloide de revolução, mas de acordo com Newton, isso não poderia ocorrer.

É interessante perceber que em todas as respostas apresentadas ninguém disse que a causa era os demais planetas ou estrelas. Seria uma informação a mais para ser discutida com os alunos, visto que de acordo com a explicação newtoniana, a ação sobre a concavidade da água também não poderia ser das “estrelas fixas” visto que se o balde ficasse em repouso e a esfera das estrelas fosse girada ao seu redor, a água continuaria plana e não apresentaria a concavidade.

É importante deixar claro que não esperava-se que os alunos respondessem de acordo com a visão newtoniana de espaço absoluto para explicar a estranha geometria da água. O objetivo dessa atividade foi o de levantar as suposições apresentadas pelos alunos para realizar uma problematização inicial com as próprias respostas deles, a fim de buscar a explicação dada por Newton para resolver o problema. Por esse motivo, ao final da entrega das respostas, o professor liberou a turma, fez a análise das repostas (como apresentadas anteriormente) e na semana seguinte ele partiu desse ponto.

Atividade 2.9 - Leitura de Texto: O espaço e tempo de Newton e Leibniz

DESCRIÇÃO: No início da aula, foi apresentado aos alunos as categorias de respostas com as explicações que eles mesmos fizeram sobre o problema do balde de rotação. Para isso, o professor fez uma tabela com as categorias e discutiu caso a caso do porquê não poderia ser nenhuma delas, de acordo com os trabalhos de Newton. Em seguida, o professor disse para explicar tal situação Newton apresentou a ideia de um espaço absoluto, ou seja, um espaço que estivesse em completo repouso e que seria o responsável por realizar a ação sobre a água. Isso faria todo sentido, mesmo no caso em que a água está em repouso em relação ao balde, pois estaria em movimento em relação ao espaço absoluto. Em seguida, foi entregue aos alunos um pequeno texto que apresentava as ideias de espaço e tempo absolutos e espaço e tempo relativos, quais eram as concepções newtoniana – incluindo sua filosofia mecanicista e a metafísica sobre Deus e o espaço e tempo absoluto. Após a realização de uma leitura em grupo os alunos responderam a algumas questões referentes ao texto. São elas: 1-De acordo com a leitura do texto, para você, o que é um espaço absoluto?; 2-Por quais motivos Newton defendia a existência de um espaço absoluto?; 3-O experimento do “balde de rotação” foi utilizado por Newton para defender que existia um espaço absoluto. Pensando nisso, você acredita que a concavidade da água é prova suficiente da existência do espaço absoluto? 4-Comente a seguinte frase, indicando se você concorda ou discorda e apresentando uma justificativa: “*O conhecimento humano é uma*

busca sem fim que leva a resultados provisórios e não a verdades". Em seguida, o professor ainda pediu que os alunos realizassem, individualmente, uma representação pictórica – podendo ser um desenho, uma pintura, charge, etc – de como eles imaginam que seria o espaço absoluto defendido por Newton.

OBJETIVO: Compreender a diferença entre grandezas absolutas e relativas; Compreender as concepções de Newton sobre a natureza do espaço e tempo; Compreender as concepções de Leibniz sobre a natureza do espaço e tempo.

COMENTÁRIOS: Os alunos realizaram a leitura e responderam as questões. No entanto, como as questões 01 e 02 são exercícios de fixação, não iremos realizar uma apresentação/categorização das respostas, visto que grande parte dos alunos apresentou respostas iguais ou parecidas com o que já estava no texto. O interessante nesse momento é apresentar as respostas apresentadas por eles em relação as questões 03 e 04 por se tratar de ideias pessoais e que estão intimamente relacionadas ao processo de produção do conhecimento científico.

Quadro IV. 14 – Questão 03: "O experimento prova a existência do espaço absoluto?"

Questão 03: O experimento do "balde de rotação" foi utilizado por Newton para defender que existia um espaço absoluto. Pensando nisso, você acredita que a concavidade da água é prova suficiente da existência do espaço absoluto?	
GRUPO 01	*"Não acreditamos, pois seria necessário realizar mais alguns testes para comprovar isso."*
GRUPO 02	*"Não, será preciso realizar mais testes."*
GRUPO 03	*"Sim, pois é o espaço em completo repouso que empurrar a água formando a concavidade."*
GRUPO 04	*"Sim"*
GRUPO 05	*"Sim, pois de acordo com o que foi dito no texto, que só poderia haver uma coisa para explicar isso, um espaço que estivesse em total repouso, um espaço absoluto e que este estaria realizando a ação sobre a água."*
GRUPO 06	*"Sim"*
GRUPO 07	*"Não. Pois acredito que será preciso que mais testes sejam realizados"*
GRUPO 08	*Sim*

Fonte: elaborado pelo autor

É observado nas respostas que 5 dos 8 grupos acreditam que o experimento do balde é suficiente para “provar” a existência do espaço absoluto. Desses 5, 3 grupos apenas falaram que sim, sem realizar nenhuma discussão a mais. Enquanto os outros 2 ou argumentaram dizendo que a água adquire tal característica porque é o espaço que realiza a ação sobre ela, logo isso prova a existência do espaço absoluto. É preciso observar que eles argumentaram dessa forma pois nesse momento o texto não considerou uma alternativa contrária, pois, apenas na atividade seguinte que será apresentado a visão leibniziana do espaço e tempo. É importante considerar também que os alunos que apenas responderam “sim” estavam bem dispersos nessa aula e que aparentemente, não compreenderam muito bem a diferença entre espaço absoluto e relativo.

É interessante observar que os grupos que responderam não é prova suficiente, eles afirmaram que é necessário realizar mais testes. Ou seja, isso é um indicio de eles já estão compreendendo que não ciência apenas um experimento individual não prova (ou valida) nada, pois é preciso passar por uma série de critérios para que uma lei/teoria/conceito seja validada e aceita pelo coletivo de pensamento.

Quadro IV. 15 – Questão 04: “O conhecimento é uma busca sem fim?”

Questão 04: Comente a seguinte frase, indicando se você concorda ou discorda e apresentando uma justificativa: “O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não a verdades”	
GRUPO 01	*“Concordo, pois o resultado apresentado nos relatos (pesquisa) pode mudar e trazer com isso nova teoria.”*
GRUPO 02	*“Sim, porque o conhecimento tem diárias perguntas e respostas”*
GRUPO 03	*“A busca por respostas pode mudar e com isso novos resultados trazem novas teorias.”*
GRUPO 04	*“Sim, concordo, porque até os cientistas acham algumas respostas que são provisórias, porque aí vem outro e responde de outra forma. Então, as respostas deles não são absolutas.”*
GRUPO 05	*“Concordo, pois com o conhecimento conseguimos tirar dúvidas, seja verdadeira ou não.”*
GRUPO 06	*“Sim, pois até os cientistas acham algumas respostas que são provisórias, porque pode ter outro cientista que vai responder de outra forma.”*

Continuação: Quadro IV.15

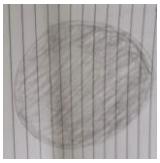
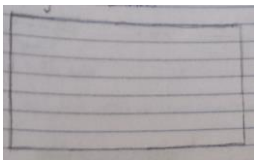
GRUPO 07	*A verdade é considerada verdade até que se prove o contrário. Pois as teses que são apresentadas a nós são fruto de pesquisas que podem ou não estarem certos. Afinal, a sabedoria é adquirida dia após dia.*
GRUPO 08	*Concordo, até porque ninguém nunca vai conseguir responder todas as perguntas.*

Fonte: elaborado pelo autor

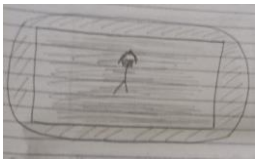
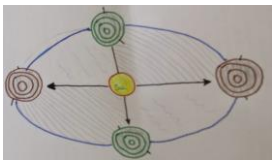
Ao observar o quadro IV.15, é percebido que todos os grupos concordaram com a frase, porém cada um dos grupos apresentou justificativas diferentes e mostrando, inclusive, a visão de ciência de cada um deles. O primeiro ponto a ser destacado é que para alguns grupos um conhecimento é provisório porque podem haver outros cientistas que trarão novas ideias que poderão ser válidas no futuro. No entanto, um cuidado a ser observado é quando as respostas dizem que *"aí vem outro e responde de outra forma"*. É ainda preciso que seja enfatizado que na ciência não é um "tudo vale" ou que uma lei/teoria deixará ser válida porque outro cientista argumentou de uma forma diferente. O processo de mudança de estilo de pensamento é lento e nesse meio tempo diversas protoideias serão lançadas e que formarão o novo estilo de pensamento, podendo algumas ideias serem válidas pelo novo coletivo de pensamento ou não.

Outro detalhe a ser observado é com respostas apresentando que o conhecimento pode estar certo ou não ("*fruto de pesquisas que podem ou não estarem certos")* ou ainda grupos que afirmaram que o conhecimento pode ajudar a tirar dúvidas, mesmo sendo verdadeiro ou não ("*pois com o conhecimento conseguimos tirar dúvidas, seja verdadeira ou não"*). Ou seja, mesmo que eles concordem que o conhecimento é uma busca sem fim que leva resultados provisórios e não a verdades, eles ainda defendem que existe verdades (ou coisas certas). Porém, verdades ou certas de acordo com quem? ou com o que? Tais resultados podem estar "certos" de acordo com um estilo de pensamento, mas "errado" de acordo com outro. Por esse motivo, não existe um certo ou errado de acordo com a ciência, mas um conhecimento que validade pelos portadores do estilo de pensamento vigente. Isso precisa ser deixado mais claro para os alunos na execução dessa atividade.

Quadro IV. 16 - Representação do espaço absoluto de Newton

ATIVIDADE: Faça uma representação artística (pode ser desenho, pintura, charge, etc) do espaço absoluto de Newton. Diga por que você representou dessa forma			
CATEGORIA	**Nº DE REP.**	**EXEMPLOS DE REPRESENTAÇÕES**	**EXEMPLOS DE RESPOSTAS**
Uma circunferência	7	   	*“Não é necessário haver matéria em seu interior”* *“...o espaço absoluto não precisa ter corpos nem massa nele e aí eu resolvi fazer uma bola toda escura com nada representando o absoluto.”*
Um retângulo	6	 	*“O espaço absoluto não precisa ter massa em seu interior, como a Terra e nem corpo, essa região privilegiada estaria em completo repouso”* *“Creio que o espaço absoluto é algo em repouso que pode haver corpos, porém se tirarmos o corpo o espaço sofre nenhuma alteração. Por isso, desenhei assim, o espaço absoluto é isso pra mim, algo puro sem nada aonde pode haver corpos mais não há.”*

Continuação: Quadro IV.16

Deus em meio ao espaço	2	 	*"O espaço é onde Deus pode "olhar" o universo e modificá-lo."* *"Como Deus observa o universo (em constante espaço absoluto)"*
Outros	5	 	*"O espaço absoluto não precisa ter massa em seu interior."* *"Mantém os corpos em constante movimento em volta de si."*

Fonte: elaborado pelo autor

Ao observar as representações dos alunos é percebido que a maioria representou o espaço absoluto ou através de uma circunferência (pintada ou não) ou através de um retângulo (pintado ou não). Ou seja, no imaginário dos alunos eles possuem a compreensão de que o espaço é algo limitado, ou apresentando um formato esférico, o que é mais comum de se imaginar, ou retangular, o que foge um pouco a ideia de círculo, mas de qualquer forma remete a ideia de um espaço absoluto, visto que um dos exemplos utilizados pelo professor ao explicar a ideia do espaço absoluto de newton foi o de um palco vazio à espera do ator. A presença do ator não altera a estrutura do palco, assim poderia ser compreendido o espaço absoluto, uma estrutura que existiria por si só e por sua própria natureza em que a presença dos corpos não altera sua estrutura. Talvez seja esse o motivo também que levou os alunos a colocar em suas explicações que "o espaço absoluto não precisa ter massa (ou corpos) em seu interior". Porém, seria interessante que o professor deixasse mais claro aos alunos que, apesar do espaço absoluto de Newton ser algo que existe por sua própria natureza e que a existência - ou inexistência - dos corpos não altera sua estrutura, ele é algo que permeia os corpos e interagi com eles, por esse motivo, inclusive que Newton explica a ação do espaço absoluto sobre a água no experimento do balde de rotação.

Algo a ser observado foi que em uma das representações, um aluno representou o espaço através dos vórtices de Descartes. Isso possivelmente se deve ao fato desse aluno ter realizado o trabalho de exposição sobre Descartes.

Outro ponto a ser observado é que dois alunos representaram o espaço absoluto de acordo com a metafísica de Newton – em concordância com a teoria mecanicista – na qual, segundo ele, o espaço absoluto, juntamente ao tempo absoluto, seriam os sentidos de Deus para perceber a existência dos corpos e fazer pequenos ajustes no universo quando assim achasse necessário. Isso inclusive foi um dos motivos que levou Leibniz a discordar de Newton quanto a existência do espaço e tempo absoluto. Pois para ele, o universo teria algo que permaneceria constante desde a criação, e que se Deus teria criado uma máquina perfeita, ele não precisava realizar ajustes de tempo em tempo, e nem tão pouco dependeria de um espaço e tempo para perceber a existência dos corpos. Tal característica foi levantada pelo professor ao final da atividade e disse que isso seria melhor trabalhado na aula seguinte.

PONTOS POSITIVOS: A atividade serviu para observar a compreensão dos alunos acerca do espaço absoluto de Newton. A visão deles de Ciência e a importância da criatividade e imaginação na ciência.

PONTOS NEGATIVOS: Seria interessante que além da aplicação da atividade, fosse apresentado as interpretações do experimento do balde de rotação de acordo com a mecânica relacional, além de apresentar também a ideia de forças fictícias. Com relação a apresentação dos conceitos de espaço e tempo atribuídos por Newton, seria importante ao final deixar mais claro para os alunos como essa ideia de espaço e tempo absoluto são importantes para a compreensão de toda física newtoniana. Porém, isso é algo que pode ser melhor trabalhado antes de entrar na Relatividade de Einstein.

Atividade 2.10 - Aula Expositiva:

DESCRIÇÃO: Na aula seguinte, o professor começou a aula apresentando os pontos principais da visão newtoniana acerca do espaço e tempo absoluto. Como isso era importante para compreender as 3 leis de Newton, principalmente a inércia, já que não faz sentido falar de permanência do movimento se não existe um espaço existente a priori. Além disso, o professor falou que essa conceituação estava de acordo com a visão de natureza e de mundo de Isaac Newton, incluindo a filosofia mecanicista e suas ideias sobre Deus e o universo. O professor destacou que essa relação entre ciência, filosofia e religião era algo muito comum nesse período. Exatamente por esse motivo que algumas pessoas criticaram o posicionamento de Newton, um deles foi Gottfried W. Leibniz. Um dos motivos de Leibniz ter criticado Newton foi o fato de Newton considerar que o espaço e o tempo eram os sentidos de Deus e que, por isso, ele poderia fazer

ajustes no universo quando fosse necessário. Essa controvérsia entre os dois foi marcada pela troca de correspondência entre Leibniz e Clarck, discípulo e defensor das ideias newtonianas. Após apresentar essas questões, o professor colocou no quadro as ideias newtonianas e as ideias leibnizianas acerca da natureza do espaço e tempo.

