

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

Centro de Ciências Biológicas e da Natureza

Diego Rodrigues de Souza

**UMA CONSTRUÇÃO DIDÁTICA DO CONCEITO DE ESPAÇO-TEMPO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA VISANDO ALFABETIZAÇÃO
CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO**

Rio Branco, Acre
Dezembro de 2019

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UMA CONSTRUÇÃO DIDÁTICA DO CONCEITO DE ESPAÇO-TEMPO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA VISANDO ALFABETIZAÇÃO
CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO

Diego Rodrigues de Souza

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

Orientador:
Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva

Rio Branco, Acre
Dezembro de 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- S729c Souza, Diego Rodrigues de, 1991-
Uma construção didática do conceito de espaço – tempo da teoria da relatividade restrita visando alfabetização científica no ensino médio / Diego Rodrigues de Souza; orientador: Dr. Marcelo Castanheira da Silva. – 2019.
158 f.: il.; 30 cm.
- Mestrado (Dissertação) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), Rio Branco, 2019.
Inclui referências bibliográficas e apêndices.
1. WebQuest. 2. Teoria da relatividade. 3. Ensino híbrido. I. Silva, Marcelo Castanheira da (orientador). II. Título.

CDD: 530

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-119/882.

UMA CONSTRUÇÃO DIDÁTICA DO CONCEITO DE ESPAÇO-TEMPO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA VISANDO ALFABETIZAÇÃO
CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO

Diego Rodrigues de Souza

Orientador:

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva

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

Aprovada por:

Prof. Dr. Marcelo Castanheira da Silva
(Presidente da banca / UFAC – Rio Branco)

Prof. Dr. Eduardo de Paula Abreu
(Membro titular interno / UFAC – Rio Branco)

Prof. Dr. Wytler Cordeiro dos Santos
(Membro titular externo / UnB – Brasília)

Prof. Dra. Bianca Martins Santos
(Membro suplente interno / UFAC – Rio Branco)

Prof. Dr. Ariel Adorno de Sousa
(Membro suplente externo / Unir – Porto Velho)

Rio Branco, Acre
Dezembro de 2019

Dedicatória

À minha família.

Àqueles que tive a honra de ensinar e, com isso, também aprender, nesses quase dez anos de atividade docente.

Àqueles (as) alunos (as) que ainda auxiliarei com o ensino da física.

Aos (Às) professores (as) de nosso país.

Agradecimentos

À minha mãe, Maria Aparecida; ao meu pai, Célio; ao meu filho, Lucas Gabriel; e à minha irmã, Rhaissa. Eles são o motivo para que eu queira melhorar sempre.

À minha namorada, Adrielen, que amo tanto, pelo auxílio motivacional, de revisão do trabalho e de traduções.

Aos amigos, em especial ao Renan pela parceria durante as viagens por causa do mestrado.

Ao meu orientador, Marcelo Castanheira da Silva, pela paciência, pelos conselhos, pela liberdade e pela coragem de me aceitar como seu orientando quando pouco nos conhecíamos.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pelo apoio e coordenação do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

Aos professores do MNPEF – UFAC, especialmente à coordenadora Bianca Martins Santos pela acolhida e ao professor Eduardo de Paula Abreu pelos bons comentários da qualificação.

Aos professores do MNPEF – UnB, que muito contribuíram para minha formação. Em especial, cito o professor Wytler Cordeiro dos Santos, que sempre me incentivou.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela contribuição financeira.

“Parece necessário se interrogar
sobre a ausência de interrogação.”

Pierre Bourdieu

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo ensinar a moderna concepção de espaço-tempo da Teoria da Relatividade Restrita para estudantes do terceiro ano do ensino médio a partir de uma perspectiva de alfabetização científica. Para tanto, criamos um produto educacional composto por um material didático escrito e por uma *WebQuest*. O material didático escrito, que aborda temas de física, história e filosofia da ciência, está fundamentado na teoria da transposição didática de Yves Chevallard e nos princípios de Jean-Pierre Astolfi e Michel Develay. Por sua vez, a *WebQuest* discute o dispositivo tecnológico Sistema de Posicionamento Global (GPS), relacionando-o aos conteúdos do material didático escrito e as questões sociais. Após o planejamento do produto educacional, implementamos uma sequência de ensino guiada pelo modelo de laboratório rotacional do ensino híbrido. Dessa forma, utilizando dados proveniente de gravações em áudio, registros fotográficos, questionário, diário de campo do professor e documentos produzidos pelos próprios estudantes, encontramos grande motivação para a aprendizagem, boa receptividade com o ensino híbrido, relevante potencial do material didático escrito e da *WebQuest*, enquanto ferramentas para o ensino do desenvolvimento da noção de espaço-tempo da mecânica relativística e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia. Por esses resultados, acreditamos ter alcançado o objetivo exposto inicialmente e, em razão disso, o começo de uma formação libertadora diante da realidade dos indivíduos.

Palavras-chave: Ensino de Física. Espaço-tempo de Einstein. Física Moderna e Contemporânea. Alfabetização Científica e Tecnológica. História e Filosofia da Ciência.

ABSTRACT

This paper aims to teach the modern space-time conception of the Theory of Restricted Relativity for third year high school students from a scientific literacy perspective. To this end, we created an educational product composed of written teaching material and a WebQuest. The written didactic material, which deals with subjects of physics, history and philosophy of science, is based on the theory of didactic transposition of Yves Chevallard and on the principles of Jean-Pierre Astolfi and Michel Develay. In turn, WebQuest discusses the Global Positioning System (GPS) technology device, relating it to the contents of written teaching material and social issues. After educational product planning, we implemented a teaching sequence guided by the rotational laboratory model of hybrid education. Thus, using data from audio recordings, photographic records, questionnaire, teachers' field diary and documents produced by the students themselves, we found great motivation for learning, good receptivity to hybrid teaching, relevant potential of written didactic material and WebQuest, as tools for teaching the development of the space-time notion of relativistic mechanics and critical-reflexive positions in relation to science and technology. From these results, we believe we have achieved the objective set out above and, as a result, the beginning of a liberating formation in the face of the reality of individuals.

Keywords: Physics Education. Space-time of Einstein. Modern and Contemporary Physics. Scientific and Technological Literacy. History and Philosophy of Science.

Lista de Abreviações e Siglas

AC: Alfabetização Científica.

CCS: Campus Cruzeiro do Sul.

CTSA: Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

EM: Ensino Médio.

FMC: Física Moderna e Contemporânea.

GPS: Sistema de Posicionamento Global.

HFC: História e Filosofia da Ciência

IFAC: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre.

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

NdC: Natureza da Ciência.

NTIC: Novas Tecnologias da Informação e Comunicação.

PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais.

TRR: Teoria da Relatividade Restrita.

TTD: Teoria da Transposição Didática.

VDC: Visões Deformadas da Ciência.

Lista de Figuras

Figura 1: ímã em movimento em relação à bobina parada (a) e bobina em movimento em relação ao ímã parado (b).	30
Figura 2: uma experiência mental sobre simultaneidade.	31
Figura 3: esquema das situações do experimento mental de dilatação do tempo.	32
Figura 4: fator de Lorentz em função da razão das velocidades u/c	34
Figura 5: esquema das situações do experimento mental de contração do comprimento.	35
Figura 6: (a) constelação GPS (as linhas representam os planos orbitais) e (b), segmentos do sistema.	38
Figura 7: cones de atuação de cada satélite formando os pontos de intersecção: a) apenas um satélite, b) dois satélites, c) três satélites.	39
Figura 8: registros fotográficos da primeira e segunda etapas da implementação da sequência de ensino híbrida.	64
Figura 9: exemplo um de dissertação desenvolvida por um grupo de até três alunos. .	69
Figura 10: exemplo dois de dissertação desenvolvida por um grupo de até três alunos.	70

Lista de Gráficos

Gráfico 1: respostas à questão um do questionário do Apêndice C.	60
Gráfico 2: respostas à questão dois do questionário do Apêndice C.....	62
Gráfico 3: respostas à questão três do questionário do Apêndice C.....	63
Gráfico 4: respostas à questão quatro do questionário.	64
Gráfico 5: respostas à questão cinco do questionário do Apêndice C.....	65
Gráfico 6: respostas à questão seis do questionário do Apêndice C.	68

Lista de Quadros

Quadro 1: número de dissertações, teses ou artigos por assunto de interesse.	44
Quadro 2: informações de obras sobre o ensino de TRR em aulas de física do EM. ...	45
Quadro 3: informações de obras sobre o ensino híbrido em aulas de física do EM.	49
Quadro 4: informações de obras sobre AC em aulas de física do EM.....	51
Quadro 5: estrutura da sequência de ensino com objetivos específicos, conteúdos e recursos didáticos dos encontros.	56

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 1: A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	19
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 O PRODUTO EDUCACIONAL	21
3.1.1 O MATERIAL DIDÁTICO ESCRITO: A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA COMO ASSUNTO E O TRATAMENTO DA NATUREZA DA CIÊNCIA.....	21
3.1.2 O ALICERCE DO MATERIAL DIDÁTICO ESCRITO: A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD E OS PRINCÍPIOS DE ASTOLFI E DEVELAY	23
3.1.3 A <i>WEBQUEST</i> : DEFINIÇÃO, RECEITA E RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE NO ENSINO MÉDIO	26
3.1.4 A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: OS POSTULADOS, A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE, DOS INTERVALOS DE TEMPO E DO COMPRIMENTO E O GPS	28
3.2 A SEQUÊNCIA DE ENSINO: UMA POSSIBILIDADE DE USO DO PRODUTO EDUCACIONAL A PARTIR DO ENSINO HÍBRIDO.....	40
CAPÍTULO 4: REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....	43
4.1 GRUPO 1: SOBRE O ENSINO DE TRR	44
4.2 GRUPO 2: SOBRE O ENSINO HÍBRIDO.....	49
4.3 GRUPO 3: SOBRE A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	50
CAPÍTULO 5: METODOLOGIA	54
5.1 QUANTO AO PRODUTO EDUCACIONAL	54
5.2 QUANTO À SEQUÊNCIA DE ENSINO	55
5.3 QUANTO À COLETA E ANÁLISE DE DADOS	58
CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE A – Produto Educacional	84
APRESENTAÇÃO	87
1. OS RAIOS CÓSMICOS E A VIDA MÉDIA DO MÚON	89
1.1 OS RAIOS CÓSMICOS E O CHUVEIRO AÉREO EXTENSO.....	89
1.2 O PROBLEMA DA VIDA MÉDIA DO MÚON.....	92
2. A UNIFICAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO E DA ÓTICA POR MAXWELL.....	94
2.1 A INVENÇÃO DA PILHA ELÉTRICA E A FUNDAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO POR OESTERD E AMPÈRE	94
2.2 A NOÇÃO DE CAMPO, LINHAS DE CAMPO E A GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA A PARTIR DE CAMPOS MAGNÉTICOS VARIÁVEIS DESCOBERTA POR FARADAY	97
2.2.1 A GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA A PARTIR DE CAMPOS MAGNÉTICOS VARIÁVEIS DESCOBERTA POR FARADAY	98
2.2.2. A NOÇÃO DE CAMPO E LINHAS DE CAMPO	99

2.3 A LUZ: ENTRE A TEORIA CORPUSCULAR E A TEORIA ONDULATÓRIA.....	100
2.4 A SÍNTESE MAXWELLIANA: A UNIFICAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO E DA ÓTICA	102
3. A VELOCIDADE CONSTANTE DA LUZ E A NÃO-INVARIÂNCIA DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL NAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU	111
4. AS TENTATIVAS DE DETECÇÃO DA VELOCIDADE DA TERRA EM RELAÇÃO AO ÉTER, A CONTRAÇÃO DE LORENTZ-FITZGERALD PARA O ESPAÇO E AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ	116
4.1. O ÉTER E AS TENTATIVAS DE SUA DETECÇÃO	116
4.2. A CONTRAÇÃO DO ESPAÇO DE LORENTZ-FITZGERALD E AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ	118
4.2.1. O PROBLEMA DA VELOCIDADE DA LUZ E A CONTRAÇÃO DO ESPAÇO IDEALIZADA POR LORENTZ E FITZGERALD	118
4.2.2. AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ	119
5. O PROBLEMA DA ELETRODINÂMICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO E A MUDANÇA DE CONCEPÇÃO ACERCA DE ESPAÇO E TEMPO	123
5.1 EINSTEIN E O PROBLEMA DA ELETRODINÂMICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO.....	123
5.2. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA	124
5.2.1. OS POSTULADOS.....	124
5.2.2. A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE	125
5.2.3. A RELATIVIDADE DOS INTERVALOS DE TEMPO	127
5.2.4 A RELATIVIDADE DOS COMPRIMENTOS	130
5.2.5. A MUDANÇA DE CONCEPÇÃO ACERCA DE ESPAÇO E DE TEMPO A PARTIR DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA (TRR)	132
6. O PROBLEMA DO TEMPO DE VIDA MÉDIA DO MÚON	135
7. A INCOMPATIBILIDADE DOS CONCEITOS DE ESPAÇO E DE TEMPO NAS TEORIAS NEWTONIANA E EINSTEINIANA SEGUNDO THOMAS S. KUHN	141
ANEXO – GABARITOS.....	148
APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido e termo de responsabilidade do pesquisador	150
APÊNDICE C - PESQUISA DE OPINIÃO SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL E A SEQUÊNCIA DE ENSINO.....	155

INTRODUÇÃO

Publicações na área de Ensino de Ciências (FOUREZ, 1995; PÉREZ et al., 2001; FOUREZ, 2003; CACHAPUZ et al., 2011) têm apontado a necessidade de romper com o ensino propedêutico e com a transmissão de conteúdos descontextualizados e de práticas de ensino ultrapassadas que, somadas a outros fatores, pouco contribuem para uma aprendizagem crítica e emancipatória como a concebida por Freire (2009, p. 11). Essas condutas são entendidas como um dos principais obstáculos aos movimentos de renovação no ensino de ciências que tentam, cada um à sua maneira, e a nosso ver, apresentar-se como instrumento de distribuição de capital cultural em uma tentativa de diminuição de violência simbólica, na perspectiva bourdieusiana (BOURDIEU e PASSERON, 1992), daqueles que possuem o domínio da opinião pública sobre os “sem cultura científica”.

Dentre esses movimentos de democratização do ensino, há a Alfabetização Científica (AC), que Auler (2003), Auler e Delizoicov (2001), Chassot (2003), Sasseron e Carvalho (2011) e muitos outros demonstram ter amplo espectro de conceitos, muito embora possuam um objetivo em comum: a consciente, autêntica e sólida participação de cidadãos na busca de soluções para questões que envolvem ciência, tecnologia e a relação dessas duas com problemas sociais e com o ambiente.

Apesar de perceberem a amplitude de significados da AC, Sasseron e Carvalho (2008) afirmam a existência de três eixos estruturantes, isto é, três pontos que são mais considerados para obtê-la. A lista é constituída por (1) compreensão básica de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais, (2) compreensão da Natureza da Ciência (NdC) e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática e (3) entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA).

Dentro do primeiro pilar, uma frente que tem avançado desde a década de 1970 é a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio (EM) (OSTERMANN e MOREIRA, 2000). A saber, em 1992, Terrazzan já criticava a densidade de conteúdos escolares sobre a física desenvolvida entre os séculos XVII e XIX e lançava luz sobre a relevância do conhecimento sobre FMC na percepção do mundo criado pelo homem atual. Passados tantos anos, recentemente, trabalhos (OSTERMANN e MOREIRA, 2000; OLIVEIRA et al., 2007; PEREIRA e OSTERMANN, 2009; RODRIGUES, 2011) corroboraram a necessidade e a

importância do ensino de FMC para formar cidadãos críticos e reflexivos diante de situações-problema envolvendo ciência.

No tocante ao segundo pilar, acerca do tratamento de NdC e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática, de importância consensual (BOAS et al., 2013), diversos pesquisadores têm enxergado com preocupação a prática e a transmissão de Visões Deformadas da Ciência (VDC) no ambiente escolar (FOUREZ, 1995; HARRES, 1999; PÉREZ et al., 2001; PRAIA et al., 2007; CACHAPUZ et al., 2011). Essa sensação é amparada na relação direta entre VDC e consequências sociais, tais como a falta de engajamento de cidadãos em problemas relacionados à ciência, à tecnologia e ao ambiente, a crença no cientificismo e a possibilidade de tecnocracia devido, entre outros motivos, a um ensino que não abranja a compreensão dos modos pelos quais o conhecimento científico foi e é construído.

De forma objetiva, Pérez et al. (2001) elencam as seguintes VDC:

- Concepção empírico-indutivista e atórica, ou seja, concepção que se destaca pela crença no papel neutro da observação e da experimentação, esquecendo-se das hipóteses e das teorias orientadoras da investigação.
- Visão rígida, que é a visão de que a ciência é algorítmica, exata e infalível.
- Visão aproblemática e ahistórica, que se caracteriza por transmitir os conhecimentos já elaborados sem mostrar os problemas que lhe deram origem, sua evolução e as dificuldades encontradas.
- Visão exclusivamente analítica, que destaca a necessária divisão dos estudos, o seu caráter limitado e simplificador.
- Visão acumulativa de crescimento linear, ou seja, a visão de que o desenvolvimento científico aparece como fruto do crescimento puramente acumulativo, aquém das crises e das remodelações profundas.
- Visão individualista e elitista, em que os conhecimentos científicos aparecem como obras de gênios isolados, ignorando-se o papel do trabalho coletivo e dos intercâmbios entre equipes.
- Visão socialmente neutra da ciência, em que se esquece das complexas relações CTSA e proporciona-se uma imagem errada dos cientistas como seres acima do bem e do mal.

Considerando-se o exposto até aqui, acreditamos na possibilidade de alfabetizar cientificamente ou, pelo menos, melhorar o ensino de física com discussão de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos sobre tópicos de FMC, com tratamento de

VDC para uma mais acertada compreensão da NdC e com possíveis debates das relações entre CTSA, relativa ao terceiro eixo estruturante. Isso, caso relacionemos conteúdos de física com história e filosofia da ciência (HFC) e Novas Tecnologias da Informação e da Comunicação (NTIC) em sala de aula, mesmo que trabalhos puguem a dificuldade de se transpor didaticamente os dois primeiros conteúdos (MARTINS, 1990) ou discutam a dificuldade em se conciliar tais ramos do conhecimento sob um horizonte interdisciplinar (SILVA e MARTINS, 2009).

Fundamentados nessa crença, criamos um material didático escrito com inspiração na Teoria da Transposição Didática (TTD) de Chevallard (1991) e em princípios elencados por Astolfi e Develay (1995) e uma atividade de *WebQuest*, que é uma tarefa de consulta orientada em que pelo menos parte do conteúdo buscado está na *internet*. Ambos compõem nosso produto educacional e servirão como suportes para a implementação de uma sequência de ensino inspirada no chamado ensino híbrido (BACICH et al., 2015), com o propósito de ensinar a moderna concepção de espaço-tempo a partir do processo de superação da física newtoniana pela Teoria da Relatividade Restrita (TRR) em uma expectativa de alfabetizar cientificamente.

Para tanto, no material didático escrito, apresentamos informações gerais sobre múons, que são partículas elementares com carga semelhante e massa maior que a do elétron, e problematizamos a existência dos mesmos em altitudes de nível do mar, algo que contraria as leis da mecânica newtoniana em virtude de suas altíssimas velocidades, por meio da seguinte questão: como explicar o decaimento dos múons em altitudes próximas à do nível do mar se a previsão newtoniana era de que isso deveria acontecer em altitudes maiores?

Com a disposição de elaborar uma resposta à questão, abordamos as seguintes temáticas em sequência:

- A unificação do eletromagnetismo e da ótica por Maxwell.
- A velocidade constante da luz e a não-invariância das equações de Maxwell nas transformações de Galileu.
- As tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter, a contração de Lorentz-Fitzgerald para o espaço e as transformações de Lorentz.

Perto do fim,

- Apresentamos a reinterpretação de Albert Einstein ao problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento.

E como desfecho, exploramos:

- Um retorno ao problema de vida média do múon.
- A incompatibilidade dos conceitos de espaço e tempo e espaço-tempo nas teorias newtoniana e einsteiniana segundo Thomas S. Kuhn.

Já na tarefa de consulta orientada na *internet*, lançamos luz sobre as relações entre o conteúdo examinado de TRR contido no material didático escrito e um produto tecnológico resultante da mesma, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), ainda que seu funcionamento também precise de correções de relatividade geral. Acerca deste aparato, colocamos em pauta dados de sua criação, o seu princípio de funcionamento, a necessária correção espaço-temporal para sua tamanha precisão, algumas aplicações gerais e uma discussão relativa ao direito de privacidade de todo cidadão, tendo em vista que, pelo uso da referida tecnologia, grandes corporações mundiais detêm informações confidenciais acerca da posição real de indivíduos em todo o tempo.

Construído o produto educacional, implementamos a sequência de ensino guiada pelo modelo de laboratório rotacional do ensino híbrido. Essa intervenção didática junto a alunos do terceiro ano do curso técnico em agropecuária integrado ao EM permitiu uma análise de dados que ajudasse em uma reflexão crítica sobre a motivação para a aprendizagem, a efetividade da aprendizagem acerca da construção do conceito de espaço-tempo da TRR com um viés de AC devido ao uso do material didático escrito e da *WebQuest* e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia. Para tanto, os instrumentos utilizados foram gravações em áudio, registros fotográficos, questionários, diário de campo do professor e documentos produzidos pelos próprios estudantes.

CAPÍTULO 1: A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A seguir, no segundo capítulo, destacamos os objetivos geral e específicos do trabalho. No terceiro capítulo, desenvolvemos uma fundamentação teórica sobre o material didático escrito, o que inclui o breve detalhamento da TTD de Chevallard (1991) e dos princípios elencados por Astolfi e Develay (1995), o apontamento da definição e da receita para se criar uma *WebQuest* e a apresentação da teoria física utilizada no produto educacional colocando em pauta detalhes sobre a relação entre a TRR e o GPS. Neste capítulo, também salientamos o laboratório rotacional do ensino híbrido como uma possibilidade metodológica para a implementação de nosso produto educacional. No quarto capítulo, realizamos uma revisão da bibliografia, quer dizer, discutimos trabalhos empíricos sobre a TRR, o ensino híbrido e a AC no ensino de física do EM. No quinto capítulo, escrevemos sobre as metodologias utilizadas para a criação do produto educacional, para a implementação da sequência de ensino e para a coleta e análise de dados. No sexto capítulo, é feita uma análise de dados. Por fim, no sétimo capítulo, desenvolvemos as considerações finais do trabalho.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

Para maior organização, indicamos os objetivos geral e específicos de nosso trabalho separadamente:

2.1 OBJETIVO GERAL

- Ensinar alunos de terceiro ano do EM a moderna concepção de espaço-tempo em termos de dilatação do tempo e contração espacial da TRR em um viés de AC ao utilizar um produto educacional constituído de material didático escrito mais *WebQuest* e uma sequência de ensino híbrida.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um material didático escrito fundamentado na TTD de Chevallard (1991) e dos princípios especificados por Astolfi e Develay (1995), tratando do processo de superação da física newtoniana pela TRR em uma perspectiva de AC.
- Criar uma *WebQuest* que complemente o material didático escrito lançando luz sobre possíveis relações entre CTSA a partir da TRR, do GPS e do direito de privacidade de todo cidadão.
- Implementar uma sequência de ensino híbrida baseada no laboratório rotacional utilizando a soma material didático escrito mais *WebQuest*.
- Verificar motivação para a aprendizagem, potencial do material didático escrito e da *WebQuest* enquanto ferramentas para o ensino da TRR com um viés de AC e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia.

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresentamos a seguir um aprofundamento teórico tanto sobre a criação do material didático escrito com o intuito de ensinar a moderna concepção de espaço-tempo a partir do processo de superação da física newtoniana pela TRR como acerca da *WebQuest*, que desvela aspectos entre CTSA a partir da TRR, do GPS e do direito de privacidade de todo cidadão. Além disso, realizamos um detalhamento de nuances do ensino híbrido.

3.1 O PRODUTO EDUCACIONAL

3.1.1 O MATERIAL DIDÁTICO ESCRITO: A FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA COMO ASSUNTO E O TRATAMENTO DA NATUREZA DA CIÊNCIA

Ostermann e Moreira (2000), em uma revisão da literatura, observam frequência na exposição de vários argumentos em prol da inserção da FMC no currículo médio. A seguir, alguns deles: desperta a curiosidade, motiva por sua beleza e atualidade, ajuda no reconhecimento da física como um empreendimento humano, protege do obscurantismo, das pseudociências e das charlatanias pós-modernas, auxilia na localização do ser humano na escala espaço-temporal da natureza, possui múltiplas consequências tecnológicas, proporciona a superação de barreiras epistemológicas fundamentais para o conhecimento do indivíduo sobre a natureza e conecta o estudante com a sua própria história.

No entanto, o objetivo de se implementar FMC no ensino básico não é tarefa fácil, esbarrando em vários fatores como a formação precária dos professores de física e/ou a ministração de aulas por professores de áreas afins; a abstração necessária para seu entendimento; a inabilidade de professores e/ou alunos com tópicos de matemática avançada e a complexidade da transposição didática (TERRAZZAN, 1992; BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005). Outro motivo, ratifica Monteiro e Nardi (2008), é a insuficiente tradição de conteúdos de FMC em livros didáticos, como se verifica, a título de exemplo, em Bonjorno et al. (2011), Silva e Filho (2010) e Sampaio e Calçada (2005).