Quadro IV. 17 - Espaço e tempo para Newton e Leibniz

Espaço e Tempo para Newton	**Espaço e Tempo para Leibniz**
Existem de fato	São idealizados
São absolutos, mas uma parte deles pode ser relativo.	São puramente relativos
Não dependem da existência dos corpos e nem alterar sua estrutura na presença dos corpos	Servem para relacionar a sucessão dos eventos e a coexistência dos corpos.
Um argumento: Explica a geometria da água no balde de rotação.	Um argumento: Principio o da indiscernibilidade dos objetos: Se duas coisas são idênticas em tudo, então elas são a mesma coisa e portanto não pode existir, logo o espaço absoluto não existe.
Comparava o universo a um relógio de acordo com a teoria mecanicista. Assim, o espaço e o tempo seriam os sentidos de Deus para realizar ajustes quando necessário	Não desconsidera a visão mecanicista, mas diz que o universo é uma máquina perfeita. Portanto, Deus não precisaria realizar ajustes em sua criação perfeita.

Fonte: elaborado pelo autor

Em seguida, o professor falou que como tempo as ideias de Newton acabaram sendo mais aceitas, principalmente devido ao sucesso da Física desenvolvida por ele, que serviu inclusive para “descobrir” matematicamente a existência de um planeta do sistema Solar (Netuno). Por esse e outros motivos, a física de Newton e a ideia de espaço e tempo absoluto foram aceitos até meados do século XIX e início do século XX, quando surgiu outros físicos, incluindo Albert Einstein, que desenvolveu uma física totalmente diferente da newtoniana, mas isso será visto com mais detalhes no próximo episódio dessa história. Após a realização dessa explicação, foi pedido que os alunos realizassem uma atividade colocando as ideias principais dos dois filósofos naturais em uma charge ou uma história em quadrinho.

OBJETIVO: Compreender que os cientistas podem apresentar explicações e conceitos diferentes para o mesmo fenômeno; Compreender que a ciência é integrada socialmente e culturalmente; Compreender as concepções de Newton e Leibniz sobre a natureza do espaço e tempo.

COMENTÁRIOS: A aula foi até certo ponto muito interessante, grande parte dos alunos participou e interagiu com a aula. Porém, eles tiveram dificuldades em compreender alguns pontos dessa aula, principalmente relacionados ao posicionamento de Leibniz. Por ser um assunto complexo, seria interessante que essa aula fosse apresentada de outra forma, talvez através de um pequeno vídeo, ou ainda através de uma simulação das correspondências entre Leibniz e Clark, mas com uma linguagem mais lúdica e acessível, através de um próprio texto de apoio, ou ainda utilizando todos esses recursos juntos. Assim, seria possível que mais alunos se interessassem pela aula e compreendesse melhor o motivo dessa controvérsia e sua importância para o entendimento do processo de construção do conhecimento científico.

Atividade 2.11 - Atividade lúdica: História em quadrinho

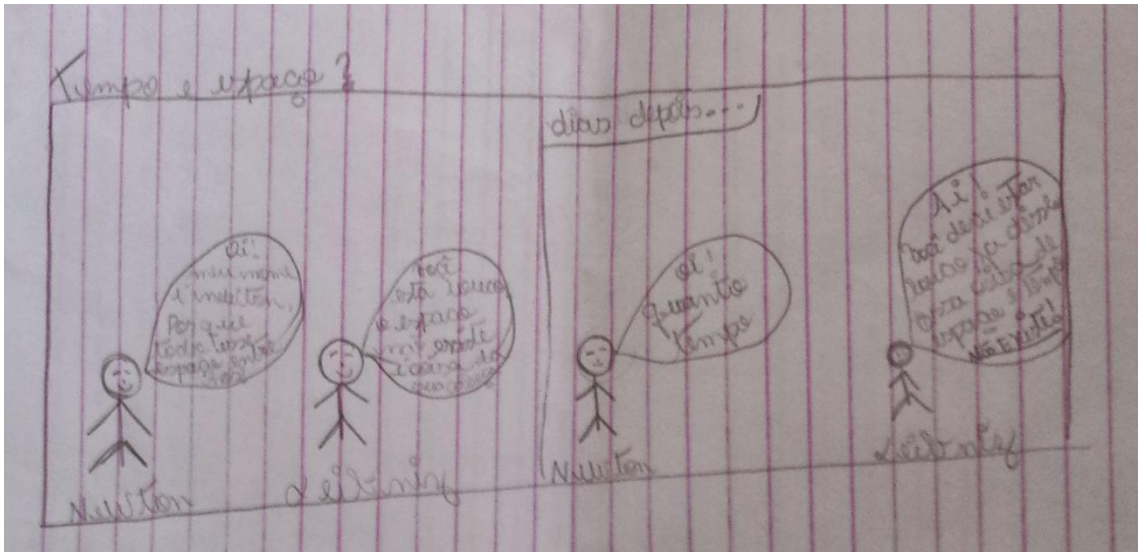
DESCRIÇÃO: Após a discussão sobre a controvérsia Newton x Leibniz, foi pedido que os alunos elaborassem uma história em quadrinho ou uma charge sobre a controvérsia apresentada. Os alunos tiveram cerca de 30 min para executar atividade e entregar ao professor

OBJETIVO: Compreender que os cientistas podem apresentar explicações e conceitos diferentes para o mesmo fenômeno; Compreender que a ciência é integrada socialmente e culturalmente; Compreender as concepções de Newton e Leibniz sobre a natureza do espaço e tempo.

COMENTÁRIOS: Os alunos ficaram bem motivados para realizar a atividade, principalmente por ser uma atividade lúdica. O interessante que mesmo eles se divertindo, conseguiram compreender um pouco melhor as concepções de Newton e Leibniz sobre espaço e tempo, uma vez que sempre que surgia alguma dúvida, eles perguntavam ao professor. Segue abaixo algumas produções dos alunos:



IV. 8 - Representações pictóricas feitas pelos alunos
Fonte: elaborado pelo autor



IV. 9 - Representações pictórica feita por um aluno
Fonte: elaborado pelo autor

PONTOS POSITIVOS: Essa atividade talvez tenha sido uma das que os alunos mais gostaram de realizar. Além de terem demostrado os conhecimentos aprendidos acerca da controvérsia entre Newton e Leibniz, eles também mostraram uma visão um pouco mais informada sobre a produção do conhecimento científico. A atividade surpreendeu até mesmo o professor, que a princípio havia pensando que, pelo fato dos alunos não terem compreendido bem a aula anterior, eles não conseguiriam apenas realizar a atividade, mas conseguiram e fizeram muito bem.

PONTOS NEGATIVOS: Talvez seria melhor que eu tivesse um material de apoio para os alunos no decorrer dessa atividade, as cartas trocadas entre Clark e Leibniz, por exemplo.

<u>Considerações sobre o episódio 02 da sequência didática</u>

As atividades realizadas nesse segundo episódio serviram para apresentar o caráter transitório de um conhecimento científico, a controvérsia entre Newton e Leibniz acerca da natureza ontológica do espaço e tempo e como as ideias newtonianas se tornaram importante para os séculos seguintes. Neste episódio, as atividades realizadas tiveram mais pontos positivos a serem destacados, principalmente por contar com atividades lúdicas e mais contextualizadas. Mesmo que se tenha encontrado algumas atividades para adequar a proposta desse trabalho ao currículo já estabelecido, pode-se dizer que grande parte dos objetivos foram alcançados. Entretanto, é preciso pontuar e realizar algumas considerações, dentre elas:

1-As questões religiosas ainda presentes nesse contexto histórico podiam ser melhor exploradas, mostrando, inclusive o posicionamento religioso dos filósofos naturais apresentados; 2-A exibição de vídeos, tais como o episódio de Cosmos, ainda carece de um suporte maior, um texto de apoio que apresentasse uma história mais adequada poderia ser utilizado para confrontar a história apresentada no vídeo; 3-Em relação a experiência do balde de rotação, é preciso que haja uma explicação, em algum momento do curso, que posteriormente surgiu a ideia de forças fictícias e a mecânica relacional como alternativas para explicar o problema dos referenciais não inerciais; 4-Na controvérsia entre Newton e Leibniz seria interessante que tivesse algum material a mais para dar suporte a atividade. Poderia ser utilizado um pequeno vídeo, ou as correspondências entre Leibniz e Clark, um pequeno texto de apoio, ou ainda todos esses recursos juntos; 5-Apesar da atividade de "história em quadrinho" tenha sido a atividade que os alunos mais gostaram de realizar, seria interessante que tivesse algum material de apoio para que os alunos pudessem utilizar, talvez até mesmo as cartas trocadas entre Clark e Leibniz.

Todas essas ponderações serão levadas em consideração para a implementação das atividades do episódio seguinte. Ao final, será realizada uma nova avaliação e indicações para futuras mudanças.

IV.3.4 – Episódio 03: A Relatividade de Albert Einstein

Nessa seção será apresentado as atividades sobre a Relatividade Restrita e Geral de Einstein. É importante deixar claro que neste momento apresentaremos apenas o que foi planejado, desenvolvido e aplicado em sala de aula, fazendo os respectivos comentários e apresentando algumas mudanças a serem realizadas. Porém, como nos episódios anteriores, faremos um aprofundamento maior nas atividades relacionadas aos conceitos de espaço e tempo.

- OBJETIVOS CURRICULARES: Destacar o contexto científico-histórico-social em que Einstein vivia; Apresentar os problemas físicos da época; Compreender aos problemas enfrentados pela Física no século XIX e a solução dada por Einstein; Compreender que a Teoria da Relatividade constitui um novo modelo explicativo para o universo e uma nova visão de mundo; Compreender a Relatividade da Simultaneidade; Compreender a Relatividade Restrita de Einstein; Compreender a Relatividade Geral de Einstein; Compreender a diferença entre grandezas absolutas e relativas; Reconhecer tecido espaço-tempo sendo o tempo a quarta dimensão; Compreender que o tempo e o espaço são relativos devido à invariância da velocidade da luz;

- OBJETIVOS FILOSÓFICOS E DA NATUREZA DA CIÊNCIA: Compreender que a ciência é um tipo de cultura; Compreender que a Ciência é integrada socialmente; Compreender o conhecimento científico como resultado de uma construção humana, inserido em um processo histórico e social; Compreender que a produção do conhecimento científico é parcialmente baseada em inferência humana, imaginação e criatividade; O conhecimento científico é provisório, durável e de autocorreção; Conhecimentos científicos estão sujeitas a alterações;

- QUADRO SINÓTICO:

Ver Quadro IV.18

Quadro IV.18 - Quadro sinótico 03

ATIVIDADE	**MOMENTO**	**TEMPO (AULAS)**
1. Contextualização Histórica.	Aula Expositiva: O Contexto Histórico do final do séc. XIX	4 Aulas
2. O Problema do éter e da falta de simetria do eletromagnetismo.	Leitura de Texto e discussão: - Os problemas da Física no séc. XIX	2 Aulas
3. A constância da velocidade da luz e a simultaneidade.	Aula Expositiva: A constância da velocidade da luz e a Simultaneidade entre eventos.	2 Aulas
4. A Relatividade Restrita	Apresentação de Vídeo e questionário: A Relatividade de Einstein: A relatividade da simultaneidade do tempo e do espaço.	4 Aulas
	Aula expositiva: A dilatação do tempo e a contração do espaço	

Continuação: Quadro IV.18

5. A Relatividade Geral	Discussão inicial: O problema do foguete e o princípio da equivalência	2 Aulas
	Aula expositiva: O espaço-tempo curvo e a Teoria da Relatividade Geral	
6. Atividade de Encerramento	**Produção do Vídeo:** O espaço e tempo ao longo da história	4 Aulas
7. Avaliação Final	**Questionário Final**	2 Aulas

Fonte: elaborado pelo autor

- DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES:

Atividade 3.1 - Aula Expositiva: O contexto histórico do séc. XIX

DESCRIÇÃO: Nessa aula, foi apresentada aos alunos uma contextualização histórica do século XIX, incluindo: as mudanças de forma de governo devido à revolução industrial e a revolução francesa; as invenções técnicas, tais como o trem a vapor e o problema que veio com isso relacionado a sincronização dos relógios das estações ferroviárias; as novas formas de representações artísticas, tais como o impressionismo e; o novo ramo literário conhecido como ficção científica. Além disso, foi apresentado aos alunos as novas ciências que foram desenvolvidas nesse período, tais como a Biologia, a Química Industrial e a Matemática não euclidiana.

OBJETIVO: Compreender que a ciência é integrada socialmente e culturalmente;



IV. 10 - Aula expositiva: "Contextualização histórica do séc. XIX"
Fonte: elaborado pelo autor

COMENTÁRIOS: Como nos episódios anteriores, nessa atividade de contextualização histórica, os alunos – em sua maioria – se mostraram muito interessados. Acredita-se, inclusive, que uma aula que faça uma contextualização histórica se torna interessante aos olhos dos alunos, por apresentar e discutir um conhecimento mais amplo e que conecta diversas pontas que os alunos costumam ver/estudar de forma separada. No contexto da aplicação desse trabalho, os alunos nunca imaginaram que um problema ligado a sincronização dos relógios das estações ferroviárias seria algo que provocaria acidentes graves – como ocorreu nesse período – e que isso traria uma preocupação a nível técnico, mas que também seria a fonte de inspiração para homens como Albert Einstein desenvolverem os seus trabalhos. Nesse momento também, alguns alunos já apresentavam comentários que relacionavam as produções artísticas com os desenvolvimentos científicos. O que precisava ainda deixar mais claro para eles é que isso estava associado a uma visão de mundo que se mostrava presente em certos contextos históricos, assim como ocorreu no processor de geometrização do espaço e tempo e também relacionados ao pensamento relativista do final do século XIX e início

do século XX. Outro detalhe a ser apontado é que essa aula foi encurtada devido ao tempo que ainda restava para acabar o ano letivo. Porém, podia-se ampliar bem mais apresentando trechos do livro “a máquina do tempo” e mostrar que o pensamento relativista já fazia parte do imaginário cultural. Também seria interessante apresentar aos alunos que, se no séc. XVII o pensamento teológico tinha uma importância muito grande no desenvolvimento científico, nesse período isso não era algo tão forte. Não que o modo de pensar do cientista não interferisse em seu trabalho, não existe produção de ciência puramente neutra, mas neste século uma das correntes filosóficas mais fortes era o pensamento positivista e não teológico/religioso. Esse, inclusive, foi um dos motivos do imaginário cientifico ainda ser tão arraigado a visão de existir “um método científico” universal.

Atividade 3.2 - Leitura e discussão: Os problemas da Física no séc. XIX

DESCRIÇÃO: Ao final da aula expositiva, foi entregue aos alunos um pequeno texto mostrando alguns dos problemas físicos do século XIX que ainda estava “sem solução”. Dentre tais problemas, encontrava-se a falta de simetria entre o eletromagnetismo e a física newtoniana, além do problema do éter. No final do texto havia um breve histórico da solução que Albert Einstein deu a esses problemas, desenvolvendo algo que ficou conhecido como Teoria da Relatividade. Ao final da leitura foi realizado duas perguntas aos alunos: 1) Você acredita que a ciência é transitória, ou seja, que muda ao longo da história? 2) Você concorda que o contexto histórico em que Einstein viveu colaborou para que ele desenvolvesse a Teoria da Relatividade?

OBJETIVO: Compreender os problemas da Física no final do século XIX e início do século XX; Compreender que o conhecimento científico é provisório, durável e de autocorreção; Compreender que a ciência é integrada socialmente e culturalmente.