Ora, uma das maneiras de suprir esta carência é a criação de um material didático escrito que, inclusive, vá além do que comumente os livros didáticos ofertam e possibilite formação de alunos quanto às premissas da AC. Sobretudo no primeiro aspecto, já existem trabalhos que intencionam serem ferramentas de auxílio ao

professor, como os desenvolvidos pelo programa de pós-graduação em ensino de física, do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul¹ e pelo Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria², que se mostram úteis e bem-sucedidos

Com relação a esses e outros empreendimentos de inclusão da FMC no ensino básico, Ostermann e Moreira (2000) percebem três vertentes de abordagens metodológicas: (1) exploração dos limites dos modelos clássicos, (2) não utilização de referências aos modelos clássicos e (3) escolha de tópicos essenciais.

Em nosso trabalho, assim como em outros realizados acerca da TRR (WOLF e MORS, 2005; CARUSO e FREITAS, 2009; GUERRA et al., 2010), tema vinculado à mudança de concepção sobre espaço e tempo, aproveitaremos a primeira concepção. Isto, em larga medida, porque desejamos a promoção de um produto educacional que auxilie no ensino e na aprendizagem das concepções de espaço e tempo utilizando como essência a discussão de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais da transição da mecânica newtoniana para a mecânica relativística, o tratamento da NdC por meio da problematização de VDC e a procura por relações entre CTSA.

Sobre o tratamento da NdC em sala de aula, é notável a importância da história da ciência. Matthews (1995) assevera:

a) Motiva e atrai os alunos; b) humaniza a matéria; c) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; d) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência; e) demonstra que a ciência é mutável e instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que f) se opõem a ideologia cientificista; g) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta os padrões de mudança na metodologia vigente.

Alinhada à história da ciência, destaca-se a imprescindível contribuição da filosofia da ciência para o tratamento da NdC a partir das inúmeras interpretações possíveis do que é ciência, seus limites, suas propriedades gerais e as possíveis

¹Endereço em <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php?curso=1>>. Acesso em julho de 2019.

²Endereço em <<http://coral.ufsm.br/gef/index.html>>. Acesso em julho de 2019.

metodologias envolvidas em seu progresso (CHALMERS, 1993). Contudo, por vezes, esse pluralismo dificulta discussões sobre NdC em sala de aula, dada a complexidade de se dominar mais de uma ou de conciliar as variadas perspectivas epistemológicas existentes. Por isso, optamos por nos pautar em algumas ideias de Thomas Kuhn (KUHN, 2011) como pano de fundo para a construção do material didático escrito pelos seguintes motivos: tem elementos que, segundo Cachapuz et al. (2011), validam seu uso no tratamento de VDC como, por exemplo, a consideração da ciência como atividade social, a compreensão da teoria como guia para a observação, a valorização da hipótese, a forte base historiográfica, incluindo, em seus argumentos, discussões a respeito de eventos da história da física e, a nosso ver, a facilidade de tratar seus conceitos em sala de aula.

Com isso em mente, é importante destacar que tomaremos cuidado principalmente com as seguintes VDC no material didático escrito: visão rígida, ao expor que as concepções de espaço e tempo, na formulação de Einstein, foram concebidas em função de uma nova visão de mundo, e não somente como uma nova maneira de fazer frente, instrumentalmente, ao mundo fenomênico; visão aproblemática e ahistórica, ao mostrar que a superação dos conceitos de espaço e tempo newtonianos foi resultado de um processo de mudança conceitual proveniente das incompatibilidades entre a mecânica clássica e eletromagnetismo (RENN, 2004); visão acumulativa de crescimento linear, ao indicar que rupturas conceituais foram necessárias, reformulando os fundamentos dos conceitos de espaço e tempo.

3.1.2 O ALICERCE DO MATERIAL DIDÁTICO ESCRITO: A TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA DE CHEVALLARD E OS PRINCÍPIOS DE ASTOLFI E DEVELAY

Quais modificações ocorrem no conhecimento científico acadêmico até ser transformado em conhecimento científico escolar? Quem e que fatores influenciam nesse processo? Preocupado com questões como essas, Chevallard (1991), sustentado nos trabalhos do sociólogo Michel Verret, propõe um arcabouço teórico para respondê-las. Nessa tarefa, utiliza conceitos como Saber Sábio, Saber a Ensinar, Saber Ensinado, Transposição Didática, Sistema Didático, Sistema de Ensino e Noosfera.

Segundo Brockington e Pietrocola (2005), para Chevallard, o saber produzido pelo cientista, aquele que aparece nas revistas especializadas, congressos e periódicos científicos, denominado Saber Sábio, não é aquele que chega à sala de aula, ou seja, o

Saber Ensinado. Aliás, muito diferente disso, pois este não é uma simplificação daquele. A depender do contexto, o saber muda seu status epistemológico (ALVES FILHO, 2000; ASTOLFI e DEVELAY, 1995). Transmuta-se, transforma-se. Primeiramente, no saber contido nos currículos básicos e livros, batizado de Saber a Ensinar, em que o grupo social de referência é composto por autores de livros didáticos, especialistas da disciplina, professores e opinião pública (GUIMARÃES e SADE, 2009). E por último, em sequência, no Saber Ensinado.

Essas transformações sofridas pelo saber podem ser analisadas pela chamada TTD, que visa a compreensão do processo de fabricação do objeto de ensino (RODRIGUES e PIETROCOLA, 1999). Aqui, o objeto de ensino, tal como é nosso material didático escrito, é definido como criação para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem (NEVES e BARROS, 2011), um meio e um fim, respectivamente.

Pautados na TTD, Brockington e Pietrocola (2005) demonstram que o Saber Ensinado ocorre no contexto escolar, chamado de Sistema Didático, composto por estudantes, professores e, para não limitar a transposição didática a análises de natureza sociológica, pelo saber. Ainda de acordo com os mesmos autores, esta perspectiva deixa que se pense a produção do conhecimento científico escolar a partir das relações professor-aluno, professor-saber e aluno-saber e amplia as possibilidades de análises teóricas ao inserir a epistemologia nas discussões sobre didática.

Ademais, o Sistema Didático faz parte e é influenciado por um ambiente mais amplo: o Sistema de Ensino, estruturado, por exemplo, pelo sistema educacional de um município ou pelo conjunto de escolas de um estado. Por sua vez, o Sistema de Ensino também se encontra dentro de outro ambiente mais complexo: a sociedade.

Neste último caso, a relação entre os dois campos é mediada pela Noosfera. É nesse lugar que coexistem as três esferas de saber, isto é, o saber sábio, o saber a ensinar e o saber ensinado, e seus respectivos grupos sociais que interagem, influenciam e regulam a entrada e a saída de saber no Sistema Didático (ALVES FILHO, 2000; GUIMARÃES e SADE, 2009). Por isso, fazem parte da Noosfera os cientistas, os educadores, os professores, os políticos, os autores de livros didáticos, os pais de alunos, entre outros (BROCKINGTON e PIETROCOLA, 2005).

Além de campo de batalha de assuntos relacionados às necessidades e aos anseios do Sistema Didático entre Sistema de Ensino e Sociedade, a Noosfera também é um obstáculo ou um filtro às mudanças nos conteúdos de sala de aula, como salienta Chevallard:

“A noosfera é o centro operacional do processo de transposição, que traduzirá nos fatos a resposta ao desequilíbrio criado e comprovado [entre os ideais e possibilidades dos saberes científicos] (expresso pelos matemáticos, pelos pais, pelos professores mesmos). Ali [na noosfera] se produz todo conflito entre sistema e entorno e ali encontra seu lugar privilegiado de expressão. Neste sentido [do conflito de interesses], a noosfera desempenha um papel de obstáculo” (CHEVALLARD, 1991).

Por exercer um papel de barreira, a Noosfera impossibilita que todo Saber Sábido chegue às salas de aula. De acordo com Chevallard, visando à otimização do ensino, ela retém conhecimentos originários e, para isso, usa os critérios enunciados a seguir: consensualidade, ou seja, não deve haver dúvidas quanto à “verdade” do conteúdo a ser ensinado; atualidade moral, quer dizer, noção que transmite a importância percebida naturalmente; atualidade biológica, isto é, para chegar à sala de aula, o saber precisa ser atual em relação à ciência atual; operacionalidade, termo que traduz a possibilidade de um saber criar exercícios, ocupar estudantes e de ser avaliação; criatividade didática, compreendida como a identidade própria, dissociada de certa forma do saber original, adquirida após a transposição didática. Por fim, tem-se a terapêutica que deixa transparecer a efetiva qualidade, por exemplo, da transposição didática em situação empírica.

Astolfi e Develay (1995), ancorados nos critérios de Chevallard (1991) para a sobrevivência do saber durante a transposição didática, formulam cinco princípios que devem ser observados nesse processo. Dessa maneira, eles também serão tomados como parâmetros de construção de nosso material didático escrito acerca da compreensão moderna de espaço e tempo com vistas a alfabetizar cientificamente alunos de turmas de terceiro ano do EM.

O primeiro princípio trata da indispensabilidade da modernização do saber escolar, quer dizer, devem-se aproveitar pesquisas científicas recentes e novas tecnologias no intuito de aproximar os saberes dos campos acadêmico e escolar. O segundo princípio, a atualização do Saber a Ensinar, dá margem às remodelações nos currículos de ensino ao pretender a inserção ou a supressão de conteúdos básicos. Em tempo, isso é previsto nas diretrizes legais (BRASIL, 2002). Em seguida, Astolfi e Develay (1995) revelam como princípio a conveniência de articular um saber “novo”

com um “antigo”, discussão que lembra a ideia de Subsunçor criado por David Ausubel, tratada em Moreira (1999). O quarto princípio relaciona-se à transformação de um saber em exercícios, problemas, ocupação para alunos e avaliação. Enfim, o derradeiro princípio é tornar um conceito mais compreensível, ou melhor, permitir a aprendizagem daquilo que se deseja transpor didaticamente.

Diante de tudo isso, acreditamos que nosso material didático escrito aproveita o conhecimento sobre a TTD de Chevallard, principalmente, ao reconhecer:

- a realidade de nosso Sistema Didático, que inclui muitos alunos de baixo poder aquisitivo e com indiferença aos conteúdos de física.
- o tipo de saber normalmente ensinado, que é propedêutico e descontextualizado, com características que exprimem uma ciência rígida, ahistórica, aproblemática e sem rupturas.

Ainda sobre contribuições ao material didático escrito, os princípios criados por Astolfi e Develay também são desfrutados, por exemplo, com:

- a inserção de assuntos de FMC relativamente recentes, como é caso do moderno conceito de espaço-tempo da TRR, em uma tentativa de aproximar os meios acadêmico e escolar e de atualização do Saber Ensinar.
- a criação de conexões entre os conteúdos estudados, “novos” e “antigos”, por meio do uso da HFC.
- a possibilidade de ocupar os alunos ao indicarmos exercícios, leituras de textos de divulgação científica e experimentação em laboratórios virtuais.
- a escrita direcionada a alunos do EM, mesmo que não seja simplificada.

3.1.3 A WEBQUEST: DEFINIÇÃO, RECEITA E RELAÇÕES ENTRE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE NO ENSINO MÉDIO

Couto (2004) define a *WebQuest* como um tipo de consulta orientada em que todas ou algumas informações com as quais os alunos vão lidar tem origem na *internet*. Isto, aliás, sem que eles se percam na grande quantidade de informações ali disponíveis (FREIRE e RODRIGUES JÚNIOR, 2009), incluindo as falsas. Esses autores acrescentam que essa metodologia de ensino trata-se de um instrumento de aprendizagem centrado na resolução de problemas com recursos *on-line*, ou não, e permite a formação de opinião e senso crítico em situações diversas, algo essencialmente prezado na AC.

Existem dois tipos de *WebQuests* que, em geral, são criadas em páginas de *Internet*: a curta, com duração de uma a três aulas, em que o objetivo é a aquisição e a integração de conteúdos; e a longa, com duração de semanas, em que o objetivo consiste na ampliação e na consolidação de conteúdos.

Em nossa sequência de ensino, usamos a *WebQuest* curta. Ela possui os seguintes itens:

- a) Uma introdução que forneça algumas informações de fundo.
- b) Uma tarefa factível e interessante.
- c) Um conjunto de fontes de informações necessárias à execução da tarefa [...].
- d) Uma descrição do processo que os alunos devem utilizar para efetuar a tarefa [...].
- e) Alguma orientação sobre como organizar a informação adquirida.
- f) Uma conclusão que encerre a investigação, mostre aos alunos o que eles aprenderam e, talvez, os encoraje a levar a experiência para outros domínios (COUTO, 2004).

Para além da prática comum de consulta na *internet* a partir de uma pergunta ou de um tema proposto pelo professor, que pouco contribui com a educação (FREIRE e RODRIGUES JÚNIOR, 2009), a *WebQuest* tem parâmetros mais profundos. Assim, com a virtude de ser simples sem ser superficial, acreditamos que ela auxilie no rendimento de AC aos alunos, ou seja, promova uma melhora da aprendizagem com aumento de motivação, de indução a posicionamentos críticos em relação à ciência.

A *WebQuest*, em nosso trabalho, teve o papel de desnudar possíveis relações CTSA mediante o advento da TRR e, portanto, do surgimento da atual concepção de espaço-tempo. Para tanto, colocamos em pauta as relações entre o conteúdo examinado de relatividade restrita e o GPS, mesmo que seu funcionamento também precise de correções de relatividade geral. As questões da *WebQuest* versavam sobre a criação do GPS, o seu princípio de funcionamento, a necessária correção espaço-temporal para sua tamanha precisão, algumas aplicações gerais e uma discussão sobre o direito de privacidade de todo cidadão, tendo em vista que grandes empresas de tecnologia possuem acesso a localização real dos indivíduos em cada instante de tempo.

3.1.4 A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: OS POSTULADOS, A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE, DOS INTERVALOS DE TEMPO E DO COMPRIMENTO E O GPS

Como já manifestado, o produto educacional é composto pelo material didático escrito e pela *WebQuest*, os dois sobre a construção das modernas concepções de espaço e tempo a partir do processo de superação da física newtoniana pela TRR no anseio de alfabetizar cientificamente. No primeiro, procuramos tratar especialmente da compreensão básica de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais sobre a criação da TRR e da compreensão da NdC em uma tentativa de não difundir, no mínimo, as VDC visão rígida, visão aproblemática e ahistórica e visão acumulativa de crescimento linear. Na segunda, lidamos essencialmente com relações CTSA mediante o advento da TRR, ou seja, com possíveis implicações científicas e tecnológicas que essa teoria teve sobre a sociedade.

Assim sendo, usando física e HFC, abordamos os seguintes assuntos no material didático escrito: os raios cósmicos e vida média do múon; a unificação do eletromagnetismo e da ótica por Maxwell; a velocidade constante da luz e a não-invariância das equações de Maxwell nas transformações de Galileu; as tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter, a contração de Lorentz-FitzGerald para o espaço e as transformações de Lorentz; o problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento e a mudança de concepção acerca de espaço e tempo; o problema do tempo de vida média dos múon; a incompatibilidade dos conceitos de espaço e de tempo nas teorias newtoniana e einsteiniana segundo Thomas S. Kuhn.

Já na *WebQuest*, tratamos do vínculo entre a TRR e o GPS. Dentre as discussões levantadas, estavam a criação do GPS, o seu princípio de funcionamento, a necessária correção espaço-temporal para sua tamanha precisão, algumas aplicações gerais e uma discussão relativa ao direito de privacidade de todo cidadão que usa esse tipo de tecnologia.

Desta forma, fica evidente que o produto educacional gira em torno do tema TRR. Então, usamos o espaço desta fundamentação teórica para abordar tal assunto e, como adicional, questões relativas ao GPS. No entanto, cada um dos temas prévios e posteriores à abordagem da TRR do material didático escrito podem ser vistos com maior riqueza de detalhes no apêndice A desse trabalho.

3.1.4.1 OS POSTULADOS DA TRR

A TRR de Einstein se embasou em apenas dois postulados simples, não intuitivos e com fortes implicações em todas as áreas de estudo da física. Eles podem ser enunciados da seguinte maneira:

1º Postulado: as leis da física são as mesmas em qualquer sistema de referência inercial.

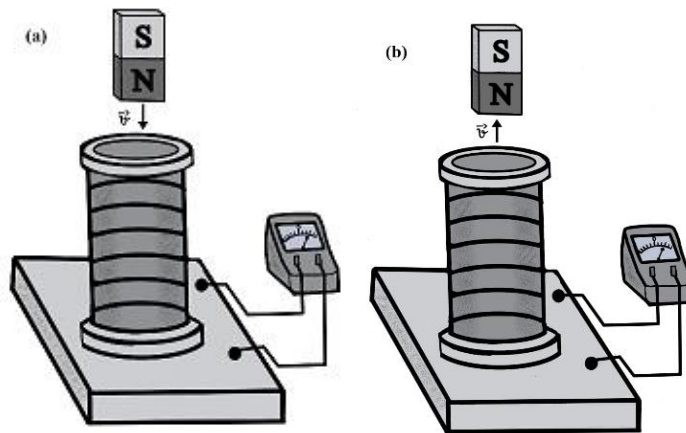
2º Postulado: a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e não depende da velocidade da fonte.

A partir deles, a TRR conseguia solucionar o problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento sem recorrer ao éter. Além disso, previa que um evento que ocorresse simultaneamente a outro em relação a um observador A poderia não ocorrer simultaneamente para outro observador B, que o movimento relativo entre dois observadores influenciava nas medidas de intervalo de tempo e de comprimento para cada um deles e que as leis de conservação da física exigiam uma reformulação na segunda lei de Newton e nas equações de energia cinética e quantidade de movimento da mecânica clássica (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 141).

O primeiro postulado de Einstein é chamado de princípio da relatividade. Sua consequência é que se as leis da física dependessem dos referenciais inerciais, então elas deveriam ser uma maneira para distingui-los, algo que não ocorre. Dessarte, por esse postulado, as leis da física devem ser as mesmas para dois observadores que mantêm movimento uniforme e retilíneo um em relação ao outro.

Um exemplo, demonstrado na figura 1, que denota a validade disso é o fato do movimento de um ímã em relação a uma bobina parada produzir o mesmo efeito da bobina em movimento em relação ao ímã parado, pois a indução eletromagnética depende apenas da variação do fluxo do campo magnético não distinguindo referenciais inerciais.

Figura 1: ímã em movimento em relação à bobina parada (a) e bobina em movimento em relação ao ímã parado (b).



Fonte: o autor.

Isso acontece também para as outras leis de Maxwell e elas são ditas relativísticas. Inclusive, há uma simetria entre os fenômenos eletromagnéticos, já que, a depender de uma mudança de referenciais inerciais, é possível que se perceba os fenômenos sob a ótica da eletricidade ou do magnetismo.

O segundo postulado da TRR, que não é intuitivo, surgiu de um grande salto conceitual de Einstein: perceber que para as equações de Maxwell serem válidas em qualquer referencial inercial seria necessário que a velocidade da luz no vácuo fosse a mesma em qualquer situação (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 142), circunstância que é prevista pelas transformações de Lorentz.

Uma consequência deste postulado é que um referencial inercial jamais pode se deslocar com a velocidade da luz no vácuo, pois isso conduziria a uma falácia. Imagine você... Se uma fonte de luz e seu feixe de luz tivessem uma mesma velocidade, ao mesmo tempo o feixe deveria ficar em um mesmo ponto do espaço em relação à sua fonte e viajar com a velocidade da luz no vácuo em relação à fonte! Isso é um absurdo e não pode acontecer, de acordo com a TRR. Deixando de lado a ironia da situação, um carro não poderia ter a velocidade da luz e, ao mesmo tempo, se distanciar de um feixe de *laser* emitido por si mesmo também com a própria velocidade da luz. É inconsistente!

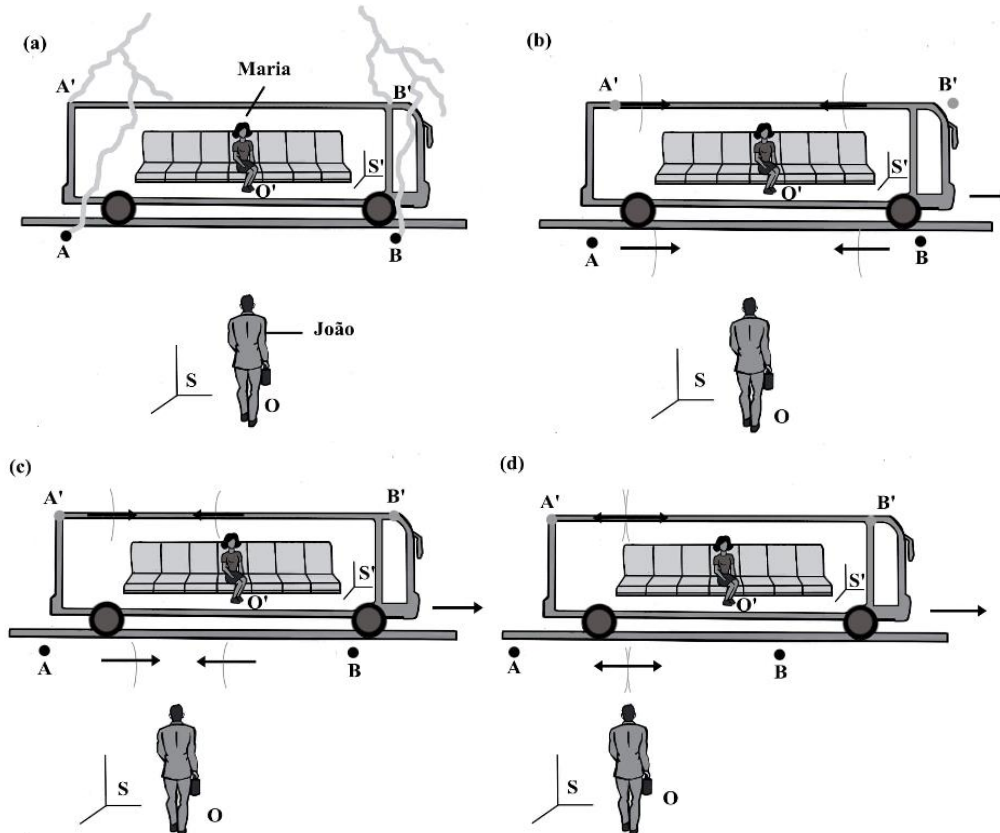
3.1.4.2 A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE

Na mecânica de Newton, o espaço e o tempo eram tidos como absolutos. Desse modo, um evento que ocorresse simultaneamente a outro em relação a um observador A era simultâneo para outro observador B existindo ou não um movimento uniforme e retilíneo entre eles. Por exemplo, com o perdão da fantasia, na mecânica newtoniana, um mosquito em uma fruta que caiu de uma árvore mediria o mesmo intervalo de tempo que uma pessoa que espera a fruta cair não importando a velocidade de queda.

Com a TRR de Einstein, a ideia de simultaneidade de eventos para dois observadores mudou. Não necessariamente eventos simultâneos para um observador inercial A deviam ser simultâneos para outro observador inercial B. A consequência disso é que medições de intervalos de tempo e distância para dois observadores poderiam não serem iguais a depender da velocidade relativa deles. Isso quer dizer que o tempo e o espaço já não eram mais absolutos.

Einstein chegou a essa conclusão após realizar um de seus famosos *Gedankenexperiment*, ou seja, experimentos mentais. Pensando na relatividade de simultaneidade, um deles é descrito a seguir com o auxílio da figura 2.

Figura 2: uma experiência mental sobre simultaneidade.



Fonte: o autor.

Imagine que um ônibus (Referencial inercial S') que se desloca para a direita com velocidade u próxima à da luz (Figura 2-a) tenha as suas extremidades atingidas por raios. Cada raio deixa uma marca no ônibus (A' e B') e no chão (A e B) no momento em que atingem esses pontos. No instante do evento, João (Referencial inercial S) está em repouso no ponto O , exatamente no ponto médio entre A e B , e Maria se movimenta junto com o ônibus no ponto O' . Então, é possível perceber que Maria se aproxima da luz que vem da frente do ônibus e se afasta da luz que vem de sua traseira (Figura 2-b). Assim, como ela vê primeiro a luz da frente, conclui que o raio da frente foi o primeiro a cair (Figura 2-c). Diferente de Maria, João vê os dois raios atingindo o solo ao mesmo tempo e para ele os raios atingiram o ônibus simultaneamente (Figura 2-d).

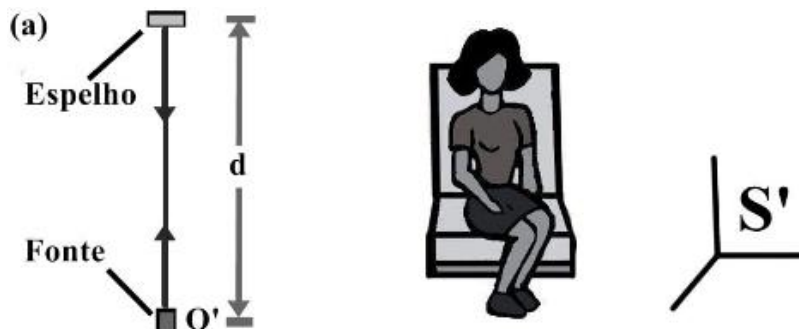
Portanto, pelo experimento mental, fica claro que os eventos (queda dos raios) aconteceram simultaneamente para João e não aconteceram simultaneamente para Maria, embora ambos fossem observadores inerciais, ou seja, observadores livres da ação de forças e, por conseguinte, com velocidade constante um em relação ao outro. Essa diferença de percepção para João e Maria sugere que as medidas de intervalo de tempo e de distância para dois observadores que têm movimento relativo com velocidades próximas a c podem não ser iguais, como veremos nas próximas seções.