COMENTÁRIOS: Ao longo da leitura, realizada em dupla, os alunos apresentaram dificuldades, principalmente em compreender o que era o eletromagnetismo e o éter. Como em química eles haviam estudado o composto chamado éter, eles acharam que era a mesma coisa. Alguns, no entanto, lembraram da aula do início do ano, em que o professor havia explicado o universo aristotélico e apresentado o éter como a quinta essência. Por esse motivo, o professor interrompeu um pouco da leitura para explicar que a existência do éter – não mais o aristotélico – era necessário para a física fazer sentido, incluindo o eletromagnetismo e a propagação da luz. A própria existência do éter já mostraria a existência de um referencial em repouso absoluto, tal qual a física de

Newton apresentava. Entretanto, o professor não estendeu muito a aula, mas disse que existiam muitos físicos tentando determinar a existência do éter, porém nenhum deles conseguiu tal sucesso, mas que a constância da luz foi algo observado. O professor disse que explicaria um pouco melhor o caso da constância da velocidade da luz na aula seguinte. Ao continuar a leitura, os alunos responderam as questões realizadas. As respostas apresentadas pelos alunos foram categorizadas de acordo com a análise de conteúdo e encontra-se na tabela abaixo:

Quadro IV. 19 - Questão: "Você acredita que a Ciência é transitória?"

Questão 01: Você acredita que a Ciência é transitória, ou seja, que muda ao longo da história? Justifique sua resposta citando exemplos		
Categoria	Nº de respostas	Exemplos de respostas
Sim, pois surgem novas teorias/explicações com o passar do tempo.	9	*"Pois a cada ano que passa surgem novas explicações diferentes para cada coisa. Assim como a própria formação da Terra."* *"Porque a Ciência se baseia em teorias e as teorias são temporárias como por exemplo, para Newton o espaço era absoluto para Einstein era relativo."* *"De acordo com a ciência de uma época mais antiga a Terra era o centro do Universo e hoje observamos que nada é o centro do universo."*
Sim, pois hoje existem tecnologias que não existiam antigamente.	1	*"Porque a muito tempo atrás não existia tecnologia como agora e é muito mais fácil descobrir algo que no passado era muito mais complicado saber*."
Sim, pois mudamos a nossa forma de pensar.	2	*"Porque cada tempo que passa vai mudando a forma de pensar"*
Sim, pois ao longo da história a ciência sofre uma evolução	1	*"Porque ao longo do tempo as coisas evoluem"*
Não.	1	*"Porque se mudasse o mundo não seria da forma que é"*

Fonte: elaborado pelo autor

Das 14 duplas que realizaram a atividade, 13 duplas responderam que sim, a ciência é transitória, sendo que nove delas apresentaram respostas dizendo que com o passar do tempo surgem novas teorias ou explicação para a natureza. As respostas dessas duplas não mostraram um caráter evolutivo (num sentido progressista) e nem linear da ciência, mas nas poucas palavras afirmadas por eles não podemos desconsiderar essa percepção. Por outro lado, eles também não afirmaram que o conhecimento atual é o mais "correto" que o anterior. Isso é bom, pois com base nessas respostas, é percebido que para eles o conhecimento de uma época não pode ser mensurado com o de outra. Além disso, que o conhecimento mais antigo não é necessariamente "errado" já que estava de acordo com o estilo de pensamento vigente na época.

Duas duplas também apresentaram respostas bem parecidas com o grupo anterior, ao afirmarem que com o passar do tempo mudamos nossa forma de pensar, tudo é passível de alteração e não necessariamente num sentido progressivo. E se mudamos a nossa forma de pensar, vamos mudar nossa forma de fazer ciência. Claro que isso é algo lento e ocorre através do desenvolvimento de protoideias que com o tempo se transforma em um novo estilo de pensamento aceito e validado pelo coletivo de pensamento.

Outra dupla afirmou que a ciência se altera, pois a tecnologia de hoje permite ver coisas que a tecnologia de antigamente não permitia. De fato, não podemos deixar de levar em consideração que a técnica/tecnologia é um fator de grande importância para o desenvolvimento científico. Percebemos exemplos na história da própria ciência. Porém, não se pode afirmar que o avanço da tecnologia necessariamente trará um "avanço" científico, pois a tecnologia, apesar de se articular com a ciência, também possui uma dinâmica própria e independente.

Uma dupla apresentou uma reposta deixando bem claro que a ciência sofre uma evolução. Ao perguntar por que, os alunos argumentaram dizendo que essa evolução ocorre de pior para melhor, ou seja, uma ciência progressista. O professor chegou a conversar com eles e apresentou exemplos – dentro do contexto da conceituação de espaço e tempo – mostrando que a ciência não é necessariamente progressista, mas que a forma de explicar e entender um conceito muda de acordo com o contexto histórico social e que um não é necessariamente melhor que o outro, mas há apenas formas diferentes de explica-lo.

Uma dupla disse que a ciência não se altera com o tempo, visto que o mundo não mudou e, portanto, ela também não poderia mudar. É percebido nessa resposta que para esses alunos a ciência está fortemente arraigada a natureza, ou seja, como

se fosse uma verdade sobre ela, portanto ela só mudaria se “o mundo” também mudasse.

Quadro IV. 20 - Questão: "Contexto histórico de Einstein e a sua ciência."

Questão 02: Você concorda que o contexto histórico em que Einstein viveu colaborou para que ele desenvolvesse a Teoria da Relatividade?		
Categoria	**Nº de respostas**	**Exemplos de respostas**
Sim, pois o contexto fez ele se interessar pelo assunto.	2	“*Porque ele acabou se interessando pelo tempo*”
Sim, pois o contexto fornecia informações necessárias que ele precisava	3	“*Isso ajudou ele, pois isso dava informações sobre esse assunto. Com isso, ele pode ter novas ideias*”
Sim, pois ele trabalhava com algo importante na época: os relógios.	5	*“Porque ele trabalhou com muitos relógios e com isso se interessou pelo tempo.”* *“Porque ele trabalhava em um instituto onde havia muitos tipos de relógios. Isso fez ele se interessar pelo tempo.”*
Sim, outras respostas.	4	*“Porque ele se dedicou muito ao trabalho.”* *“Devido ao seu grande interesse pela física tradicional”*
Não.	2	“*Pois não haveria como explicar algo sem ao menos comprovar, então não haveria como fazer algo de qualquer maneira naquela época.*” *“Eu acredito que naquela época era muito mais difícil relacionar o tempo com o espaço.”*

Fonte: elaborado pelo autor

Observando as respostas dos alunos, percebe-se que grande parte das duplas falou que o contexto histórico-social de Einstein colaborou para que ele desenvolvesse a teoria da relatividade, pois ele trabalhava em um instituto de patentes e com isso ele tinha acesso a inúmeros projetos de relógios. De certa forma, isso fez com que ele se interessasse pelo assunto, assim como duas duplas falaram. O interessante, é que esse

assunto foi fortemente debatido pelo professor nas aulas anteriores, apresentando, inclusive, a relação existente entre os trens, o problema da sincronia e os projetos de relógios da época e o instituo que Einstein trabalhava (SARAIVA, 2006; GALISON, 2005).

Três duplas afirmaram que o contexto fornecia informações necessárias para que Einstein realizasse seu trabalho. Não se pode esquecer que a Física, ou a ciência como um todo, não se desenvolve por apenas uma pessoa, existe um grupo de pessoas que contribuem de alguma forma. O próprio Einstein realizava reuniões semanais com colegas, na qual discutia filosofia, ciência, dentre outros assuntos. Além disso, alguns recursos matemáticos utilizados por Einstein já haviam sido desenvolvidos anteriormente, tais como as transformações de Fritz-Lorentz. O próprio pensamento relativista já estava presente em algumas representações artísticas. Então, sim, não se pode falar que o contexto não forneceu ao menos alguma inspiração para o físico, afinal a ciência é integrada socialmente.

Duas duplas falaram que o contexto da época não colaborou com os trabalhos de Einstein, pois, segundo eles, não haveria como comprovar suas teorias e nem relacionar o espaço com o tempo na época. Pelas palavras dos alunos pode-se dizer que eles não compreenderam muito o que estava sendo perguntado, porém percebe-se ainda que para eles a ciência ainda carece de “provas” para se consolidar e não a validação dos pares – do coletivo de pensamento.

Atividade 3.3 - Aula expositiva: A constância da velocidade da luz

DESCRIÇÃO: Na aula seguinte a leitura do texto, foi realizada uma aula expositiva sobre o problema da constância da velocidade da luz e da simultaneidade e como isso contrariava o princípio da relatividade de Galilei.

OBJETIVO: Compreender que a luz possui velocidade absoluta; Compreender que de acordo com a relatividade de Einstein, a simultaneidade entre eventos é algo relativo.



IV. 11 - Aula expositiva: "A constância da velocidade da luz"
Fonte: elaborado pelo autor

COMENTÁRIOS: Ao longo da aula, o professor explicou o problema da constância da velocidade da luz e como isso contrariava um dos princípios básicos da física clássica: a relatividade de Galileu. Nesse momento, o professor precisou relembrar aos alunos o

que era o princípio da relatividade de Galileu e com isso apresentou alguns exemplos, tais como a mudança de referencial quando um corpo está em movimento em relação a um referencial, mas em repouso em relação a outro, ou ainda quando um corpo está com uma certa velocidade em relação a um referencial, mas com outra velocidade em relação a outro. Nesse momento, o professor falou com os alunos que de acordo com as teorias eletromagnéticas e os experimentos do final do século XIX e início do século XX, a luz não respeita esse princípio. Existiram alguns físicos, tais como Lorentz que desenvolveu uma matemática para adequada os dados experimentais para explicar tal problema. No entanto, era apenas uma solução matemática sem muitas inovações físicas. O professor continuou falando que em 1905 Albert Einstein, apresentou dois postulados que fugia completamente aos princípios da física clássica. Partindo desse ponto, ele explicou um problema da constância da velocidade da luz, a simultaneidade entre os eventos. Até esse momento, os alunos compreenderam que a velocidade da luz seria a mesma para todos os observadores, mas alguns perguntaram o que era "esse negócio de simultaneidade". O professor continuou explicando apresentando exemplos dos trens saindo da estação e o relógio que eles estavam usando, dizer, por exemplo, que um trem partiu as 7 da manhã da estação significa dizer que ele partiu de forma simultânea quando o ponteiro do relógio estava marcando 7 horas, isso era a simultaneidade. Mas com a constância da velocidade da luz, não podia dizer que duas coisas eram simultâneas se o trem estivesse em movimento, ele apresentou inclusive o caso da percepção do raio que cai no meio do trem com dois observadores em situações distintas, sendo que um observaria o fato em um momento diferente do outro observador, isso seria a relatividade da simultaneidade.

Atividade 3.4 - Apresentação de Vídeo: Além do Cosmo – O espaço e tempo

DESCRIÇÃO: Após a apresentação da aula, foi apresentado um pequeno documentário "Além do cosmos: o espaço e tempo", na qual foi realizado um grande apanhado sobre as conceituações de espaço e tempo ao longo da história da física. Em seguida, foi entregue um texto aos alunos para que eles pudessem realizar uma leitura em casa e traze-lo na semana seguinte. O texto apresentava a relatividade de Einstein e as diferenças entre o espaço e tempo absoluto de Galilei/Newton e o espaço e tempo relatividade de Einstein.

OBJETIVO: Compreender a relatividade do espaço e tempo presente na teoria da relatividade restrita de Einstein; Compreender a transitoriedade dos conceitos de espaço e tempo.

COMENTÁRIOS: A exibição do vídeo foi boa até certo ponto. Se por um lado, ele conseguiu apresentar em poucos minutos as principais diferenças entre o espaço e tempo da mecânica clássica, por outro a sua linguagem de documentário fez com que grande parte dos alunos perdessem o interesse depois de 25 minutos de exibição. Os vídeos apresentados nos bimestres anteriores, mesmo com as ressalvas realizadas, prenderam mais a atenção dos alunos. Tal vídeo até pode ser exibido mas, de acordo com o contexto da aplicação da atividade, o ideal é que fossem realizados alguns recortes que o professor fosse explicando os detalhes e pequenos trechos do vídeo fosse inserido com exemplo. Em todo caso, acreditamos que a leitura do texto vai fazer eles gostarem um pouco mais e se interessarem pelo tema.

Atividade 3.5 - Leitura de Texto: A Relatividade do espaço e tempo

DESCRIÇÃO: Os alunos realizaram a leitura do texto em casa e ao chegarem em sala o professor apresentou um pequeno resumo dos pontos principais, incluindo a relatividade do tempo e do espaço e como isso trazia uma nova forma de enxergar esses conceitos. Em seguida, os alunos foram motivados a responder uma breve questão sobre a transitoriedade dos conceitos e de espaço e tempo: 1) Para você, os conceitos de tempo e espaço não se alteram ao longo da história? Justifique.

OBJETIVO: Compreender os limites da TRR; Compreender que o conhecimento científico é provisório, durável e de autocorreção; Compreender que os conhecimentos científicos estão sujeitas a alterações; Compreender que a ciência não pode fornecer respostas completas a todas as perguntas;

COMENTÁRIOS: Nesse dia um pouco mais da metade da turma compareceu. Isso porque no mesmo dia estava ocorrendo um evento de Educação Física e alguns alunos estavam participando da organização do mesmo. No entanto, como o ano letivo estava perto de acabar, não foi possível adiar a atividade. No entanto, os alunos que compareceram se mostraram ainda mais interessados pelo texto do que a exibição do vídeo na semana anterior. Durante a leitura, alguns alunos ainda realizaram algumas perguntas relacionadas ao espaço e tempo de Einstein. Nesse dia, inclusive, uma aluna havia assistido um filme de ficção científica que abordava assuntos relacionados a relatividade de Einstein e ela comentou que tinha visto sobre o tempo passar diferente para pessoas em situações diferentes (com velocidades diferentes) e que ela havia

achado isso muito bom. Cerca de 4 alunos ficaram dispersos ao longo da leitura e não responderam as questões. Os 16 alunos restantes responderam as questões de acordo com as tabelas abaixo:

Quadro IV. 21 - Questão: Os conceitos de tempo e espaço não se alteram?"

Questão 01: Para você, os conceitos de tempo e espaço não se alteram ao longo da história? Justifique.		
Categoria	**Nº de respostas**	**Exemplos de respostas**
Se alteram	6	*"Por exemplo, Newton disse que o tempo e o espaço são absolutos e em outro período Einstein disse que o tempo e o espaço são duas coisas "fundidas" e relativas."* *"Pois o conceito é formado ao longo do tempo"* *"Pois até hoje sempre tem novas formas de explicar e que são diferentes da forma como era explicado antigamente."* *"Pois cada um tem o seu jeito de pensar"*
Não se alteram	2	*"Porque eles são absolutos"* *"Como dizia Newton, o espaço e o tempo são grandezas matemáticas verdadeiras e absolutas."*

Fonte: elaborado pelo autor

Seis duplas apresentaram respostas dizendo que os conceitos de espaço e tempo se alteram ao longo da história. No entanto, em duas justificativas, três duplas apresentaram como exemplo as diferenças entre as ideias de Newton e a de Einstein. Ao mostrar esse exemplo é percebido que para eles está claro que nesse contexto a ciência possui um caráter transitório e que não é necessariamente progressista, já que tanto as ideias newtonianas quanto as einsteinianas estão de acordo com o estilo de pensamento da época, aceito e validado pelo coletivo de pensamento de épocas distintas. No entanto, uma dupla afirmou que "cada um tem o seu jeito de pensar", apresentando ainda certo relativismo exagerado na ciência. Repetimos novamente que mesmo que cada um tenha o seu jeito de pensar, para que uma ideia cientifica seja aceita é necessário que ela seja validada pelo coletivo de pensamento, caso contrário será apenas uma ideia.