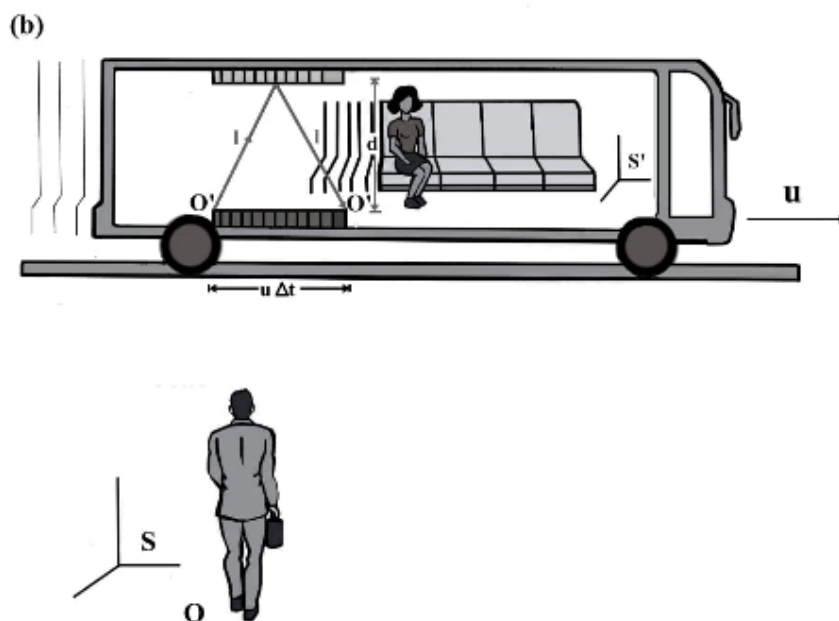
3.1.4.3 A RELATIVIDADE DOS INTERVALOS DE TEMPO

Usaremos outra experiência mental para demonstrar quantitativamente que medidas de intervalos de tempo podem ser diferentes para observadores com movimento relativo com velocidade próxima à velocidade da luz no vácuo c .

Imagine que Maria se locomova dentro do ônibus, no referencial inercial S' , para a direita com velocidade u em relação a João, no referencial inercial S , e que ela consiga enxergar a emissão de um pulso de luz no ponto O' , sua reflexão depois de percorrer uma distância d e seu retorno ao mesmo ponto O' , como mostra a figura 3-a:

Figura 3: esquema das situações do experimento mental de dilatação do tempo.





Fonte: o autor.

O intervalo de tempo medido por Maria para que a luz emitida em O' volte a esse mesmo ponto é Δt_0 , chamado de tempo próprio, tal que

$$\Delta t_0 = \frac{2d}{c} \quad (1)$$

Já João, situado em O , percebe outro intervalo de tempo Δt para a ida e a volta do pulso de luz em O' já que a luz viaja por uma distância $2l$, em que³ l é

$$l = \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (2)$$

calculado pela figura 3-b.

Dessa forma, para João, o intervalo de tempo Δt para que os eventos aconteçam é dado por

$$\Delta t = \frac{2l}{c} = \frac{2}{c} \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Se isolarmos d na equação 1 e o inserirmos na equação 3, teremos como resultado

$$\Delta t = \frac{2}{c} \sqrt{\left(\frac{c\Delta t_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (4)$$

e, por fim, se elevarmos ao quadrado e isolarmos Δt , chegaremos ao resultado

³ Nesta passagem, usamos o teorema de Pitágoras para o triângulo retângulo que tem hipotenusa l e catetos d e $\frac{u\Delta t}{2}$, que pode ser imaginado a partir da figura 3-b.

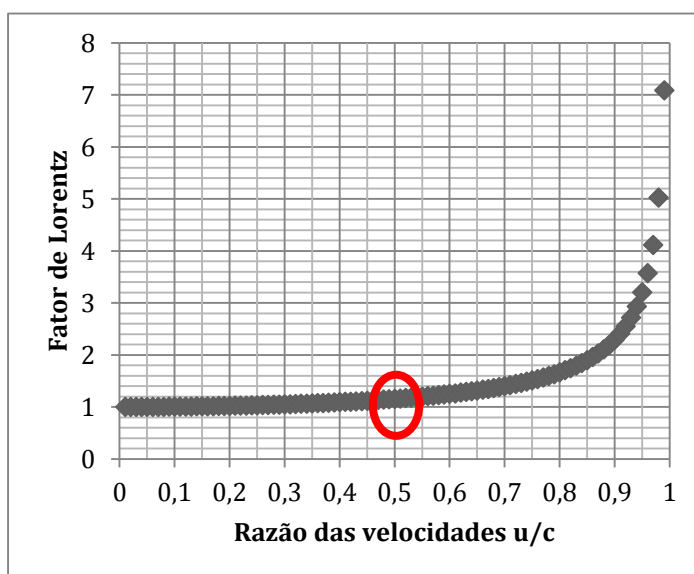
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \gamma \Delta t_0 \quad (5)$$

demonstrando uma maior medida de intervalo de tempo por João em relação a Maria.

A constante γ é chamada de fator de Lorentz. Seu aparecimento na TRR manifesta a imposição de que as transformações de Lorentz são consistentes com o princípio da relatividade para velocidades grandes em relação a c em detrimento das transformações de Galileu, que só geram resultados compatíveis com a realidade em situações que envolvem baixas velocidades em relação a c .

O gráfico na figura 4 demonstra o comportamento de γ em função da velocidade relativa u entre dois referenciais inerciais. Quando u é muito pequena e $\gamma \approx 1$, então os intervalos de tempo medidos para dois eventos consecutivos pelos observadores inerciais, um em repouso (Δt_0) e outro em movimento (Δt) em relação ao primeiro, com velocidade u , são aproximadamente iguais, ou seja, $\Delta t \cong \Delta t_0$. Quando u é grande e passa de $0,5 c$ (veja o círculo que destaca esse local no gráfico da figura 4), então $\gamma > 1$ e os intervalos de tempo medidos para dois eventos consecutivos pelos observadores inerciais são diferentes, tal que $\Delta t > \Delta t_0$.

Figura 4: fator de Lorentz em função da razão das velocidades u/c .



Fonte: o autor.

É possível generalizar o resultado visto na equação 5. Podemos dizer que a medida de intervalo de tempo entre dois eventos em um referencial inercial em repouso é sempre menor do que a medida de intervalo de tempo para os mesmos eventos em um referencial que se

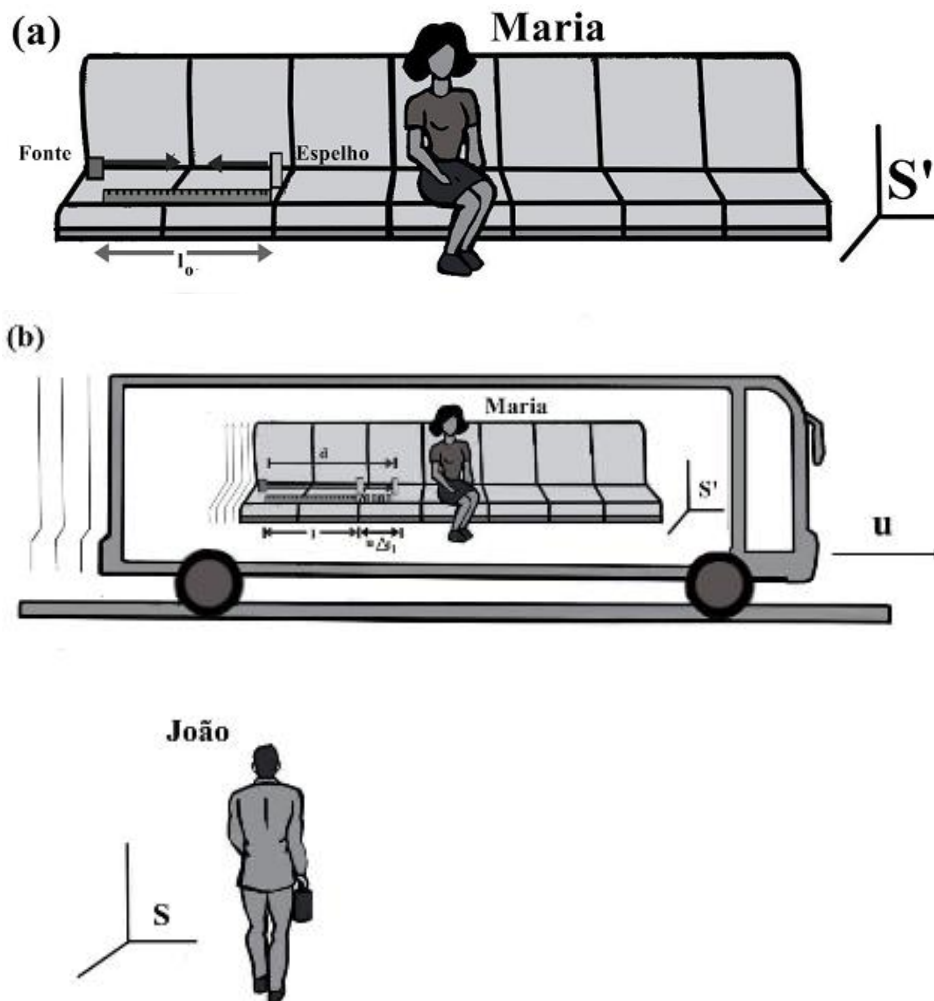
desloca com velocidade constante u em relação ao primeiro referencial. Esse é um dos resultados não intuitivos da TRR e expressa a chamada dilatação do tempo.

3.1.4.4 A RELATIVIDADE DOS COMPRIMENTOS

Não são apenas os intervalos de tempo entre dois eventos que podem ser diferentes para distintos sistemas de referência inerciais, ou seja, que exibem velocidades constantes entre si. As medidas de comprimentos, quer dizer, de distâncias entre dois pontos também podem ser diferentes, mas somente na direção do movimento.

Para comprovar isso, utiliza-se a experiência imaginária esboçada a seguir:

Figura 5: esquema das situações do experimento mental de contração do comprimento.



Fonte: o autor.

Desta vez, consideramos uma régua de comprimento l_0 com um espelho em uma de suas extremidades e uma fonte de luz na outra, em repouso em relação a um sistema de

referência S', de Maria, da figura 5-a. Dessa maneira, o intervalo de tempo próprio Δt_0 que um pulso de luz leva para ir da fonte até o espelho e voltar é

$$\Delta t_0 = \frac{2l_0}{c} \quad (6)$$

No sistema de referência S, de João, a mesma régua se movimenta junto com o ônibus com uma velocidade u durante a propagação do pulso de luz, como mostra a figura 5-b. O comprimento da régua para este referencial é l e o intervalo de tempo que a luz leva para ir da fonte até o espelho é Δt_1 . Neste intervalo de tempo, devido ao movimento do ônibus, a luz anda $u\Delta t_1$. Assim, a distância d entre a fonte e o espelho é diferente de l , de jeito que

$$d = l + u\Delta t_1 \quad (7)$$

Mas lembre-se que a luz também se desloca com velocidade c . Sendo assim,

$$d = c\Delta t_1 \quad (8)$$

Igualando as equações 7 e 8 e isolando Δt_1 , temos que

$$\Delta t_1 = \frac{l}{c-u} \quad (9)$$

Agora, para a situação em que o trem que leva Maria muda de sentido, temos que

$$d = l - u\Delta t_2 \quad (10)$$

Mas a luz também se desloca com velocidade c e será verdade que

$$d = c\Delta t_2 \quad (11)$$

Igualando as equações 10 e 11, temos que

$$\Delta t_2 = \frac{l}{c+u} \quad (12)$$

Consequentemente, o intervalo de tempo entre o envio do pulso ao espelho e sua volta deve ser $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, que dá

$$\Delta t = \frac{2l}{c(1-\frac{u^2}{c^2})} \quad (13)$$

Combinando as equações 5, 6 e 13 e isolando l , chegamos à conclusão de que

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = \frac{l_0}{\gamma} \quad (14)$$

Com base na equação 14 é possível afirmar que o comprimento medido em um sistema de referência no qual o corpo está em repouso, chamado comprimento próprio l_0 , é sempre maior que o comprimento medido em um sistema de referência, simbolizado por l , que se desloca com velocidade constante u em relação ao primeiro. Mais uma vez, a constante

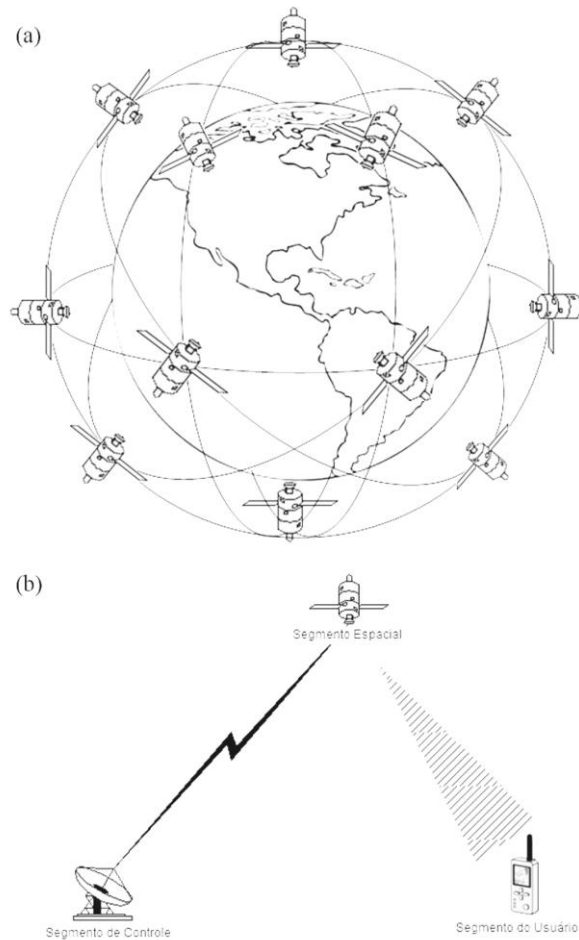
γ é o fator de Lorentz. Quando u é muito pequena e $\gamma \cong 1$, então os comprimentos medidos por observadores inerciais em repouso (l_0) e em movimento com velocidade u (l) são aproximadamente iguais, tal que $l \cong l_0$. Agora, quando u é grande e passa de $0,5 c$ (figura 4), então $\gamma > 1$ e os comprimentos medidos pelos observadores inerciais são diferentes, de modo que $l < l_0$.

3.1.4.5 O GPS COMO PRODUTO TECNOLÓGICO DEPENDENTE DA TRR

Os sistemas de navegação são uma das aplicações tecnológicas mais famosas que utilizam a TRR. O GPS é o mais famoso deles. Embora tenha sido criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos entre as décadas de 1970 e 1990 para fins militares, tornou-se indispensável para a sociedade atual em atividades como a navegação marítima, terrestre ou aérea, o mapeamento, a segurança de bens móveis e até em sistemas de sincronização.

De acordo com Zanotta et al. (2011), o pleno funcionamento do GPS depende de três segmentos, que são mostrados na figura 6: espacial, de controle e de usuários. O segmento espacial é constituído de 24 satélites divididos em seis grupos de planos orbitais equidistantes que cruzam o centro da Terra de modo que um observador na superfície sempre “observa” pelo menos quatro deles em qualquer instante. Por sua vez, o segmento de controle consiste de cinco estações terrestres distribuídas no globo com a tarefa de monitoramento, correção dos relógios e atualização periódica das mensagens de navegação de cada satélite. Já o segmento de usuários é formado pelo universo de receptores GPS (SILVA et al., 2015).

Figura 6: (a) constelação GPS (as linhas representam os planos orbitais) e (b), segmentos do sistema.



Fonte: Zanotta et al. (2011).

A comunicação entre esses segmentos é realizada por ondas de rádio que sofrem modulação. No caso dos satélites, essa mudança no sinal gera informações de suas posições e tempos sem modificar a velocidade da onda, que é aproximadamente $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Assim, um receptor guarda o tempo medido em seu relógio interno e os tempos dos sinais enviados pelos quatro satélites que estão perceptíveis. Com a diferença de tempos medidos entre cada satélite e o próprio receptor (Δt), é possível determinar as distâncias lineares (d) entre tais entes pela equação:

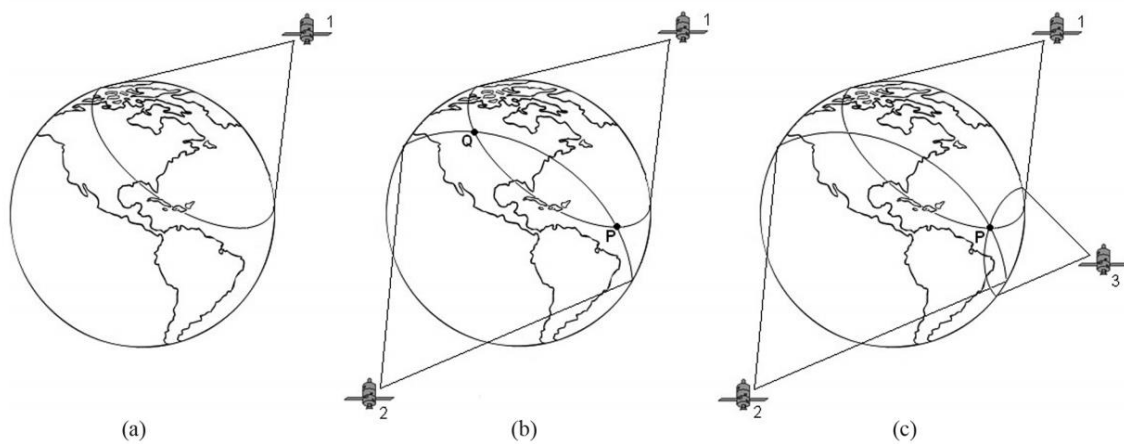
$$d = c \cdot \Delta t. \quad (15)$$

Com os resultados de distâncias lineares, a localização do receptor em qualquer ponto demonstra as coordenadas cartesianas com origem no centro de massa da Terra, eixo Z na direção polar, X e Y localizados no plano equatorial, sendo X apontando para o meridiano de Greenwich e Y perpendicular a X (ZANOTTA et al., 2011).

Dentre os fatores que podem interferir na medida de posição do receptor, há a reflexão do sinal eletromagnético em montanhas e prédios. Além disso, outra possível fonte de erro na aquisição das coordenadas é a não-sincronia de marcha entre os relógios do receptor e dos satélites, já que os valores de tempos medidos devem ter grande precisão, algo que apenas os caros relógios atômicos podem disponibilizar (ZANOTTA et al., 2011). Pelo alto custo, estes relógios são usados somente nos satélites e não nos receptores GPS.

Via de regra, calcular as coordenadas tridimensionais X , Y e Z de um ponto na Terra requer o uso mínimo de três satélites, como mostra a figura 7:

Figura 7: cones de atuação de cada satélite formando os pontos de intersecção: a) apenas um satélite, b) dois satélites, c) três satélites.



Fonte: Zanotta et al. (2011).

Isso acontece porquê, com um satélite, o usuário saberia apenas que a sua localização estaria em um círculo sobre a superfície terrestre, como mostra a figura 7-a. Com dois satélites, um receptor forneceria dois pontos (P e Q) de localização, como é possível ver na figura 7-b. Contudo, com a entrada do terceiro satélite, o sistema GPS forneceria apenas um ponto, tal como indica a figura 7-c.

Embora três satélites sejam o bastante para se obter uma posição em termos de coordenadas tridimensionais X , Y e Z , ainda assim não há precisão nas medidas por causa da falta de acurácia do relógio do usuário. A solução encontrada para isso foi utilizar o quarto satélite que fica aparente para corrigir o erro na medida de posição do receptor, gerando uma acurácia 10 m a 20 m. Ao falar disso, Zanotta et al. (2011) esclarece: “Não é por acaso, portanto, que a configuração orbital do GPS foi concebida

de tal forma que pelo menos quatro satélites estejam sempre disponíveis em qualquer momento aos usuários do sistema”.

Outro aspecto sobre a precisão do GPS é que a própria massa do globo terrestre e o movimento dos satélites afetam o compasso dos relógios envolvidos na transmissão de dados. Isso acontece porque o tempo para o relógio do receptor passa mais devagar que o tempo para os relógios dos satélites devido à diferença de potencial gravitacional em um ponto na superfície e outro na altura dos satélites (aproximadamente 20 200 km) e, também, pelas altas velocidades alcançadas por estes (aproximadamente 14 000 km/h). Quando combinadas, essas discrepâncias alcançam décimos de microssegundo por dia e, apesar de ser uma quantidade pequena, geram distorções nas medidas que precisam ser corrigidas pela teoria da relatividade geral e pela TRR (ZANOTTA et al., 2011).

Especificamente, ao ajustar a equação 5 das discussões sobre TRR à situação dos referenciais do Satélite (S) que se movimenta com velocidade u em relação ao referencial do aparelho receptor do GPS fixo na terra (T), é fácil percebermos que

$$\Delta t_S = \frac{\Delta t_T}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad (16)$$

em que Δt_S é o intervalo de tempo medido no referencial do satélite e Δt_T é o intervalo de tempo medido no referencial do aparelho receptor. Desta maneira, fica evidente que Δt_S é sempre maior que Δt_T .

3.2 A SEQUÊNCIA DE ENSINO: UMA POSSIBILIDADE DE USO DO PRODUTO EDUCACIONAL A PARTIR DO ENSINO HÍBRIDO

Segundo Kenski (2003), em cada época, o uso de tecnologias é uma marca de transformação da organização social, da comunicação, da cultura e da aprendizagem. Desta última, dada a rapidez das relações impostas pelas tecnologias digitais em uma sociedade globalizada, percebe-se certa defasagem para se alcançar o uso das NTIC nos processos de ensino e de aprendizagem de assuntos de interesse coletivo, respectivamente por professores e para alunos.

É numerosa a variedade de NTIC, sobretudo as acessíveis na *internet*, que podem ser usadas no ensino e na aprendizagem, principalmente, quando se trata de disciplinas da ciência da natureza, como a física. Por isso, percebermos trabalhos nas

revistas especializadas no ensino sobre a criação ou utilização de sites, de ambientes virtuais, de aplicativos, de jogos, de simuladores, de *Applets*, de redes sociais, de *WebQuests*, entre outros (ARANTES et al., 2010).

Agora, é preciso lembrar que se há o objetivo de inserir essas tecnologias na educação, cada NTIC dessa, por sua vez, possui especificidades de uso. Isto implica em cuidados com o público e com a estrutura do local em que a tecnologia será usada. Contudo, a nosso ver, todas elas podem ser potencializadas se usadas em consórcio com práticas de aprendizagem mais tradicionais, tais como a leitura ou a escrita de textos, o uso de livros didáticos ou de materiais didáticos, a resolução de exercícios, as aulas tradicionais etc.

Em acordo com essa perspectiva, Bacich (2016) aponta que o ensino híbrido, uma tendência mundial, tem vertentes que podem complementar práticas de ensino tradicionais em sala de aula em um tipo de transição para uma educação de cultura digital. Além disso, que esse modelo é capaz de gerar aprendizagem significativa por um viés colaborativo entre alunos combinando os mundos das NTIC *on-line* e das aulas presenciais.

Conforme Horn e Stalker (2015) citados por Castro et al. (2015), o ensino híbrido é “qualquer programa educacional formal no qual um estudante aprende, pelo menos em parte, por meio do ensino *on-line*, com algum elemento de controle dos estudantes sobre o tempo, o lugar, o caminho e/ou ritmo” (CASTRO et al., 2015, p. 50).

Bacich (2016) e Valente et al. (2017) complementam com a informação de que essa perspectiva de realizar a educação surgiu da parceria entre Michael Horn e Clayton Christensen com o intuito de promover respostas às demandas educacionais contemporâneas. Para Bacich (2016) e para Castro et al. (2015), o ensino híbrido direcionou novos modos de encaminhamento de aulas em que as tecnologias digitais podem ser integradas ao currículo com mais autonomia de aprendizagem aos alunos.

Ao todo, garantem Bacich (2016) e Andrade e Souza (2016), são quatro modelos de ensino híbrido mais ou menos flexíveis, isto é, que envolvem ensino presencial e ensino *on-line*:

- Rotação, em que os alunos revezam atividades pré-determinadas com horário fixo ou com orientações dadas por um professor sem a necessidade de reorganização do ambiente escolar. Este modelo possui a seguinte subdivisão: rotação por estações de trabalho, laboratório rotacional, sala de aula invertida e rotação individual.

- *Flex*, em que ainda existem atividades pré-determinadas com a disposição do professor para auxiliar em possíveis dúvidas, porém com maior abertura à personalização do ritmo de aprendizagem dos alunos e com o ambiente escolar tradicional modificado.
- *À la carte*, em que o próprio estudante é responsável pela organização de sua aprendizagem em local e momento que achar mais adequado e com objetivos gerais arranjados inicialmente em parceria com o professor.
- Virtual enriquecido, em que os alunos de toda a instituição de ensino dividem seu tempo entre atividades *on-line* e presenciais, não necessitando comparecer todos os dias à unidade educacional.

Dos modelos supracitados, dada a intenção do nosso produto educacional de alfabetizar cientificamente, a estrutura da instituição em que realizamos intervenção didática e o público-alvo do trabalho, interessou-nos o ensino híbrido por rotação, especialmente o laboratório rotacional. Para Schiehl e Gasparini (2016), esse modelo é do tipo sustentado, já que pode ser desenvolvido com mais tranquilidade e permite a inserção gradativa das tecnologias digitais virtuais nos ambientes educacionais. Já modelos de ensino híbrido que tendem a modificar os espaços de atuação, assim como conceder maior personalização de acordo com as carências de cada estudante é chamado de modelo disruptivo.

No laboratório rotacional, atividades como leitura, escrita, dinâmicas de grupo, debates, aulas tradicionais e outras podem ser desenvolvidas em sala de aula e atividades virtuais são realizadas em um laboratório de informática (SCHIEHL e GASPARINI, 2016). São muitas as possibilidades de atividades virtuais. Algumas delas, já citadas nesse texto, são *sites*, ambientes virtuais, aplicativos, jogos, simuladores, *Applets*, redes sociais, *WebQuests*, entre outras.