Duas duplas defenderam a ideia de que os conceitos de espaço e tempo não se alteram ao longo do tempo. Talvez responderam dessa forma pela formulação da questão. Ao perguntar "...tempo e espaço **não** se alteram...", alguns alunos acabam concordando com a pergunta. Porém, com suas justificativas, percebe-se que para eles, a visão newtoniana mostra que se o espaço e o tempo são grandezas absolutas, elas não apenas não se alterar com a mudança de referencial, como os seus próprios conceitos não podem mudar com o passar do tempo. De certa forma, as suas respostas fazem sentido, pois se algo é absoluto não pode mudar em qualquer situação. Entretanto, por ser conceitos e não "verdades" absolutas, eles – os conceitos de tempo e espaço – dependem do estilo de pensamento vigente e do coletivo de pensamento a que está se referindo, já que mesmo em um dado momento histórico eles podem apresentar conceituações diferentes quando comparados a outros coletivos de pensamentos de áreas diversas, tais como a atribuição dada pelos filósofos, pelos sociólogos, pelos geógrafos, etc.

Atividade 3.6 - Aula expositiva: A dilatação do tempo e a contração do espaço

DESCRIÇÃO: Inicialmente foi apresentado o exemplo do trem em movimento e como o tempo e o espaço se comportam com mudança de referencial. Em seguida, foi apresentado as transformadas de Fritz-Lorentz e como isso ajuda a compreender a formulação matemática da relatividade restrita de Einstein. Ao final da aula foi apresentado o problema do paradoxo dos gêmeos e que isso era foi um problema para a relatividade restrita de Einstein ser aceita de imediato.

OBJETIVO: Compreender a TRR; Compreender a dilatação do tempo e a contração do espaço; Compreender que a ciência é um tipo de cultura e por isso, possui normas e regras que são compartilhados por um coletivo de pensamento.

COMENTÁRIOS: Os alunos tiveram dificuldades em compreender a parte matemática da dilatação do tempo e da contração do espaço, mas compreenderam que a medida dessas grandes se alterar com a mudança de referencial. O professor utilizou como exemplo e caso dos GPS e comentou sobre um filme de ficção científica que havia acabado de estrear – que uma aluna havia assistido – e como ele ajudaria a compreender essa mudança de referencial e como isso afetaria a medida do tempo e do espaço. Ao final, o professor ainda realizou uma breve problematização apresentando o caso do paradoxo dos gêmeos e como isso traria um problema para a

relatividade restrita de Einstein. Para resolver esse problema, em algum momento um dos gêmeos deveria mudar a velocidade, ou seja, sofrer uma aceleração/desaceleração e que isso seria melhor explorado na aula seguinte.

Atividade 3.7 - Aula expositiva: O espaço curvo e a TRG

DESCRIÇÃO: Inicialmente foi apresentado aos alunos um pequeno vídeo sobre o problema do foguete: Link: https://www.youtube.com/watch?v=xnG4WHhjoTY. Em seguida, o professor apresentou o “Princípio da Equivalência” e a Teoria da Relatividade Geral como uma nova forma de explicar a gravidade e como essa nova forma de compreender a natureza trouxe uma nova interpretação para o espaço e o tempo.

OBJETIVO: Compreender a TRG; Compreender que o espaço e tempo correspondem a uma coisa só chamada tecido espaço-tempo; compreender que a matéria deforma o espaço e o espaço altera a matéria e a energia; Compreender a deformidade do tecido espaço-tempo; Compreender o caráter transitório da ciência

COMENTÁRIOS: Nessa aula, o professor fez uso do exemplo do foguete em repouso próximo a superfície da Terra e quando ele está em movimento acelerado. Com isso, mostrou a diferença entre massa inercial e massa gravitacional e que nesse caso, segundo Einstein, as duas massas eram equivalentes, ou seja, a massa gravitacional era equivalente a massa inercial. Através desse princípio, foi apresentado brevemente a TRG e a ideia de espaço-tempo curvo na presença de matéria. Com isso, seria uma nova forma de compreender a gravidade e o próprio tempo e espaço. Como não havia muito tempo letivo para explorar mais o assunto, o professor realizou uma última atividade com os alunos. Eles deveriam produzir um pequeno vídeo sobre o espaço e o tempo ao longo da história. A atividade seria entregue na semana seguinte.

Atividade 3.7 - Produção de vídeo

DESCRIÇÃO: Os alunos foram divididos em grupos de cinco membros, totalizando seis grupos. Com isso, foi pedido que os alunos realizassem um vídeo sobre o espaço e o tempo ao longo da história. Eles poderiam realizar uma pesquisa no material entregue ao longo do ano, na internet, em livros, etc. Porém, o vídeo deveria ter até 3 minutos. O

vídeo poderia ser apenas falado ou atuado e que isso dependeria da criatividade de cada um deles.

OBJETIVO: Apresentar o que os alunos compreenderam ao longo do ano.

COMENTÁRIOS: Dos seis grupos, apenar um não entregou a atividade. Dois grupos tiveram muitas dificuldades e não entregaram a atividade no dia que foi pedido, mas entregaram depois. Os demais grupos entregaram a atividade no prazo, mas nenhum deles realizou um vídeo atuado, todos os grupos realizaram um breve resumo do que foi discutido ao longo do ano e apresentaram de forma oral. Um dos grupos apresentou com narração enquanto outros membros iam passando uns papeis com desenhos fazendo uma representação do que estavam falando. Nos vídeos foi percebido que eles compreenderam que a ciência é transitória, pois em diferentes contextos históricos e filosóficos, ela pode apresentar estilos de pensamentos diferentes. No entanto, como afirmado no início desse trabalho, o nosso objetivo nunca foi o de mudar a forma de pensar dos alunos, mas o de submetê-los a atividades que mostrassem o caráter transitório dos conceitos de espaço e tempo e que isso não ocorre de forma progressista, com isso poderíamos perceber quais as atividades que cumpriram melhor o objetivo de discutir/problematizar os conceitos de espaço e tempo através de uma perspectiva histórico filosófica.

Atividade 3.8 – Questionário Final

No último dia de aula foi realizado um questionário com os alunos contendo perguntas sobre o espaço, o tempo, alguns elementos relativos a natureza da ciência. Para isso, os alunos foram divididos em seis grupos a fim de discutir e chegar a um consenso sobre as questões. Eles poderiam utilizar todo o material do ano como fonte de consulta.

OBJETIVO: Avaliar as posições dos alunos quanto a tudo que foi discutido ao longo do ano em relação aos conceitos de espaço e tempo e a alguns aspectos da Natureza da Ciência.

COMENTÁRIOS: Nessa atividade, quase todos os alunos compareceram para realizá-la e, aparentemente, eles não tiveram muitas dificuldades em responder, principalmente pelo fato de ser uma atividade em consulta. No entanto, nem todos os alunos estavam

com todos os materiais disponíveis no dia, mas como foi uma atividade em grupo, eles conseguiram reunir o material dos colegas e, em um trabalho colaborativo, conseguiram realizar a atividade. Abaixo contém questões, juntamente as respostas dos grupos com os respectivos comentários. Nesta etapa faremos uma interpretação das respostas apresentadas tendo como base os conceitos de espaço e tempo apresentados anteriormente, além de alguns elementos de Natureza da Ciência. EM seguida, realizaremos uma categorização – segundo a análise de conteúdo - com os pontos principais apresentados pelos grupos de alunos.

Quadro IV. 22 - Questão: "O que é o espaço e o tempo?"

Questão 01 - De acordo com as aulas ao longo do ano sobre os desenvolvimentos teóricos de Galileu, Newton, Einstein e tantos outros, para você o que é o tempo e o espaço.	
Grupo	**Resposta**
Grupo 01	*"O espaço e o tempo são coisas relativas e que dependem do estado de movimento de um corpo em relação a um observador."*
Grupo 02	*"Tempo e espaço são conceitos que ao longo do tempo sofrem transformações"*
Grupo 03	*"O espaço é uma região onde fenômenos acontecem e o tempo é quando essas coisas acontecem"*
Grupo 04	*"O espaço e o tempo são relativos. Para nós, a teoria de Einstein é a mais correta dentre todas elas"*
Grupo 05	*"A gente acredita que o tempo e o espaço são coisas que existem independentemente da existência dos corpos."*
Grupo 06	*"O tempo e o espaço são coisas fundidas que formam o tempo-espaço. Por serem relativos, podem apresentar medidas diferentes de acordo com a velocidade de um corpo que se move em relação a outro"*

Fonte: elaborado pelo autor

Como observado nas respostas dos alunos, eles apresentaram características estudadas ao longo do ano letivo. O grupo 01, por exemplo, apresentou uma conceituação da Relatividade de Einstein, onde o espaço e tempo são relativos e que dependem do estado de movimento do observador. O mesmo pode ser observado com os grupos 04 e 06. O grupo 06 chegou a afirmar que o espaço e o tempo formam o tecido espaço-tempo, isso mostra que eles possuem uma compreensão mais informada sobre como o espaço e tempo é compreendido na Relatividade de Einstein. No entanto, o grupo 04 apresentou em sua fala algo não esperado em sua fala. Segundo os integrantes desse grupo, a "*a teoria de Einstein é a mais correta dentre todas"* as outras. Como já visto, o referencial epistemológico de Fleck mostra que os conhecimentos científicos de estilos de pensamentos diferentes não estão errados, apenas são diferentes por fazerem parte de coletivos de pensamentos diferentes. Cada um está "certo" – ou seja, validado - dentro de seu contexto. Sendo assim, os integrantes desse grupo ainda apresentam uma informação não adequada sobre o desenvolvimento do conhecimento científico.

O grupo 02 mostrou algo esperado, nosso objetivo sempre foi o de que eles compreendessem que os conceitos de espaço e tempo – assim como toda a ciência – se alteram ao longo da história e que essa alteração ocorre de forma lenta e traspassada através de protoideias que evoluem (em um sentido não progressista) até se tornarem um estilo de pensamento vigente e validado pelos pares do coletivo de pensamento.

Sendo assim, de acordo com as respostas apresentadas pelos grupos, podemos categorizar o que eles compreenderam sobre os conceitos de espaço e tempo de acordo com a tabela abaixo.

Quadro IV. 23 - Categorias de espaço e de tempo

Espaço e Tempo – Categorias apresentadas pelos alunos	
Onde e quando os ocorrem os eventos.	São relativos aos movimentos dos corpos.
Existem e independem da existência dos objetos.	São conceitos que se alteram ao longo da história.

Fonte: elaborado pelo autor

Ou seja, essas quatro categorias resumem o que os alunos compreenderam acerca do espaço e tempo ao longo das atividades. Visto que nosso objetivo nunca foi o de mudar a visão deles sobre tais conceitos, mas o que submete-los a atividades que discutissem/problematizassem o espaço e tempo.

Quadro IV. 24 - Questão: " A Natureza fornece evidências..?"

Questão 02 - De acordo com o que vimos nas aulas que foram apresentadas os conceitos de espaço e tempo para Newton e Leibniz, comente a seguinte afirmação "A Natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação".	
Grupo	**Resposta**
Grupo 01	*"Acreditamos que a natureza tem várias interpretações."*
Grupo 02	*"Concordamos, pois se apresentasse uma única interpretação não teria tantas teorias e estudos."*
Grupo 03	*"Achamos que quer dizer que cada vez que alguém vê algo na natureza interpreta de um jeito."*
Grupo 04	*"Como Newton interpretava de um jeito, Leibniz de outro e Einstein de outro, acreditamos que a natureza pode fornecer evidências diferentes sim."*
Grupo 05	*"A natureza fornece evidências para várias interpretações. Ao longo da história conseguimos ver isso com Newton, Leibniz, e etc."*
Grupo 06	*"Quer dizer que cada vez que alguém vê algo na natureza vai interpretar de um jeito diferente"*

Fonte: elaborado pelo autor

Como visto ao longo da realização das atividades, a Natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação. Um dos exemplos mostrados foi a controvérsia entre Newton e Leibniz acerca da Natureza ontológica do espaço e tempo. Os dois filósofos naturais eram contemporâneos e mesmo assim tiveram interpretações diferentes acerca do espaço e tempo. Para um, eles eram entidades absolutas enquanto que para o outro eles eram relativos.

Observando as respostas apresentadas pelos grupos, percebemos que todos eles compreenderam que a Natureza fornece evidências que permitem mais de uma interpretação. Alguns grupos (04 e 05) chegaram a apresentar os exemplos vistos ao

longo do ano, o que mostra que eles compreenderam tal características da ciência e conseguem utilizar exemplos mostrados como uma justificativa. No entanto, dois grupos (03 e 06) ainda justificaram a afirmação dizendo que cada um interpreta de um jeito diferente*. Apesar disso não ser uma inverdade, é importante novamente salientar o caráter de validação de um conhecimento. Por mais que cada uma vá interpretar a natureza de um jeito diferente – baseado em pressupostos teóricos, imaginação, criatividade e o próprio contexto filosófico, histórico e social – tal conhecimento produzido a partir dessa interpretação precisa passar por um processo de validação e aceitação pelos seus pares. Se isso não ocorre, seria um "tudo vale", coisa que não ocorre com a ciência. Por ser um tipo de cultura, ela possui normas, regras e valores compartilhados pelo coletivo de pensamento. Sintetizando as repostas dos grupos, podemos categoriza-los da tabela abaixo:

Quadro IV. 25 - A natureza fornece uma única interpretação

A Natureza não fornece evidências que permitem uma única interpretação?	
Sim, ela permite várias interpretações	Cada um interpreta de um jeito diferente[24]
Pois há diversas teorias e estudos	Como Galilei, Newton, Leibniz, Einstein e tantos outros

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro IV. 26 - Questão: "O tempo e o espaço são coisas idealizadas?"

Questão 03 - Para você, o espaço e o tempo são coisas existentes ou são coisas unicamente idealizados como uma forma de representação?	
Grupo	**Resposta**
Grupo 01	*"Para nós, são coisas que existem"*
Grupo 02	*"São existentes"*
Grupo 03	*"São coisas idealizadas, ou seja, não existem de fato"*
Grupo 04	*"Eles existem"*
Grupo 05	*"São existentes e absolutas"*
Grupo 06	*"Para nós, o tempo e o espaço são coisas que realmente existem"*

Fonte: elaborado pelo autor

[24] *Como dito anteriormente, é importante deixar bem claro na execução das atividades que a ciência – ou as ciências - possui um caráter de validação de um conhecimento, ou seja, não é um "tudo vale".

Apenas fazendo uma pequena comparação com o que já foi apresentado na questão 01, nem todos os alunos defendem que o espaço e tempo são de fato existentes. Para um dos grupos (grupo 03) o espaço e o tempo são entidades idealizadas, ou seja, não existem de fato e são frutos do intelecto humano. Como dizia Leibniz, são entidades que servem para ordenar as sucessões dos eventos e a coexistência dos objetos. No entanto, essa discussão é algo em aberto, principalmente no campo filosófico, mas como essa questão não faz parte do escopo desse trabalho não ampliaremos nossas discussões nesse sentido.

Quadro IV. 27 - Questão: "Os conceitos de espaço e o tempo podem se alterar?"

Questão 04 - Como você viu, de acordo com a Física de Einstein, o espaço e tempo são coisas relativas e que dependem do estado de movimento de um corpo em relação a um observador. Para você, essas características atribuídas (pela Física) ao espaço e ao tempo podem se alterar no decorrer na história? Sim, ou não? Justifique sua resposta com exemplos.	
Grupo	**Resposta**
Grupo 01	*"Sim, porque a ciência não é absoluta"*
Grupo 02	*"Sim"*
Grupo 03	*"Sim, porque cada pessoa pensa de um jeito, então pode vir outra pessoa e mudar tudo"*
Grupo 04	*"Sim, Einstein mostrou as coisas que conhecemos hoje e que estão de acordo com a ciência dele, mas é bem provável que daqui a 60, 70 anos pode haver uma pessoa que mude as coisas como conhecemos."*
Grupo 05	*"Sim. Desde os primeiros pesquisadores até agora muitas coisas mudaram."*
Grupo 06	*"Sim, pois cada um tem a sua opinião e essa foi a dele"*

Fonte: elaborado pelo autor

A questão 04 também serviu para confrontar com o que foi apresentado na questão 01. Como percebido, todos os alunos afirmaram que sim, os conceitos de espaço e tempo podem se alterar no decorrer da história. Como visto ao longo do aluno, o espaço e tempo apresentavam características de qualidades, depois geométricas, em

seguida se transformaram em entidades absolutas e, por último, relativas. Ou seja, existe esse caráter transitório nos conceitos de espaço e tempo. Justificando tal afirmação, um grupo (01) chegou a dizer que a ciência não é absoluta, ou seja, ela relativa. Mas em que sentido ou medida eles afirmaram isso? Não se pode dizer, mas algo observado é que de fato ela depende de diversos fatores para ser considerada ciência e até essas atribuições podem sofrer uma mutação/evolução no decorrer do tempo. Os grupos 03 e 06 reafirmaram o posicionamento deles que cada um "pensa de um jeito" ou "tem a sua própria opinião" e assim, pode vir outro e mudar a qualquer momento. O grupo 04 e o 05 foram bem correntes em sua reposta, ao afirmarem que desde os primeiros pesquisadores muitas coisas mudaram até agora, mas pode ser que daqui a um tempo sujam novas pesquisas que faça tudo mudar novamente. Sintetizando as ideias apresentadas pelos alunos, podemos categoriza-las de acordo com o seguinte quadro:

Quadro IV. 28 - Os conceitos de espaço e de tempo podem se alterar?

Para você, essas características atribuídas (pela Física) ao espaço e ao tempo podem se alterar no decorrer na história?	
Pode sim.	Cada um pensa de um jeito diferente*
Pois a ciência não é absoluta.	Se mudou antes, pode se alterar daqui a algum tempo também.

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro IV. 29 - "Por que os cientistas buscam compreender o tempo e o espaço?"

Questão 05 - Em sua opinião, por que os cientistas (físicos) buscam compreender o que é o espaço e o tempo?	
Grupo	**Resposta**
Grupo 01	*"Para entender o dia, a noite, como isso acontece, dentre outras coisas."*
Grupo 02	*"Para compreender as coisas do nosso mundo."*
Grupo 03	*"Porque eles querem entender o que realmente seria a palavra tempo e espaço e compreender o que são essas coisas de fato"*
Grupo 04	*"Porque o espaço e o tempo formam a base de tudo na Física"*

Continuação: Quadro IV.29

Grupo 05	*"Porque o ser humano sempre buscar ir além de sua capacidade"*
Grupo 06	*"Porque cada um tem sua curiosidade sobre algo, e essa é a curiosidade deles, que é sobre tempo e espaço"*

Fonte: elaborado pelo autor

Nessa última pergunta, visamos identificar o que os alunos pensam sobre a importância em estudar os conceitos de espaço e tempo pela Física. Nenhum deles diminuiu essa importância, porém as respostas apresentadas por eles apresentam características diferentes e que podem ser sintetizadas na tabela abaixo:

Quadro IV. 30 - Por que os cientistas buscam compreender o tempo e o espaço?

Por que os cientistas buscam compreender o que é o espaço e o tempo?	
Para compreender fenômenos como dia e noite.	Por curiosidade.
O tempo e o espaço formam a base de tudo na Física	Para compreender o que eles são de fato.

Fonte: elaborado pelo autor

Sendo assim, após passarem pela realização das atividades, os alunos afirmaram que o espaço e o tempo é onde e quando ocorrem os eventos, são existentes à priori, ou seja, não dependem da existência dos corpos e objetos, são relativos aos movimentos dos corpos e são conceitos que se alteram ao longo da história. Segundo eles, os cientistas buscam compreender tais conceitos para entender fenômenos naturais, tais como o dia e a noite, por formarem a base de tudo na Física, em alguns casos por curiosidade e para entender o que eles são de fato. Eles compreendem ainda que a natureza permite várias interpretações e que é até por isso que existem diversas teorias e estudos sobre um determinado assunto. Além disso, eles compreenderam que um conhecimento científico possui um caráter transitório e que pode se alterar ao longo da história (não necessariamente de uma forma progressista). Porém, alguns alunos, ao afirmaram que cada um pensa de um jeito, não levaram em consideração o caráter de validação de um conhecimento científico. Essa característica é algo que foi apresentado apenas por um pequeno grupo de alunos, os demais compreenderam que apesar da natureza permitir diversas interpretações, é preciso que

haja uma validação de um conhecimento científico pelos portadores do estilo de pensamento.

Capítulo V – Pesquisa final e comentários

V.1 – Pesquisa Final

Depois da realização da avaliação em grupo, foi entregue aos alunos um pequeno questionário sobre a aplicação das atividades. Em seguida, foi pedido que eles respondessem individualmente, pois seria uma pesquisa de opinião, e que eles poderiam responder da forma que achassem melhor. Nessa pesquisa havia três questões sobre as atividades realizadas e uma questão para que eles respondessem o que acharam do conteúdo tratado ao longo do ano.

OBJETIVO: Avaliar as posições dos alunos em relação as atividades produzidas e realizadas ao longo do ano.

COMENTÁRIOS: Na primeira questão cada aluno deveria citar duas atividades que mais gostou de realizar. Na segunda, eles citariam duas que menos gostaram e na terceira eles citariam apenas uma atividade que para eles mais contribuiu para a compreensão do assunto estudado. Ao todo, 27 alunos realizaram a atividade.

Quadro V. 1 - Atividades que os alunos mais gostaram

Dentre as atividades realizadas ao longo do ano, cite duas que você mais gostou de realizar.	
Atividade	**Nº de alunos**
Exibição de vídeo	15
Leitura de textos	6
Aulas expositivas com slides	6
Apresentação de vídeos com simulação	4
Indicação de vídeo aulas	2
Produção de texto	4
Produção de desenhos e histórias em quadrinho	8
Produção de vídeo	3

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro V. 2 - Atividade que os alunos menos gostaram

Dentre as atividades realizadas ao longo do ano, cite duas que você menos gostou de realizar.	
Atividade	**Nº de alunos**
Exibição de vídeo	2
Leitura de textos	11
Aulas expositivas com slides	2
Apresentação de vídeos com simulação	3
Indicação de vídeo aulas	3
Produção de texto	17
Produção de desenhos e histórias em quadrinho	2
Produção de vídeo	9

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro V. 3 - Atividade que mais ajudou a compreensão dos alunos

Questão 03 – Dentre as atividades realizadas ao longo do ano, cite aquela que você acredita que mais te ajudou a compreender os assuntos estudados.	
Atividade	**Nº de alunos**
Exibição de vídeo	6
Leitura de textos	2
Aulas expositivas com slides	5
Apresentação de vídeos com simulação	3
Indicação de vídeo aulas	4
Produção de texto	4
Produção de desenhos e histórias em quadrinho	1
Produção de vídeo	2

Fonte: elaborado pelo autor

Dentre as atividades realizadas, 15 alunos gostaram mais da exibição de vídeo e 6 deles consideraram que a atividade foi a que mais contribuiu para a compreensão dos assuntos estudados. Em contrapartida, apenas 2 alunos não gostaram da atividade. Vale ressaltar que, como foi apontado ao longo do presente trabalho, a exibição de um vídeo precisa ser acompanhada de um texto de apoio com uma história mais adequada e de acordo com os objetivos desse trabalho. Grande parte dos vídeos de divulgação científica apresenta uma visão romântica da ciência. O texto de apoio pode ajudar a confrontar as duas visões e possibilitando, inclusive, uma discussão mais ampla e mais rica do que se quer problematizar, em nosso caso, os conceitos de espaço e tempo.

Outro ponto a ser destacado na exibição dos vídeos é que, de acordo com o contexto da aplicação desse trabalho, o ideal é que ele não ultrapasse 30 minutos, ainda mais quando for um documentário. Os alunos costumam perder o interesse com muita facilidade em vídeos mais longos.

Dentre os 27 alunos que responderam o questionário, apenas 6 citaram que a atividade que mais gostaram foi a leitura de texto, porém 11 citaram que não gostaram e apenas 2 falaram que foi a atividade que menos contribuiu para a compreensão do assunto estudado. Apesar desse número pouco expressivo em relação a leitura de texto, não se pode esquecer as atividades de leitura foram as que mais promoveram questionamentos e discussões. Um dos motivos dos alunos não terem gostado da atividade pode estar relacionado ao fato de se uma atividade que tira os estudantes da zona de conforto, principalmente por eles terem que realizar um trabalho não muito explorado nas aulas de Física. Outro motivo pode estar relacionado com a própria linguagem dos textos produzidos, seria interessante que fosse construído uma narrativa mais literal – mas não tão romântica – e menos informativa. Isso poderia despertar um pouco mais interesse no aluno. Diante do contexto de aplicação, os textos também não podem ser muito grandes e tem que ter no máximo 1,5 páginas para cada leitura. As leituras que foram realizadas em dupla ou trio funcionaram melhor que as leituras em grupo, pois promovia uma discussão maior entre eles. Quando a atividade era realizada em grupo, alguns alunos acabavam não respondendo as questões e deixando os colegas fazerem todo o trabalho, ou ainda as questões eram dividas entre os integrantes do grupo, na qual cada um respondia uma das questões. Ou seja, não houve discussões entre eles.

Em relação as aulas expositivas com slides, 6 alunos falaram que foi a atividade que mais gostaram de realizar/assistir, 2 alunos falaram que não gostaram e 5 afirmaram que foi a atividade que mais contribuiu para que eles compreendessem o conteúdo. Em um ambiente de sala de aula, não se pode deixar de realizar algumas aulas expositivas em alguns momentos, principalmente em aulas de apresentação de conteúdo, como em aulas de sistematização do que foi discutido/problematizado em outras atividades. As aulas expositivas serviram exatamente com esse propósito. Com elas, foi realizando uma contextualização histórica nos episódios apresentados, além de apresentar o conteúdo disciplinar e curricular. No entanto, seria mais interessante que as aulas expositivas deixassem mais explícitos alguns elementos de Natureza da Ciência, tais como o caráter de validação de um conhecimento científico, a questão das normas, regras e valores da ciência e o caráter transitório da ciência como um todo, dentre outros. Se isso fosse mais explicitado, os alunos poderiam atingir melhor os objetivos desse trabalho.

Com relação a vídeos com simulação, poucos alunos apontaram como a melhor atividade, ou ainda como a atividade que menos gostou ou a que mais contribuiu para o entendimento dos assuntos abordados. Como eles já haviam afirmado a exibição de vídeo, eles acabaram não citando essa por acreditarem que fazia parte do mesmo conjunto. Porém, a exibição de simulações serviu para que eles observassem a importância da experimentação na ciência e a diferença entre simulação e experiência. Essa atividade, inclusive pode ser melhor explorada para discutir esses aspectos.

Com relação a produção de texto e a produção de vídeo, muitos alunos afirmaram que não gostaram e poucos afirmaram que gostaram de ter realizado. Assim como poucos alunos também falaram que essas atividades pouco contribuíram para o entendimento do conteúdo. Como dito, os alunos – nesse contexto – costumam afirmar que a atividade que mais dá trabalho de ser realizada é que eles menos gostam, pois além de tira-los da zona de conforto, eles são obrigados a pensar e a produzirem e isso costuma ter um nível de dificuldade muito grande. Em relação a produção de vídeo, algumas coisas podem ser modificadas, seria mais proveitoso se o próprio professor entregasse um pré-roteiro aos alunos e não deixassem eles tão livres, isso ajudaria a nortear a produção.

Em contrapartida, os alunos apontaram que gostaram de realizar a atividade de produção de história em quadrinho. Foi uma das atividades que eles realmente se empenharam e fizeram com muito prazer. Nessa atividade eles mostraram que compreenderam as visões newtonianas e leibnizianas de espaço e tempo e que a natureza não fornece evidências que permite uma única interpretação. Essa atividade pode ser mais explorada em outros momentos do curso.

As atividades permitem uma discussão histórico-filosófica dos conceitos de espaço e tempo, porém as que mais se destacaram foram as aulas expositivas, a exibição de vídeos, as leituras de texto e a produção de desenhos e histórias em quadrinho. Nessas atividades, além de apresentar o conteúdo curricular e as leis e teorias científicas, foi possível problematizar o próprio desenvolvimento do conhecimento científico e a natureza do empreendimento científico.

Quadro V. 4 - O que os alunos sentiram ao estudar os conceitos abordados.

Questão 04 – O conteúdo do curso não é normalmente tratado no Ensino Médio. O que você sentiu por ter aprendido/discutido sobre algo tão complexo como os conceitos de espaço e tempo?		
Categoria	**Nº de Alunos**	**Exemplos de respostas**
Gostei	14	*"Gostei, pois senti algo muito bom e meus pensamentos iam bem mais longe que as teorias e conteúdos mostrados."* *"Gostei, por ser algo tão aprofundado em uma matéria tão importante"* *"Eu gostei, aprendi algo que muitos discutem até hoje e isso é legal"* *"Eu achei legal, porque fez refletir sobre como o espaço e tempo são explicados ao longo da história"*
Achei Interessante	4	*"Me senti capaz, é um assunto que desperta de mais o meu interesse."* *"Foi algo interessante, pois é algo que se aplica a nossa vida diária."*
Tive dúvidas	1	*"Dúvidas"*
Achei difícil	2	*"Apesar de ter achado muito avançado, gostei muito"* *"Eu senti que foi meio pesado porque a escola que eu estudava os estudos eram mais fáceis e eu nunca pensei em estudar uma matéria tão complexa assim."*
Não gostei	1	*"Então, foi curioso. Se fosse por escolha eu não descartaria, mas não fui tão fã da matéria, quem sabe um dia eu possa gostar mais."*

Fonte: elaborado pelo autor

Ao perguntar o que eles acharam do curso estudado, 14 alunos disseram que gostaram por diversas questões, dentre as quais porque fez refletir como o espaço e tempo são explicados ao longo da história. 4 alunos acharam interessante, pois são

assuntos que se aplicam na vida diária, dentre outros fatores. 1 aluno respondeu que ficou com dúvidas, 2 que acharam o conteúdo difícil e complexo e 1 que não gostou, pois o conteúdo não o agradou. 3 alunos não responderam à pergunta.

Considerações Finais

Apesar dos conceitos de espaço e de tempo fazerem parte de nossa vida cotidiana e de serem de grande importância para toda a história da Física, eles quase nunca são discutidos nas aulas dessa ciência. Além disso, apesar de haver um esforço por parte de muitos pesquisadores e alguns professores em desenvolver aulas mais contextualizadas, principalmente com um viés histórico-filosófico, grande parte dos educadores ainda apresentam uma visão dogmática da Física, como se os conhecimentos "descobertos" pelos cientistas fossem verdades absolutas prontas e acabadas.

Aliada a transmissão dessa visão inadequada, grande parte das aulas de Física são realizadas com um excessivo formalismo matemático com o objetivo de resolver listas infindáveis de exercícios desse tipo. Não defendemos nesse trabalho que não seja importante a resolução de problemas-situações com a utilização de fórmulas e equações matemáticas, afinal seria um erro fazer isso. No entanto, criticamos o uso excessivo dessa abordagem e a falta de contextualização do conhecimento com o seu processo de construção e desenvolvimento.