Para nosso trabalho, na tentativa de seguirmos a metodologia de laboratório rotacional discutida nessa seção, iniciamos uma sequência de ensino com aulas presenciais em sala convencional, a partir de um material didático escrito e finalizamos com uma atividade de *WebQuest* no laboratório de informática. É importante destacar que ambas as atividades tinham como objetivo ensinar as modernas concepções de espaço e tempo com base no processo de superação da física newtoniana pela TRR, visando alfabetizar cientificamente alunos do terceiro ano do curso técnico em agropecuária integrado ao EM.

CAPÍTULO 4: REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Com a intenção de encontrar trabalhos implementados em aulas de física do EM sobre o ensino de TRR, o ensino híbrido e a AC, consultamos dissertações de mestrado, teses de doutorado e publicações em revistas de ensino de física, incluindo as brasileiras com divulgação em espanhol e inglês. Sempre levando em conta os últimos 15 anos, as fontes examinadas foram o repositório de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), a biblioteca digital *Scientific Electronic Library On-line* – SciELO e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Diante do interesse, foram empregadas as seguintes palavras-chave nos filtros de pesquisa apropriados de cada meio: a teoria da relatividade restrita; a teoria da relatividade especial; ensino de teoria da relatividade restrita; a teoria da transposição didática no ensino de física; o ensino híbrido no ensino de física; o laboratório rotacional. Quando não havia a opção de separar por filtros, como é o caso do repositório do MNPEF, averiguamos os títulos das produções bem como seus respectivos resumos um a um usando as mesmas palavras-chave ou observando outras correlatas.

A prioridade da apuração foi direcionada para obras com características semelhantes àquelas aqui propostas. Sendo assim, buscamos trabalhos executados em sala de aula que abarcassem em conjunto ou separadamente os três grupos já apresentados: o ensino de TRR, o ensino híbrido e a AC em aulas de física do EM. O primeiro serviu para identificar, particularmente, os tipos de produtos didáticos que se pressupõe para uma intervenção didática, os públicos-alvo de cada aplicação e os referenciais teóricos utilizados para ensinar a TRR. O segundo propiciou averiguar, principalmente, os modelos de ensino híbrido utilizados para ensinar física no EM e os recursos *on-line* utilizados. Por sua vez, o terceiro foi usado para distinguir métodos de avaliação da AC e o (s) instrumento (s) de coleta de dados requisitado (s) em cada pesquisa.

À frente, destacamos o quadro 1 com o quantitativo de obras por assunto encontradas na consulta.

Quadro 1: número de dissertações, teses ou artigos por assunto de interesse.		
Grupo	Assunto	Número de obras (Dissertações, Teses e Artigos)
1	Ensino de TRR	19
2	Ensino Híbrido	7
3	AC	7
Fonte: o autor.		

Apesar da não localização de trabalhos que contemplassem simultaneamente os três aspectos estabelecidos, percebemos uma ampla diversidade de obras com tais vieses isolados. Por isso, com as restrições de análise que impomos, discutimos cada grupo para assegurar a possibilidade de críticas ao produto educacional e à dissertação a partir de comparações no momento de discutir os dados.

4.1 GRUPO 1: SOBRE O ENSINO DE TRR

De acordo com uma revisão da bibliografia realizada por Reis (2016, p. 12) entre os anos 2000 e 2015, a TRR é um assunto bastante discutido em publicações voltadas ao ensino superior, quer seja na projeção de propostas didáticas ou, principalmente, em artigos de física pura. No entanto, constatou a mesma autora, eram poucas as obras que se disponibilizam em uma abordagem de sala de aula para alunos do EM.

Esta realidade mudou com o tempo, dado o aumento do interesse de inserção de tópicos de FMC no ensino básico e a abertura de programas de mestrados profissionais que estabelecem a necessidade de trabalhos empíricos. Para se ter ideia, encontramos 19 trabalhos com intervenções em salas de aulas visando a melhoria do ensino e da aprendizagem sobre TRR. Dentre eles, contabilizamos 13 dissertações de mestrado, um trabalho de conclusão de curso e 5 artigos de periódicos.

No quadro 2, apontamos as características que foram realçadas de cada trabalho encontrado nesta parte da revisão da bibliografia. A saber, são elas: tipo de obra, autor (es), ano de publicação, título da obra, tipo de produto educacional, público-alvo e principal referencial teórico de criação do produto educacional.

Quadro 2: informações de obras sobre o ensino de TRR em aulas de física do EM.					
Tipo de obra	Autor (es) / Ano de publicação	Título da obra	Tipo de produto didático	Público - Alvo	Principal referencial teórico
1 Artigo	Karam et al. (2006-a)	Tempo relativístico no início do ensino médio	Sequência didática sobre TRR	1º ano do EM	-
2 Artigo	Karam et al. (2007)	Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula	Sequência didática sobre TRR e relatividade clássica	1º ano do EM	Metodologia dos três momentos pedagógicos de Delizoicov e Angotti
3 Artigo	Machado e Nardi (2006)	Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia	Sequência didática sobre TRR com tratamento de NdC e uso de NTIC	3º ano do EM	Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel Orientações sobre implementação de sistema hipermídias Ponderações sobre HFC, FMC e CTSA
4 Artigo	Rodrigues et al. (2014)	Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no ensino médio via estudo do GPS	Sequência didática com uso de aparato tecnológico	2º ano do EM	Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)
5 Dissertação	Gomes (2015)	Einstein e a teoria da relatividade entram em cena	Peça teatral sobre a TRR e a relatividade clássica	1º ano do EM	Teoria Sócio-interacionista de Vygotsky
6 Artigo	Barcellos e Guerra (2015)	Inovação curricular e física moderna: da prescrição à prática	Sequência didática sobre TRR	1º ano do EM	Habilidades e competências do Currículo Mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro
7 Dissertação	Freire (2015)	Evolução dos conceitos de mundo: uma	Unidade didática sobre TRR e Teoria	1º, 2º e 3ºs anos do EM	Teoria da Aprendizagem

		proposta de inserção da teoria da relatividade no ensino médio	da Relatividade Geral		Significativa de Ausubel
8 Dissertação	Sá (2015)	Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do ensino médio: uma proposta de inserção	Planos de aula, textos autorais e sugestões sobre TRR e Teoria da Relatividade Geral	1º ano do EM	Teoria da Transposição Didática de Chevallard PCN Lei de Diretrizes e Bases da Educação nacional Orientações Educacionais complementares aos PCN – EM
9 Dissertação	Riboldi (2015)	Construção de uma unidade de ensino potencialmente significativa para ensinar relatividade utilizando animações e o game a <i>slower speed of light</i>	Sequência de ensino potencialmente significativa sobre TRR com uso de NTIC	1º ano do EM	Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel
10 Dissertação	Alves Júnior (2016)	Uma proposta de inserção da relatividade restrita no ensino médio	Material didático escrito sobre TRR	3º ano do EM	Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel
11 Dissertação	Capelari (2016)	Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC	Sequência didática sobre TRR com uso de NTIC	2º e 3º anos do EM	Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel
12 Trabalho de conclusão de curso	Reis (2016)	Uma proposta didática para o ensino de relatividade restrita através do cubismo no ensino médio: aproximando duas culturas	Sequência didática para o ensino de TRR usando a arte	1º ano do EM	Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel
13 Dissertação	Pettersen (2017)	A arte como elemento	Sequência didática sobre	1º ano do EM	Teoria da Aprendizagem

ção		facilitador na aprendizagem da relatividade	TRR		gem significativa de Ausubel
14 Dissertação	Bendia Filho (2018)	Estratégias virtuais para a inserção do espaço e tempo relativísticos no ensino de física	Material didático escrito sobre TRR com uso de NTIC	1º ano do EM	Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel
15 Dissertação	Freire Júnior (2018)	Uma sequência didática para a abordagem da relatividade especial na educação básica com a utilização da instrução pelos colegas	Sequência didática sobre TRR	1º ano do EM	Metodologia de Instrução pelos Colegas
16 Dissertação	Garcia (2019)	Os conceitos da teoria da relatividade com utilização do ensino sob medida	Material didático escrito sobre TRR	3º ano do EM	Teoria da Transposição Didática de Chevallard
17 Dissertação	Pereira (2019)	Construção de um website sobre a teoria da relatividade restrita	Website sobre TRR	2º ano do EM	Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel
					Teoria do Desenvolvimento Cognitivo de Piaget
					Teoria de Ensino de Brunner
18 Dissertação	Santos (2019-a)	A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos	Sequência de ensino potencialmente significativo sobre TRR com atividade de criação de histórias em quadrinhos	1º ano do EM	Teoria da Aprendizagem significativa de Ausubel
19 Dissertação	Walendowsky (2019)	Uma proposta para o ensino da relatividade restrita através de	Simuladores virtuais sobre TRR	3º ano do EM	

		simulações desenvolvidas a partir da ferramenta computacional <i>easy java Simulations</i>			-
Fonte: o autor.					

Se observarmos o todo das obras listadas no quadro 2, grande parcela se constitui de dissertações do MNPEF. Destas, da mesma forma que nos artigos analisados, percebemos que a maioria dos produtos para intervenções em sala de aula são descritos como sequências didáticas com variadas naturezas aplicadas em turmas de primeiro e terceiro anos do EM. São exceções trabalhos sobre a criação de materiais didáticos escritos (ALVES JÚNIOR, 2016; BENDIA FILHO, 2018; GARCIA, 2019), de peça teatral (GOMES, 2015), de planos de aula, textos autorais e sugestões (SÁ, 2015), de *website* (PEREIRA, 2019) e de simuladores virtuais (WALENDOWSKY, 2019).

Outro ponto interessante compreendido a partir do quadro 2 é a distribuição de principal referencial teórico para a construção dos produtos didáticos. A maioria dos trabalhos tem embasamento puro ou associado à Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, discutida por Moreira (1999). No entanto, alguns outros têm a marca da metodologia dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (KARAM et al., 2016), das habilidades e competências do Currículo Mínimo de Física do Estado do Rio de Janeiro (BARCELLOS e GUERRA, 2016), da TTD de Chevallard ou documentação legal norteadora (RODRIGUES et al., 2014; SÁ, 2015) e da metodologia de Instrução pelos Colegas (FREIRE JÚNIOR, 2018).

Mesmo com essa gama de obras revisadas, nenhuma possui, em sua plenitude, as características daquilo que aqui propomos, isto é, um produto didático constituído de material didático escrito mais *WebQuest* para ensinar TRR no EM. Até existem trabalhos que abrangem esta primeira frente ou com o mesmo referencial teórico (RODRIGUES et al., 2014; SÁ, 2015), mas com perspectiva distinta de alfabetizar cientificamente. Portanto, sem contemplar simultaneamente a compreensão básica de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais, a compreensão da NdC e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática e o entendimento das relações entre CTSA.

4.2 GRUPO 2: SOBRE O ENSINO HÍBRIDO

O ensino híbrido tem sido apontado como um dos caminhos para conciliar as NTIC conectadas em rede com os programas de educação formal (CASTRO et al., 2015). Porém, ainda é baixo o número de trabalhos que utilizam esta metodologia em aulas de física no EM. É o que nos mostra o resultado desta parte da revisão, uma vez que verificamos nos meios consultados somente uma publicação em revista especializada e seis dissertações de mestrado.

De posse destes trabalhos, no quadro 3, empreendemos uma análise para frisar o modelo de ensino híbrido e os recursos didáticos utilizados em cada situação sem esquecermos de mostrar o tipo de obra, o (s) autor (es), o ano de publicação e o título da obra.

Quadro 3: informações de obras sobre o ensino híbrido em aulas de física do EM.				
Tipo de obra	Autor (es) / Ano de publicação	Título da obra	Modelo de ensino híbrido utilizado	Recurso (s) didático (s) utilizado (s) <i>on-line</i>
1 Dissertação	Almeida (2015)	O uso da educação a distância como complemento ao ensino presencial nos cursos de física do ensino médio	Adaptação do laboratório rotacional	Plataforma Moodle
2 Dissertação	Barbosa (2015)	Movimento circular uniforme: aprendizagem pelo modelo da sala de aula invertida	Sala de aula invertida	<i>Sites</i> como <i>Youtube</i> , repositório de objetos de aprendizagem etc.
3 Dissertação	Caverson (2016)	Explorando o ensino híbrido em física: uma proposta para o ensino de fenômenos ondulatórios utilizando ferramentas multimidiáticas	Rotação por estações e laboratório rotacional	<i>Site</i> autoral com auxílio de terceiros
4 Dissertação	Molina (2016)	Método multimeios de ensino de física: o ensino híbrido no primeiro ano do ensino médio	Laboratório rotacional	Ambiente Virtual de Aprendizagem
5 Artigo	Sales (2017)	Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de Física: metodologias	Adaptação do laboratório rotacional	Glossário Hipertextual, Construção de páginas

		ativas aplicadas aos espaços de Aprendizagem e na prática docente		<i>Wiki e Quizzes</i> com suporte no Ambiente Virtual de Aprendizagem MOODLE
6 Dissertação	Moura (2018)	Ensino híbrido no ensino de eletromagnetismo	Rotação por Estações e Sala de Aula Invertida	<i>Sites</i> como <i>Youtube</i> , repositório de objetos de aprendizagem etc.
7 Dissertação	Santos (2019-b)	Utilizando sala de aula invertida em aulas experimentais de física térmica	Sala de aula invertida	<i>Sites</i> como <i>Youtube</i> , repositório de objetos de aprendizagem etc.
Fonte: o autor.				