Os episódios históricos apresentados na sequência didática desse trabalho, incluindo as atividades didáticas que foram desenvolvidas e aplicadas, permitiram que fosse apresentado aos alunos uma visão de ciência um pouco mais informada. Com isso, foi possível problematizar o processo de construção dos conceitos de espaço e de tempo, seus processos transitórios dentro da Física, as controvérsias, as relações com outras áreas de conhecimento e etc. Isso fez com que grande parte dos alunos percebessem que a ciência não se trata de um produto pronto e acabado, que ela é desenvolvida por homens com crenças e valores diferentes e que ela é integrada socialmente e culturalmente.

Como visto ao longo desse trabalho também, em nenhum momento foi deixado de ser ensinado os conhecimentos curriculares aceitos como comuns, incluindo a Cinemática de Galileu e a Mecânica de Newton. Sendo assim, embora o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro defenda o uso de um viés histórico-filosófico, o que de certa forma favoreceu o desenvolvimento desse trabalho, nada impede que ele seja realizado em outros cenários com um currículo mais tradicional. Por exemplo, o professor pode apresentar aos alunos as equações de movimento de Galileu, mas também mostrar a preocupação que o matemático tinha em representar geometricamente o espaço e o tempo e que isso se deve a visão que o próprio tinha pois estava imerso em uma cultura na qual a técnica da perspectiva havia se desenvolvido através de movimentos artísticos. Com isso, o educador estará abordando

o conteúdo curricular mas também estará contribuindo para que seus alunos possuam uma visão de ciência um pouco mais informada.

Além desse momento histórico, nesse trabalho buscamos sempre realizar aproximações entre o conhecimento científico e o contexto histórico na qual ele foi desenvolvido. No entanto, realizar esse tipo de abordagem não é uma tarefa fácil. Ao longo da realização dessa pesquisa encontramos diversos obstáculos e desafios, muitos deles já citados por diversos pesquisadores da área, mas dois dos problemas que mais se destacaram está relacionado a falta de material didático disponível e a falta de tempo para planejar e executar as aulas. Uma das formas de contornar esse desafio foi desenvolver aulas em slides e produzir pequenos textos para os alunos. Outra atividade que funcionou de maneira positiva foi a realização de atividades lúdicas, tais como a produção de história em quadrinho sobre a controvérsia entre Newton e Leibniz. De acordo com o que observamos na realização dessa atividade, os alunos saíram da zona de conforto, se motivaram e mostraram que compreenderam o que foi abordado.

Não podemos deixar de mencionar que toda a sequência didática apresentada nesta obra, incluindo as atividades realizadas, se trata de indicações que podem e devem ser adaptadas pelo professor para outros cenários. No entanto, defendemos que, independe das modificações que o professor venha a realizar, é importante que ele sempre reflita sobre a visão de ciência que está sendo transmitida aos alunos e que ele se questione sobre o porquê ele está ensinando física. A busca incessante por essa resposta permitirá que ele encontre possibilidades mais adequadas para que seus alunos se tornem mais informados e críticos acerca da ciência e de todo o seu processo de construção.

Referências Bibliográficas

ABD-EL-KHALICK, F. Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. **Science & Education**, 2012.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. The Influence of History of Science Courses on Students "Views of Nature of Science". **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, p. 1057-1095, 2000.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. **Science and Education**, v. 95, p. 518-542, 2011.

AMARAL, M. T. D. Sobre tempo: considerações intempestivas. In: DOCTORS, M. **Tempo dos Tempos**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Jorge ZAHAR Editor, v. 1, 2003. p. 15-33.

BENTES, A. L. Espaço e Tempo em Leibniz: Um estudo a partir da correspondência com Clarke. **Análogos**, Rio de Janeiro, 2010.

BERELSON, B. **Content analysis in communication research**. Glencoe: Editora The Free Press, 1952.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação:** uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto, 1999.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Características da investigação qualitativa. In: BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação:** uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 1994. p. 47-51.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. O papel dos livros didáticos franceses do século XIX na construção de uma concepção dogamático-intrumental do Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, p. 507-522, 2008.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. A FÍSICA EXPERIMENTAL NUMA PERSPECTIVA HISTÓRICO-FILOSÓFICA. In: LUIZ O. Q. PEDUZZI, A. F. P. M. J. M. H. F. **Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino**. Natal: EDUFRN, 2012. p. 211-227. ISBN 978-85-7273-885-9.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. O. **Breve História da Ciência Moderna**. Rio de Janeiro: Zahar, v. I, 2010. 136 p.

BRANDÃO, C. A. L. **Quid Tum?:** O Combate da Arte Em Leon Battista Alberti. [S.l.]: UFMG, 2000. 375 p.

BRASIL. **Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Ministério da Educação; SETEC. Brasília. 2000.

CARVALHO, A. M. P. D.; GIL-PÉREZ, D. **Formação de professores de ciências**. 7ª. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Fiker. São Paulo: Brasiliense, 1997.

CHERMAN, A.; MENDONÇA, B. **Por que as coisas caem?:** Uma história da gravidade. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2010. 245 p.

CONDÉ, M. L. L. Paradigma versus estilo de pensamento na história da ciência. In: CONDÉ, M. L. L. &. F. B. G. **Ciência, história e teoria**. Belo Horizonte: Argvmentvm, 2005. p. 123-146.

CRAWFORD, P. Viagens no Espaço-tempo e Paradoxo dos Gêmeos. **Centro de Astronomia e Astrofísica da Universidade de Lisboa**, Campo Grande, Lisboa, Portugal, n. C8, 2012.

CRESWELL, J. W. **Educational Research:** Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research. 2ª. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2004. 640 p.

CROCHIK, L. **Educação e Ciência como Arte. Aventuras docentes em busca de uma experiência estética do espaço e tempo físicos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. 368 p. Tese (Doutorado).

DI LISCIA, D. A. Johannes Kepler. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, Stanford, 2014. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2014/entries/kepler/>.

DISALLE, R. Space and Time: Inertial Frames. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2009. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/spacetime-iframes/>.

EDGERTON, S. Y. Brunelleschi's mirror, Alberti's window, and Galileo's 'perspective tube'. **Hist. cienc. saude-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 13, 2006. Disponivel em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-59702006000500010&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 5 Junho 2014.

EINSTEIN, A. Sobre a Eletrodinâmica dos corpos em Movimento. In: STACHEL, J. **O Ano Miraculoso de Albert Einstein**. 1ª. ed. [S.l.]: UFRJ EDITORA, 2001. p. 222.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A Evolução da Física**. Tradução de Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. 248 p.

ELIAS, N. **Sobre o tempo.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

ENGEL, G. I. Pesquisa-ação. **Educar**, Curitiba, n. 16, p. 181-191, 2000.

EUA. **American Association for the Advanced of Science - Project 2061 - Science for All Americans**. Oxford University. New York and Oxford. 1990.

FAGUNDES, M. B.; PAPALARDO, S. P. T.; ZANOTELLO, M. **Percepção e representação do espaço:** possíveis abordagens no ensino de física. VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências (ENPEC). Campinas: [s.n.]. 2011.

FICINO, M. Comentários Sobre o Baquete de Platão. Segundo Discurso: Pausânias. In: _____ **Anais de Filosofia Clássica**. Tradução de Andrea Maria Mello e Luziane Perrini. [S.l.]: [s.n.], v. V, 2011.

FLECK, L. **A Genese e Desenvolvimento de um Fato Cientifico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. ISBN 856329906.

FORATO, T. C. D. M. A natureza da ciência como saber escolar: um estudo de caso a partir da história da luz, São Paulo, 2009.

FORATO, T. C. D. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. D. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, p. 27-59, 2011.

FORATO, T. C. D. M.; PIETROCOLA, M.; MARTINS, R. D. A. Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, p. 27-59, 2011.

GALILEI, G. **Argumentos e demonstrações matemáticas em torno de duas novas ciências concernentes à mecânica e aos movimentos locais.** São Paulo: Nova Stella, 1988.

GALILEI, G. **SIDEREUS NUNCIUS - O Mensageiro das Estrelas**. Tradução de Henrique Leitão. 3ª. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2010.

GALILI, I. Promotion of cultural content knowledge through the use of the history and philosophy of science. **Science & Education**, Dordrecht, v. 21, n. 9, p. 1283-1316, 2012.

GALISON, P. **Os Relógios de Einstein e os Mapas de Poincaré:** Impérios do Tempo. Lisboa: Gradiva, 2005.

GIL-PÉREZ, D. et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, 7, 2001. 125-153.

GUERRA, A. et al. A Interdisciplinaridade no Ensino das Ciências a partir de uma Perspectiva Histórico-filosófica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 32-46, 1998.

GUERRA, A. et al. **Galileu e o Nascimento da Ciência Moderna**. São Paulo: Atual Editora, 1998.

GUERRA, A.; BRAGA, M. The Name of the Rose: A Path to Discuss the Birth of Modern Science. **Science & Education**, Dordrecht, v. online, p. 1-13, 2012.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. Abordagem Cultural da Física: discussão sobre o uso de linguagens diferenciadas no Ensino de Ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v. extra, p. 1686-1690, 2013.

HAUSER, A. **História Social da Arte e da Literatura**. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

HIRST, J. **Breve História da Europa**. [S.l.]: Dom Quixote, 2013.

IRZIK, G.; NOLA, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. **Science & Education**, v. 20(7-8), p. 591-607, 2011.

JAMMER, M. **Conceito de espaço:** a história das teorias do espaço na física. Tradução de Tradução por Vera Ribeiro. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Contraponto: PUC-Rio, 2010.

JANSON, H. W. **História da Arte**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

LEDERMAN, N. G. "Students' and Teachers" Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, p. 331-359, 1992.

LEDERMAN, N. G. Nature of science: Past, present, and future. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. **Handbook of research in science education**. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers, 2007. p. 831-879.

MACCOMAS, W. F.; OLSON, J. K. The nature of science in international science education standards documents Kluwer. In: MCCOMAS, W. F. **The nature of science in science education**. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 41-52.

MAIA, C. A. Mannheim, Fleck e a compreensão humana do mundo. In: CONDÉ, N. L. L. **Ludwick Fleck:** estilos de pensamento na ciência. Belo Horizonte: Fino Traço, 2012. p. 51-76.

MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 24, p. 112-131, 2007.

MARTINS, A. F. P. **Tempo Físico:** a construção de um conceito. 1ª. ed. Natal: UFRJ, 2007. 270 p.

MARTINS, A. F. P.; PACCA, J. L. A. Criando um instrumento de análise para avaliação de perfis conceituais relativos ao conceito de tempo. **IX EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Atas do IX Encontro de Pesquisa** , Jaboticatubas (MG), 2004.

MARTINS, A. F. P.; ZANETIC, J. Tempo: esse velho estranho conhecido. **Ciência e Cultura**, São Paulo - SP, 54, 2002. 41-44.

MARTINS, L. A.-C. P. De Maillet e a evolução orgânica no Telliamed: um “precursor” de Lamarck? **Epistemología e Historia de la Ciencia**, 2001. 310-316.

MARTINS, L. A.-C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência e Educação**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 305-317, 2005.

MARTINS, R. D. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, 1990.

MARTINS, R. D. A. Física e História. **Ciencia e Cultura**, São Paulo, v. 57, n. 3, Setembro 2005.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MCCOMAS, W. F. **Seeking NOS standards:** what content consensus exists in popular books on the nature of science? Paper presented at the annual conference of the national association of research in science teaching. Dallas, TX: [s.n.]. Abril 2005.

MCCOMAS, W. F. Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. **Science & Education**, v. 17, p. 249-263, 2008.

MCCOMAS, W. F. The history of science and the future of science education: A typology of approaches to the history of science in science instruction. In: KOKKOTAS, P. V.; MALAMITSA, K. S.; RIZAKI, A. A. **Adapting Historical Knowledge Product**. Rotterdam: Sense Publishers, 2010. p. 37-54.

MEDINA, M.; BRAGA, M. O Teatro como Ferramenta de Aprendizagem da Física e de Problematização da Natureza da Ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 27, 2010. 313-333.

MICHELSON, A. A.; MORLEY, E. W. On the Relative Motion of th Earth and the Luminiferous Ether. **American Journal os Science**, Novembro 1887.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. **As abordagens dos livros didáticos acerca da física moderna e contemporânea:** algumas marcas da natureza da ciência. XI

Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física (EPEF). Curitiba, PR: [s.n.]. 2008.

MORAES, R. Análise de Conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, p. 7-32, 1999. ISSN 37.

NEWTON, I. **Principia - Principios Matemáticos de Filosofia Natural**. 1ª. ed. São Paulo: Edusp, 2002. 325 p.

O'CONNOR, J. J.; ROBERTSON, E. F. Michael Mästlin Biography. **University of St Andrews**, Scotland, Julho 2008. Disponivel em: <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Mastlin.html>. Acesso em: 15 Agosto 2014.

OLIVEIRA, L. A. Imagens do Tempo. In: DOCTORS, M. **Tempo dos Tempos**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, v. 1, 2003. p. 33-68.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, A. P. B. D. História da ciência e ensino de física: uma análise meta-historiográfica. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. **Temas de história e filosofia da ciência no ensino**. 1. ed. Natal: EDUFRN, 2012. p. 41-64.

POJMAN, P. Ernst Mach. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2011. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/ernst-mach/>.

PRAXEDES, G.; PEDUZZI, L. O. Q. Tycho Bhare e kepler na escola: uma contribuição à inserção de dois artigos em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 31, n. 3, 2009.

RABIN, S. Nicolaus Copernicus. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2010. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2010/entries/copernicus/>. Acesso em: 25 Maio 2014.

RAMALHO, G. **Saber Ver a Arte Romântica**. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M. Física e arte: a construção do mundo com tintas, palavras e equações. **Cienc. Cult.**, São Paulo, 57, Setembro 2005.

RONAN, C. A. História Ilustrada da Ciência, 3, 1987.

ROSA, C. A. D. P. **História da Ciência:** Da Antiguidade ao Renascimento Científico. 2ª. ed. Brasília: FUNAG, v. I, 2012.

RUSSELL, B. **História do Pensamento Ociendental**. 2ª. ed. [S.l.]: Ediouro - Sinergia, 2008. 524 p. ISBN 8500007931.

RYNASIEWICZ, R. Visualizações de Newton sobre espaço, tempo e movimento. **The Stanford Encyclopedia of Philosophy**, Stanford, 2014. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/entries/newton-stm>.

SANTAELLA, L. **Matrizes da Linguagem e Pensamento**. [S.l.]: ILUMINURAS, 2001. 432 p. ISBN 8573211520.

SANTOS, J. C. Minkowski, Geometria e Relatividade. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 9, p. 115-131, Março 2010.

SARAIVA, T. Os Relógos de Einstein e os Mapas de Poincaré: Impérios do Tempo. **Anál. Social [online]**, n. n. 179, p. 642-648, 2006. ISSN ISSN 0003-2573.

SEEDUC. **Currículo Mínimo – Física**. Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2012.

SERRES, M. **Atlas**. Paris: Flammarion, 1996.

SMITH, G. Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. **he Stanford Encyclopedia of Philosophy**, 2008. Disponivel em: <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/newton-principia/>.

SOUZA, P. H. D.; ZANETIC, J.; SANTOS, M. E. V. M. D. O Conceito de Espaço no Ensino de Física: Construindo Categorias de análise a luz da epistemologia de Bachelard. **VIII ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas, 2011.

TEIXEIRA, E. S.; PEDUZZI, L. O. Q.; FREIRE JR, O. Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma revisão do debate historiográfio entre Cohen e Westfall. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 27, n. 2, ago 2010. 215-254.

THUILLIER, P. Espaço e Perspectiva no Quattrocento. In: _____ **DE ARQUIMEDES A EINSTEIN:** A face oculta da invenção científica. [S.l.]: Jorge Zahar , 1994.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, p. 443-466, set./dez. 2005. ISSN 3. Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira.

XAVIER, J. P. Os Inventores da Perspectiva. **Boletim da APROGED**, n. 6, p. 13-22, 1998. Disponivel em: <http://hdl.handle.net/10216/62353>.

ZORZO, F. A. A Emergência do Capitalismo Ferroviário na Europa na Segunda Metade do Século XIX: a Implantação da Ferrovia na França, Itália e Espanha. **ANPUH – XXV SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA**, Fortaleza, 2009.

Apêndice

Apêndice 01 – Questionário de sondagem

Colégio Estadual de Magé
Data: _____ / _____ / _____
Professor: Ueslei Reis Disciplina: Física
Aluno(a): _____ Turma: 1009

A CIÊNCIA, O ESPAÇO, O TEMPO E TUDO MAIS !!!!

Caro aluno(a),

ao longo do ano iremos estudar como a Física interpretou e descreveu o movimento dos corpos em diversos momentos históricos. Vamos realizar uma verdadeira viagem no tempo e conhecer diversos cientistas e suas diversas realizações. Além disso, vamos conhecer alguns conceitos que são fundamentais para compreender o estudo do movimento: estou me referindo ao espaço e ao tempo. Então, antes de começar nosso curso, vamos pensar um pouco sobre a ciência e sobre esses conceitos que são tão importantes para a Física e para outras áreas de conhecimento, tais como a Química, a Biologia, a História e a Geografia.



1 – A Física pode ser compreendida como uma ciência que interpreta e descreve fenômenos da natureza. No entanto, existem outras ciências, como a química e a biologia que também descrevem a natureza. Pensando nisso, como você definiria o que significa ciência?

2 – Existem diversos livros, documentários e até filmes que retratam o cientista. Para você, como é realizado o trabalho científico e como os cientistas produzem o conhecimento que estudamos nas aulas de ciência (seja Física, Química ou Biologia)?

3 – Você sempre ouviu falar de tempo e espaço como se fossem as coisas mais comuns do mundo. Então, com base nessa vivência diga o que é o espaço e o tempo para você.

4 – Na região abaixo faça uma representação sobre o espaço e o tempo. Essa representação pode ser um texto, um desenho, um poema, uma música, etc.

Apêndice 02 – Texto 01

Caro aluno,

Neste caderno você vai conhecer um pouco da Ciência desenvolvida por Galileu Galilei. Você vai percorrer a história por trás de todo esse desenvolvimento científico. Além de conhecer o contexto social e os problemas que a Ciência enfrentava naquele período. Você ainda vai conhecer quais eram as concepções de espaço e tempo presentes nas obras de Galileu.

QUEM FOI GALILEU GALILEI?

Como você já viu, durante os séculos XIV, XV e XVI, a Europa sofreu diversas transformações. Essas mudanças ocorreram em diversos setores da sociedade. As artes, o comércio, as técnicas de construções, a filosofia e as ciências foram os setores que mais sentiram essas mudanças. Galileu Galilei (1564-1642) surge em meio a todas essas transformações para contribuir, juntamente com diversos outros cientistas, com o desenvolvimento da chamada **Ciência Moderna**.



RETRATO DE GALILEU GALILEI
AUTOR: Justus Sustermans (1597–1681)

CÊNCIA MODERNA

Foi uma nova forma de produzir conhecimento desenvolvida nos séculos XV, XVI e XVII. Se baseia, principalmente, na utilização da linguagem matemática e na experimentação.

Galileu Galilei foi um matemático italiano que, além de ter realizado diversas observações astronômicas com uma luneta que ele mesmo construiu, realizou vários estudos sobre os movimentos. Foi responsável por diversas modificações na Física medieval que ainda era baseada na física de Aristóteles. Um dos seus objetivos era estabelecer uma nova cinemática para um sistema planetário na qual a Terra não necessitasse estar imóvel no centro do universo. Ao mesmo tempo que buscasse utilizar a experimentação para dar legitimidade a seus argumentos, Galilei também buscava apresenta-los em uma linguagem matemática, algo típico da Ciência Moderna.

AS MOTIVAÇÕES DE GALILEU

A vida científica de Galileu é vastíssima, seus estudos se estenderam desde a matemática e a física até a teologia e a medicina. Por grande parte de sua vida

defendeu o modelo planetário proposto por Nicolau Copérnico, também conhecido como **Sistema Heliocêntrico (ou Heliostático)**.

Neste período, a visão de natureza defendida por grande parte dos pensadores e produtores de conhecimento ainda era a de Aristóteles. Por esse motivo, toda a Física era construída tendo como base o fato da Terra estar imóvel no centro do Universo (**o sistema geocêntrico**). Dessa forma, um dos principais problemas do heliocentrismo é que além de ir contra a ciência aristotélica - algo que era bem estabelecida nesse período - esse modelo trazia novas questões aos produtores de conhecimento da época. Uma dessas perguntas estava relacionada aos movimentos dos corpos. Por esse motivo e por ser um grande defensor do heliocentrismo, Galileu se dedicou a construir uma nova física dos movimentos para um sistema planetário na qual a Terra não precisasse estar parada.

Não podemos dizer que Galileu foi o primeiro a desenvolver uma matemática para estudar os movimentos. Afinal, no século XIV, a geometria do movimento — ou cinemática — já havia se estabelecido como um campo de estudo através de homens como Gerard de Bruxelas, e Nicole D'Oresme. No entanto, não resta dúvidas que Galileu foi um dos pioneiros no estudo do movimento para uma Terra que pudesse estar em movimento.

Galileu ainda aperfeiçoou o telescópio refrator e fez diversas observações que colocavam em xeque a visão aristotélica de um céu perfeito e imutável. Dentre suas observações encontram-se as machas solares, as crateras na lua, as luas de júpiter, as fases de vênus e diversas constelações. No que diz respeito ao estudo do movimento, Galileu introduziu o conceito de referencial, utilizou a lógica matemática e a experimentação para modelar matematicamente a queda dos corpos, explicou o movimento de inércia dos corpos e utilizou essa ideia como um argumento para defender o movimento da Terra.

Nas aulas a seguir você vai ver alguns dos trabalhos de Galileu e como ele defendeu o Sistema Heliocêntrico. Além disso, você também vai ver como Galileu trouxe uma contribuição para a física: a ideia de um tempo matemático que pudesse ser representado através de uma reta geométrica.

QUESTÕES

Considerando as últimas discussões, vamos responder as seguintes questões:

1) Cite os principais motivos que levou Galileu Galilei a construir uma nova Física?
2) Galileu foi o único cientista de seu tempo a propor uma nova ciência? Justifique sua resposta.
3) De que forma Galileu apresentava seus argumentos científicos?
4) Quais foram as observações realizados por Galileu com o telescópio refletor?
5) Quais foram as principais contribuições de Galileu para o estudo do movimento?
6) Você acredita que a Natureza fornece informações que permitem uma única interpretação? Justifique com base no texto.

Apêndice 03 – Texto 02

O TEMPO E O ESPAÇO PARA GALILEU

Caro aluno,

Como você viu anteriormente, na Idade Média, o tempo, apesar de já ser utilizado como uma medida, ainda era considerado por muitos homens da Ciência uma qualidade dos corpos e dos movimentos. Um homem chamado Tomás de Aquino chegou a considerar que existiam três tipos de tempo: o tempo dos homens, o tempo dos anjos e o tempo de Deus.

Com o nascimento da Ciência Moderna, a linguagem da geometria (matemática) começou a ser fortemente utilizada no estudo da natureza. Não podemos esquecer que nessa época a matemática ainda era fortemente pautada na geometria, ou seja, na representação das formas através de figuras geométricas, tais como retas, quadrados, círculos, etc.

Por ser um grande defensor do uso da linguagem matemática na explicação dos fenômenos físicos, Galileu se preocupou em apresentar suas ideias com bons argumentos lógicos e em uma linguagem matemática, ou geométrica. Além disso, ele também se pautava na experimentação. Por esse motivo, possuía uma grande preocupação com a forma que fazia suas medidas, incluindo o próprio tempo.



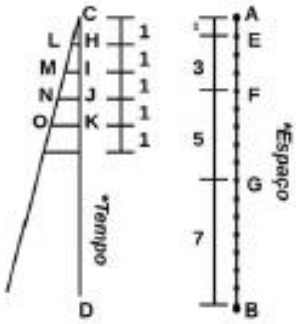
No que diz respeito à medida do tempo, empregávamos um grande recipiente cheio de água, suspenso no alto, o qual, por um pequeno orifício feito no fundo, deixava cair um fino fio de água, que era recolhido num pequeno copo durante todo o tempo em que a bola descia pela canaleta ou por suas partes. As quantidades de água assim recolhidas eram a cada vez pesadas com uma balança muito precisa, sendo as diferenças e proporções entre os pesos correspondentes às diferenças e proporções entre os tempos; e isto com tal precisão que, como afirmei, estas operações, muitas vezes repetidas, nunca diferiam de maneira significativa.
(...) (GALILEU, AS DUAS NOVAS CIÊNCIAS)

Como você viu no texto acima, Galilei tinha uma grande preocupação em realizar medidas precisas do tempo e do espaço, principalmente por acreditar que eles eram quantidades mensuráveis e que a medição precisa do tempo e do espaço seria suficiente para defini-los. Mas Galileu não parou por ai. O tempo apenas como uma medida já era utilizado antes mesmo de Galileu, porém, ele apresentou um significado diferente a este conceito, algo que se afastava da simples noção de medida, ele trouxe a ideia de um tempo matematizado, ou geometrizado.

Além de ter transformado o tempo e o espaço em parâmetros matemáticos, Galileu introduziu a ideia de representar o tempo, o espaço e o movimento através de uma linha geométrica independente uma da outra.



"Assim, se numa linha reta tomarmos uma parte dessa linha como medida de velocidade, do tempo e do espaço nesse tempo percorrido (visto que, para simplificar, estas três grandezas são frequentemente representadas por um mesmo segmento), para determinar a quantidade de tempo e o grau de velocidade..." (GALILEU, 1988, p; 264)



Foi por pensar no tempo como uma **quantidade** que Galileu decidiu representá-lo como um segmento de reta. Já que segundo ele, caso o tempo pudesse ser representado por segmentos, ele (o tempo) poderia ser admitido pela geometria e podendo, com isso, ser matematizado e tratado simbolicamente, por meio da linguagem e das regras da matemática.

Galilei também defendia que o tempo era uma grandeza **contínua** e com **infinitos instantes**. Ou seja, para ele o tempo seria composto por uma infinidade de elementos infinitamente pequenos (os indivisíveis). Resumindo, é com Galileu, que o tempo deixou de ser uma qualidade e ganhou externalidade própria.

QUESTÕES

1. Para você, o que significa o tempo ser uma qualidade dos corpos?
2. O que você entende por tempo geometrizado?
3. Como Galileu representa o tempo e o espaço?
4. Você acredita que conceitos como o tempo e o espaço podem ser interpretados de formas diferentes por diferentes cientistas (ou filósofos)? Defenda seu ponto de vista citando exemplos.

Apêndice 04 – Texto 03

A Unificação da Física dos céus com a Física da Terra

Na segunda metade do século XVII, grande parte da comunidade científica, principalmente os membros das sociedades científicas, já haviam aceitado que a Terra orbitava ao redor do Sol. Isso não era mais um problema. Galileu Galilei, inclusive, já havia desenvolvido a cinemática terrestre e Johannes Kepler desenvolvido as leis do movimento planetário. Porém, apesar dos esforços desses e de tantos outros filósofos naturais da época, ainda faltava uma dinâmica mais sólida para explicar o movimento dos corpos terrestres e celestes, incluindo a queda dos corpos e a órbita dos planetas. Além disso, uma nova questão havia surgido: Será que existe uma equação matemática que consiga explicar a órbita elíptica dos planetas ao redor do Sol?

Diversos filósofos naturais estavam buscando respostas para essas perguntas e Edmundo Halley era um deles. Halley era um astrônomo que se graduou em pela Quuen's College, em Oxford. Ao termino de sua graduação, passou dois anos na ilha de Santa Helena, no Atlântico Sul, para realizar diversas observações astronômicas. Nessa expedição, conseguiu catalogar os astros do hemisfério sul com uma precisão nunca antes alcançadas. Em 1678 foi eleito membro da Royal Society, e em sua vida científica futura chegou a identificar a passagem periódica de um cometa, que desde então leva o seu nome.

Por volta de 1684 o arquiteto Christopher Wren, o astrônomo Robert Hooke e Halley realizaram uma série de discussões sobre a gravidade e a órbita elíptica dos planetas. O problema é que eles não conseguiram demostrar com exatidão a força da gravidade e a órbita dos planetas de uma maneira matemática precisa. Apesar de todos serem defensores da ideia de que a lei do inverso do quadrado poderia explicar as órbitas elípticas de Kepler, eles não conseguiram demonstrá-los. Nesse período, Halley também realizou trocas de correspondências e encontros com Isaac Newton, que por sua vez já havia resolvido o problema da órbita a alguns anos antes, mas não havia publicado esse trabalho. Em uma dessas trocas de correspondências, Halley recebeu um manuscrito de nove páginas que intitulado Sobre o movimento dos corpos giratórios (De motu Corporum in Gyrum, em latim). O pequeno tratado não se tratava do enunciado da lei da gravitação universal e nem tão pouco as três leis para o movimento. No entanto, foi o começo de algo que mais tarde viria a se tornar um estilo de pensamento aceito por muitos cientistas dos séculos seguintes.

Entre os anos de1684 e 1686, Newton se dedicou a rever e ampliar seu pequeno artigo. Para isso, precisou sintetizar todo o trabalho que havia feito vinte anos antes – na época que voltou a fazenda de seus avós, devido a peste – revisando todos os cálculos e ainda coletando novos dados astronômicos. Ao final, o cientista concebeu a primeira versão dos Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, também conhecido como Principia. A obra, publicada em Latim, possuía uma linguagem difícil e fora escrita totalmente em Latim. Apesar dos esforços de Halley em defender a publicação do trabalho de Newton, a Royal Society decidiu não arcar com os custos da publicação. Por esse motivo, Halley acabou custeando a publicação com o seu próprio dinheiro. Em 1687, a obra foi publicada em três volumes. No livro I é exposto uma dinâmica geral para os corpos em ambientes sem nenhum tipo de atrito e resistência. Já o livro II, se preocupava em resolver problemas mais práticos relacionados aos corpos sólidos suspensos em meios fluidos, ou seja, quando existisse atrito e resistência. Mas é no Livro III que Newton realiza uma verdadeira revolução ao realizar uma descrição quantitativa exata dos movimentos dos corpos celestes.

A descrição apresentada no Livro III, toma como base as três leis do movimento e a análise do movimento circular para fornecer uma formulação que media a quantitativa da força centrípeta necessária para desviar um corpo em movimento de seu caminho reto para um determinado círculo. Ao substituir essa formulação (geométrica, na época) na terceira lei de Kepler, Newton pode argumentar dizendo que a força centrípeta que retém os planetas em suas órbitas ao redor do Sol deve diminuir com o quadrado da distância que separa o planeta do Sol, chegando assim a famosa Lei da Gravitação Universal. A lei da Gravitação Universal declara que cada partícula de matéria no universo atrai todas as outras com uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus centros. Essa lei também explica outros fenômenos, como as marés e as órbitas dos cometas e com isso, o trabalho de Newton, em colaboração com os trabalhos de tantos outros cientistas da época, teria finalmente unificado a Física que explica o movimento nos céus com a Física que explica os movimentos na Terra.

Apêndice 05 – Texto 04

O ESPAÇO PARA NEWTON

O ESPAÇO DE NEWTON

Como você já viu nos bimestres anteriores, na Idade Média, o tempo e o espaço eram considerados uma qualidade dos corpos, ou seja, uma característica atribuída aos corpos. No entanto, no início da idade moderna, um movimento artístico contribuiu para o desenvolvimento da chamada ***perspectiva plana***, uma forma de representar o espaço tridimensional em um plano bidimensional. Isso acabou colaborando para que Galileu Galilei geometriza-se o tempo e o espaço para estudar o movimento dos corpos. A geometrização realizada por Galileu fez com que o tempo pudesse ser estudado pelas regras da geometria.

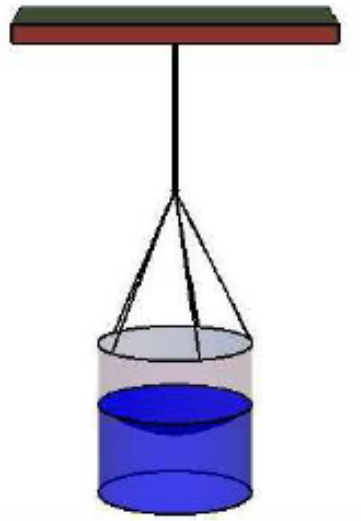
Ao longo do século XVIII, muita coisa aconteceu no meio científico, incluindo a discussão pela existência ou não de uma fórmula matemática que explicasse a órbita dos planetas ao redor do Sol. Com isso, a discussão pela existência ou não existência do espaço e do tempo ficou ainda mais acirrada. Quando Isaac Newton publicou sua obra "*Os princípios matemáticos da Filosofia Natural*", ele apresentou três leis para o movimento dos corpos (Inércia, Dinâmica, Ação e Reação) além da Lei da Gravitação Universal, na qual dizia que todos os corpos que possuem massa se atraem, e com isso conseguiu explicar a órbita planetária.

No entanto, as leis de Newton só fazem sentido em sistemas chamados **inerciais**, ou seja, sistemas que estejam em completo repouso ou em movimento retilíneo e uniforme. Normalmente, quando estudamos os movimentos aqui Terra, tomamos o nosso planeta como se fosse um referencial inercial, mas na prática ele não é assim, visto que está girando ao redor do Sol e em torno do seu próprio eixo. Assim, em última análise, a Terra não é o melhor sistema de referencial para estudar o movimento dos corpos. Ou seja, é preciso determinar (ou encontrar) algo que esteja em completo repouso, ou seja, um sistema que esteja em repouso absoluto.

Para argumentar a favor de suas leis e da existência de um referencial absoluto, Newton apresenta em seu livro um conceito para o espaço. Segundo ele, existiria uma região privilegiada que estaria em completo repouso. Essa região seria o **espaço absoluto**.

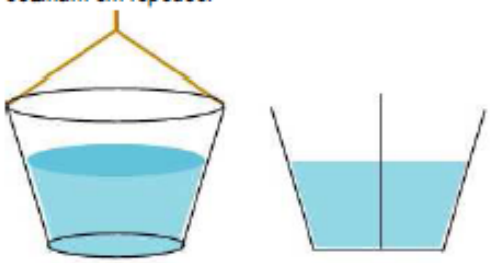
O BALDE DE ROTAÇÃO

Para defender sua ideia de espaço absoluto, Newton apresenta um experimento conhecido como "*Balde de Rotação*". Nesse experimento, um balde contendo água seria posto a girar através de uma corda.



Ao observar o experimento, notaremos a seguinte sequência de situações:

1 - Inicialmente, tanto o balde quanto a água estariam em repouso.



Grandeza absoluta: é aquilo que não depende do ponto de vista nem da existência de um observador. Ou seja, é aquilo que existe por si próprio e por sua própria natureza mantendo sempre as mesmas características, independente de quem o observa.

Grandeza relativa: é tudo aquilo que depende da existência de um ser que o observe, ou seja, suas características dependem da forma que algo ou alguém irá lhe observar.

Veja o seguinte exemplo:
- De acordo com as leis de Newton, o comprimento de uma barra de fero será a mesma, independentemente da existência de alguém que meça essa barra ou até mesmo de quem a meça. Assim, se uma barra de ferro tem dois metros, ela terá sempre dois metros para qualquer observador. Ou seja, o comprimento da barra é algo absoluto.

- O movimento de um corpo é algo relativo, pois depende de quem ou o que você está se referindo. Nesse momento, por exemplo, você está em repouso em relação ao solo (Terra), mas está em movimento em relação ao Sol.

Conhecendo agora a diferença entre o que é absoluto e o que é relativo, Newton defendia que haveria um espaço que fosse absoluto e que existia sem a necessidade de haver corpos ou matéria em seu interior. Assim, o espaço absoluto de Newton seria como um palco à espera do ator.

O ESPAÇO ABSOLUTO E A METAFÍSICA DE NEWTON

Além de estar totalmente de acordo com a Física desenvolvida por Newton, a defesa da existência de um espaço absoluto estava de acordo com a própria visão religiosa (metafísica) do físico. Segundo Newton, o espaço absoluto seria a forma como Deus percebia os corpos no Universo, seria uma espécie de sentido divino. Assim, Deus teria a capacidade de reajustar o universo (assim como um relojoeiro dar corda ao relógio) mantendo os corpos em constante movimento no universo.

Então, além de defender a existência de um espaço absoluto para embasar sua Física, Newton também tinha motivos religiosos para acreditar na existência de um espaço verdadeiro, matemático e absoluto.

QUESTÕES

01 – De acordo com a leitura do texto, para você, o que é um espaço absoluto?

02 – Por quais motivos Newton defendia a existência de um espaço absoluto?

03 – O experimento do "balde de rotação" foi utilizado por Newton para defender que existia um espaço absoluto. Pensando nisso, você acredita que a concavidade da água é prova suficiente da existência do espaço absoluto?

04 – Comente a seguinte frase, indicando se você concorda ou discorda e apresentando uma justificativa:

"O conhecimento humano é uma busca sem fim que leva a resultados provisórios e não a verdades"

05 – ATIVIDADE: Faça uma representação artística (pode ser desenho, pintura, charge, etc) do espaço absoluto de Newton.

Apêndice 06 – Texto 05

A RELATIVIDADE DE ALBERT EINSTEIN: O TEMPO RELATIVO

O século XIX foi marcado pela consolidação da Revolução Industrial e dos desenvolvimento técnicos, tais como a instauração das linhas ferras. O setor metalúrgico, que já vinha se desenvolvendo desde o século anterior, permitiu que as malhas ferroviárias se espalhassem pela Europa, trazendo, com isso, a ideia de modernidade a diversas cidades do continente. Nesse período também, o setor artístico foi marcado pela multiplicação de correntes muito diferenciadas tais como o realismo, o impressionismo, o simbolismo e o pós-impressionismo. A literatura, que também sofreu grandes transformações nesse período, viu o surgimento do ramo literário conhecido como a Ficção Científica e apresentou obras como "A máquina do Tempo" de H.G. Wells.

No meio científico, diversos cientistas estavam tentando entender como o eletromagnetismo (A Física dos imãs, da eletricidade e da luz) se relacionava com as leis de Newton. Além disso, eles também tentavam encontrar um suposto meio pelo qual a luz se propagava, esse meio foi chamado por eles de **éter**. Apesar do éter nunca ter sido encontrado, algo surpreendente foi observado nesses experimentos: a luz sempre apresentava o mesmo valor para a sua velocidade, algo em torno de 300.000.000 m/s. Muitos físicos tentaram explicar esse fenômeno de diversas formas possíveis. Em 1905 Albert Einstein, um jovem que trabalhava no instituto de patente da cidade de Berna, publicou um artigo que alterou profundamente as bases da Física Clássica. Em seu trabalho chamado "A Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento", Einstein apresentou o tempo o espaço de uma forma completamente diferente da adotada pela Física newtoniana tradicional.



Nesse período, devido a expansão das malhas ferroviárias, era necessário relógios mais precisos e sincronizar para que tanto as estações quanto os maquinistas soubessem a hora certa de ir e vir das estações. Caso contrário, eles poderiam sair em horas erradas e acabar causando um acidente, como aconteceu diversas vezes. Por esse motivo, diversos técnicos e engenheiros projetavam diversos relógios e realizavam patentes de suas invenções. Como Einstein trabalhava no instituto de patente, ele teve acesso aos mais variados tipos de relógios, principalmente os eletrônicos. Talvez por esse motivo, o tempo tenha sido um assunto que chamou a atenção de Einstein.

Por se interessar pelo assunto e por tentar resolver alguns problemas racionados ao eletromagnetismo e a luz, Einstein publicou seu trabalho de 1905. Nesse trabalho, ele apresentou novas ideias para o movimento, o tempo e o espaço.

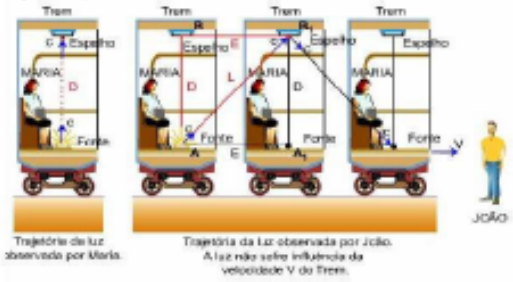
O TEMPO DE NEWTON X O TEMPO DE EISNTEIN

De acordo com a Física de Galileu e de Newton, o espaço e o tempo são grandezas matemáticas, reais, verdadeiras e absolutas. Ou seja, eles existem e não dependem da forma como observamos. Isso significa que eles sempre se apresentam da mesma forma para qualquer observador. Pensando nisso, imagine que estivesse ocorrendo uma partida de futebol na quadra da escola. Se as pessoas que estivessem jogando bola, em movimento em relação a quadra, marcassem 10 minutos de partida, você que está sentado na cadeira lendo esse texto também ia marcar os mesmos 10 minutos. A Física de Newton e de Galileu mostram isso pra você.

Com os trabalhos de Einstein essa ideia mudou completamente, pois o tempo medido pelo jogador seria diferente do tempo medido por você. Assim, se para ele que está em movimento, passasse apenas 10 minutos para você em repouso passaria um tempo completamente diferente. A mesma coisa aconteceria com o espaço, supondo que você estivesse parado em uma estação e por acaso decidisse medir o comprimento de um trem. Se o trem estivesse em repouso e você utilizasse uma régua para isso você encontraria um comprimento igual a 200 metros, por exemplo, mas se o trem estivesse em movimento e você se mantivesse em repouso do lado de fora, você mediria um comprimento menor que os 200 m. Ou seja, o espaço e o tempo para Einstein passou a ser algo relativo que depende do ponto do estado de repouso ou de movimento do observador.

Devido aos problemas envolvendo a Física do século XIX, Albert Einstein postulou que a velocidade da luz era absoluto, ou seja, não importasse a forma como você observasse a luz ela sempre teria uma velocidade aproximadamente igual a 300.000.000 m/s. Isso ia totalmente contra a Física de Newton e a de Galileu, pois segundo eles, a velocidade dos corpos é algo relativo enquanto que o espaço e o tempo são coisas absolutas. No entanto, se a velocidade da luz é absoluta, o tempo e o espaço tem que ser relativos.

Vamos pensar no seguinte caso: imagine um trem em movimento. Se uma pessoa no interior do trem emitisse um feixe de luz para cima através de uma lanterna. Se no teto tivesse um espelho, a luz ia subir e depois ia voltar. Para um observador que se encontra no interior do trem, ele veria a luz subindo e descendo. Mas para um observador que se encontra do lado de fora, ia ver a luz subindo de descendo em forma de uma diagonal. Como a luz teria a mesma velocidade para ambos os observadores, o tempo medido para a luz fazer essas trajetórias por alguém que se encontra no lado de fora do trem seria diferente do tempo medido por alguém que está dentro do trem.



De acordo com as equações de Einstein, a pessoa que está fora do trem ia medir um tempo diferente da pessoa que mediu dentro do trem. Para ser mais exato, o tempo medido por alguém que está fora do trem seria maior do que o tempo medido por alguém que está dentro do trem. Ou seja, o tempo passaria mais devagar para alguém que está no interior do trem em movimento. Assim, quanto maior for a velocidade do trem, maior será essa diferença na passagem de tempo. Assim, se um trem (fictício) estivesse viajando a uma velocidade incrivelmente alta, algo muito perto da velocidade da luz, e uma pessoa em seu interior medisse o tempo igual a 10 minutos. O tempo medido por alguém que estivesse do lado de fora seria algo extremamente grande, podendo ser horas, dias ou até mesmo anos. Seria quase uma viagem no tempo para quem estivesse no interior do trem.

Supondo agora que você tivesse um irmão gêmeo. Se o seu irmão gêmeo fosse viajar através do espaço com uma velocidade espacial com a capacidade de ser movimentar com uma velocidade incrivelmente alta. Supondo que seu irmão viajasse por cerca de 5 anos, quando ele voltasse só estaria 5 anos mais velho, mas para você teria passado muito mais tempo, muito mais tempo mesmo. Ou seja, você estaria mais velho que o seu irmão gêmeo. Isso porque de acordo com a relatividade de Galileu, o tempo se dilata, ou seja, ele se estende dependendo do ponto de vista do observador.

Mas só temos um problema com esse exemplo. Se o seu irmão olhasse para a Terra através da janela da nave, ele veria a Terra se afastando dele. Ou seja, no ponto de vista dele, quem estaria em movimento seria você (juntamente com a Terra). Sendo assim, no ponto de vista dele, o tempo passaria mais devagar para você que ficou aqui na Terra. Assim, quando ele voltasse para a Terra seria ele quem estaria mais velho e não você. Ou seja, isso acaba virando um paradoxo, já que afinal, qual dos dois envelheceria mais? Como explicar isso? Isso é algo que veremos na próxima aula.

Perguntas:

1 - Para você, o conceito de tempo é algo que não muda ao longo da história? Justifique.

2 – Em quais características o tempo de Einstein é diferente do tempo apresentado por Newton e Galileu?

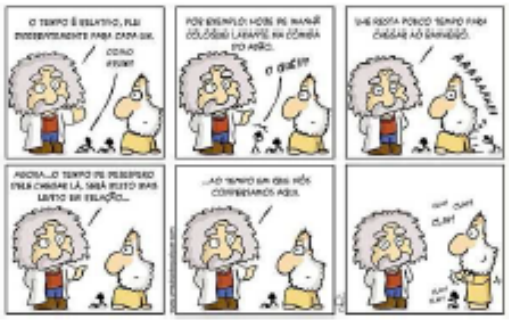
3 – De acordo com a Relatividade de Einstein, é possível viajar no tempo? Para o Futuro? Para o passado? Por quê?

4 – Você acredita que a Ciência é transitória, ou seja, que se altera ao longo da história? Justifique citando exemplos.

5 – Você acredita que o contexto histórico que Einstein vivia colaborou para que ele desenvolvesse a Teoria da relatividade ou ele teria desenvolvido de qualquer forma? Justifique.

6 – Com suas palavras, tente encontrar uma explicação para o caso do paradoxo dos gêmeos?

7 – Faça uma breve texto relacionando a tirinha abaixo com a Relatividade de Einstein.



Apêndice 07 – Fotos