Com base no quadro acima, constata-se uma preferência idêntica a nossa por um tipo de ensino híbrido sustentado em detrimento do disruptivo, isto é, pelo uso de NTIC *on-line* em sala de aula sem grandes mudanças no ambiente educacional (SCHIEHL, 2016). A conclusão se justifica pelo não aparecimento de obras que utilizam os modelos *flex, a la carte* e virtual enriquecido e pelas escolhas do modelo rotacional nos âmbitos da sala de aula invertida, da rotação por estações e do laboratório rotacional nas pesquisas revisadas. Aliás, este último, é o que usamos na sequência de ensino para a implementação do produto didático resultante deste trabalho.

Ora, ainda de acordo com o quadro 3, são variados os recursos didáticos utilizados nas obras averiguadas. São exemplos *sites* autorais, consulta a páginas de terceiros, repositórios de objetos de aprendizagem, ambientes virtuais de aprendizagem, glossário hipertextual, páginas *Wiki* e *Quizzes*. Entretanto, nenhum deles faz referência ao uso de *WebQuest*, ferramenta que utilizamos durante as aulas com o papel de complementar o material didático escrito e desvelar possíveis relações CTSA entre a TRR e o GPS.

4.3 GRUPO 3: SOBRE A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Encontramos sete trabalhos que, de alguma maneira, tentam examinar o surgimento de AC em aulas de física do EM. São dois artigos publicados em periódicos nacionais e cinco dissertações do MNPEF. Embora existam particularidades que os

diferenciam, a metodologia de pesquisa predominante em todas as ocorrências é de ordem qualitativa.

A seguir, no quadro 4, indicamos informações mais específicas acerca de cada trabalho, incluindo seu tipo, seu (s) autor (es), seu ano de publicação, seu título, o método de avaliação da AC em alunos do EM e os respectivos instrumentos de coleta de dados utilizados.

Quadro 4: informações de obras sobre AC em aulas de física do EM.				
Tipo de obra	Autor (es) / Ano de publicação	Título da obra	Método de avaliação da alfabetização científica	Instrumento (s) de coleta de dados utilizado (s)
1 Artigo	Souza e Sasseron (2012)	As interações discursivas no ensino de física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica dos alunos	Pesquisa qualitativa: parâmetros de organização, seriação ou classificação de informações, elaboração e teste de hipóteses, raciocínio lógico, justificativa, previsão e explicação	Gravação de áudio
2 Dissertação	Leite (2016)	O estudo das diversas formas de produção de energia em uma abordagem CTSA: buscando indícios de alfabetização científica de estudantes do ensino médio	Pesquisa qualitativa: análise da qualidade dos argumentos e das operações epistemológicas presentes neles	Diário de campo do professor, gravações de aulas em vídeo, gravações de conversas em áudio, cópia das atividades escritas e entrevista gravada em áudio.
3 Dissertação	Ramos (2015)	Alfabetização científica no ensino de fissão e fusão nuclear para o ensino médio	Pesquisa qualitativa: análise do desempenho dos alunos	Exercícios para fixação, questionários e prova escrita tradicional
4 Dissertação	Pinto (2016)	Promovendo a alfabetização científica nos estudos de	Pesquisa qualitativa: análise do conteúdo	Diário de campo do professor e material produzido pelos

		circuitos elétricos resistivos por meio de atividades colaborativas		estudantes
5 Dissertação	Nascimento (2017)	Sequência de práticas com recursos multimídia para ensino de eletromagnetismo no EJA e PROEJA	Pesquisa qualitativa: análise do desempenho dos alunos	Questionário e prova escrita tradicional
6 Artigo	Charret et al. (2018)	Física em verso e prosa: a voz dos alunos sobre a Física escolar através de redações	Pesquisa qualitativa: análise de textos	Produção de textos
7 Dissertação	Oliveira (2019)	Lançamento de projéteis e aprendizagem baseada em projetos como elementos estimuladores da alfabetização científica em alunos do ensino médio.	Pesquisa qualitativa: análise do discurso, da qualidade dos argumentos e das operações epistemológicas.	Diário de campo do professor, imagens fotográficas e questionário.
Fonte: o autor.				

A partir do quadro 4, notamos que os métodos de avaliação da alfabetização científica em alunos do EM são variados. Podem ser tomados para análise os parâmetros de organização, a seriação ou classificação de informações, a elaboração e o teste de hipóteses, o raciocínio lógico, a justificativa, a previsão e a explicação em determinadas conjunturas. Em outras situações, podem ser observadas as análises de comportamentos ou desempenho dos estudantes, de textos, de discurso, de conteúdo, da qualidade dos argumentos e das operações epistemológicas presentes.

Em consonância, como já era esperado, os instrumentos de coleta de dados também se mostraram diversificados. Para se obter a confirmação de AC nos trabalhos, foram usados desde gravação em áudio e em vídeo, diário de campo do professor, questionários e imagens fotográficas a até produção de textos, desenhos e prova escrita tradicional.

Levando-se em consideração as observações destacadas acima, pontuamos a concordância da nossa abordagem qualitativa realizada durante a intervenção didática com trabalhos revisados que discorrem sobre a AC no ensino de física do EM. Acreditamos que o motivo esteja ligado à proposição de objetivos da própria AC, impossível de realizá-los sem gerar motivação para o estudo da ciência, posicionamentos crítico-reflexivos sobre sua construção e melhora na estrutura e qualidade da argumentação.

CAPÍTULO 5: METODOLOGIA

5.1 QUANTO AO PRODUTO EDUCACIONAL

Orientados pela TTD de Chevallard (1991) e pelos princípios de Astolfi e Develay (1995), por meio de pesquisa bibliográfica em fontes secundárias como publicações em periódicos, livros e dissertações, produzimos um material didático escrito associando física e HFC com o interesse de gerar o ensino para a aprendizagem da moderna concepção de espaço-tempo fundamentados no processo de superação da física newtoniana pela TRR. Nesta parte do produto, enfatizamos os eixos estruturantes da AC (1) compreensão básica de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais e (2) compreensão da NdC e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática.

Para tanto, no material didático escrito, apresentamos informações sobre os múons e problematizamos a existência desse tipo de partícula em baixas altitudes, algo não explicado pelas leis da mecânica clássica. Os conteúdos abordados ao longo do texto foram: a unificação do eletromagnetismo e da ótica por Maxwell; a velocidade constante da luz e a não-invariância das equações de Maxwell nas transformações de Galileu; as tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter, a contração de Lorentz-Fitzgerald para o espaço e as transformações de Lorentz; a reinterpretação de Albert Einstein ao problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento; um retorno ao problema de vida média do múon; a incompatibilidade dos conceitos de espaço e tempo na teoria newtoniana e espaço-tempo na teoria einsteiniana segundo Thomas S. Kuhn.

Acerca dos cuidados tomados durante a redação do material didático, destacamos que o direcionamento do trabalho se deu para alunos de baixa renda e que houve cautela para a não propagação de VDC como visão rígida, visão aproblemática e ahistórica e visão acumulativa de crescimento linear. De mais a mais, aproximamos os meios acadêmico e escolar ao tratar de um conteúdo de FMC, criamos conexões entre os conteúdos “novos” e “antigos” por meio do uso da HFC, listamos exercícios e situações-problema para os alunos, indicamos leituras de textos de divulgação científica e apontamos diversos experimentos para serem realizados com o auxílio de aplicativos em laboratórios virtuais.

Para tratar do terceiro eixo estruturante da AC, o (3) entendimento das relações entre CTSA, usamos uma *WebQuest* em uma página de *internet*⁴. Foram assuntos dessa atividade: a origem do GPS, seu princípio de funcionamento, sua necessária correção espaço-temporal para tamanha precisão, algumas aplicações gerais e uma discussão a respeito do direito de privacidade do cidadão que utiliza o GPS.

Mais especificamente, na *WebQuest*, propomos as seguintes questões para a consulta nas fontes de informações sinalizadas: 1. O que é o GPS? 2. Quando, onde e com que finalidade surgiu o GPS? 3. Sabe-se que os elementos que compõem o GPS são o segmento espacial, o segmento de controle e o segmento de usuários. Faça uma descrição de cada um deles. 4. Qual a altura e a velocidade que os satélites que compõem o GPS podem ter em relação à Terra? 5. A altura e a velocidade dos satélites em relação à Terra interferem nas medidas de posição de um GPS. Assim, relógios de Césio 133 levados pelos satélites devem se adiantar ou atrasar em relação a medidas feitas na terra? Ao responder, use argumentos de relatividade restrita e a equação de dilatação do tempo. 6. Além da altura e da velocidade dos satélites em relação à Terra, existem outros fatores que influenciam nas medidas de posição de um GPS? 7. Em linhas gerais, como são realizadas as correções necessárias ao pleno funcionamento do GPS, isto é, para que ele tenha grande precisão nas medidas de posição no globo terrestre? 8. Cite possíveis aplicações do GPS. 9. É possível estabelecer alguma relação entre a utilização do GPS e a diminuição da privacidade dos cidadãos, se levarmos em consideração que grandes empresas de tecnologia detêm a informação de posição real de muitos indivíduos em todo tempo?

A *WebQuest* que utilizamos, do tipo curta, tinha outros elementos: uma introdução ao assunto, uma descrição do processo que os alunos deveriam utilizar para efetuar a tarefa, um conjunto de fontes de informações necessárias e obrigatórias à execução da tarefa, uma avaliação do rendimento dos alunos, uma conclusão e os créditos.

5.2 QUANTO À SEQUÊNCIA DE ENSINO

O local escolhido para a implementação da sequência de ensino planejada a partir do produto educacional foi o CCS do IFAC, situado na Estrada da APADEQ, N° 1192, Ramal da Fazenda Modelo, Bairro Nova Olinda, em Cruzeiro do Sul, Acre. A

⁴ Endereço em: <<https://sites.google.com/ifac.edu.br/webquestgpsrelatividade>>. Acesso em setembro de 2019.

intervenção didática aconteceu com uma turma de 23 alunos de terceiro ano do curso técnico em agropecuária integrado ao EM em três encontros com aulas duplas de 100 minutos durante 15 dias no mês de setembro de 2019.

As aulas foram produzidas com a metodologia de ensino híbrido no formato de laboratório rotacional. Assim, unimos práticas de ensino mais conservadoras como o uso do material didático em atividades como leitura de textos de divulgação científica, escrita de resenhas, resolução de exercícios e debates sobre teorias com uma educação voltada ao mundo digital propiciada pela *WebQuest*.

A seguir, no quadro 5, são indicados os objetivos, os conteúdos e os recursos didáticos utilizados em cada encontro realizado.

Quadro 5: estrutura da sequência de ensino com objetivos específicos, conteúdos e recursos didáticos dos encontros.			
Encontro	Objetivos	Conteúdos	Recursos didáticos
1	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a incoerência da existência de múons em altitude de nível do mar com as leis da mecânica clássica. - Conhecer o caráter histórico-social de construção da ciência. - Identificar falhas na conciliação das leis da mecânica clássica com o eletromagnetismo de Maxwell e suas respectivas tentativas de solução. - Entender as transformações de Lorentz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Os raios cósmicos e a vida média do múon. - A unificação do eletromagnetismo e da ótica por Maxwell. - A velocidade constante da luz e a não-invariância das equações de Maxwell nas transformações de Galileu. - As tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter, a contração de Lorentz-Fitzgerald para o espaço e as transformações de Lorentz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material didático escrito. - Projetor multimídia. - Pinceis e quadro branco.

2	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender os postulados de Einstein para a TRR bem como a relatividade da simultaneidade, a dilatação do tempo e a contração do comprimento. - Aplicar o arcabouço teórico da TRR ao problema da vida médio do muón e a outras situações-problema. - Perceber o salto conceitual e a incompatibilidade entre as teorias newtoniana e einsteiniana para o movimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - A reinterpretação de Albert Einstein ao problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento. - Um retorno ao problema de vida média do múon. - A incompatibilidade dos conceitos de espaço e tempo na teoria newtoniana e de espaço-tempo na teoria einsteiniana segundo Thomas S. Kuhn. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material didático escrito. - Projetor multimídia. - Pinceis e quadro branco.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer detalhes como origem e princípio de funcionamento do GPS. - Compreender o vínculo entre o conteúdo de TRR e a necessidade de correção espaço-temporal do GPS. 	<p>Sobre o GPS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A origem e o princípio de funcionamento. - A necessária correção espaço-temporal para a tamanha precisão. - Algumas aplicações gerais. - Uma discussão sobre o direito de privacidade do cidadão e o uso de tecnologias que fornecem dados confidenciais como sua posição real. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>WebQuest</i>. - Projetor multimídia. - Pinceis e quadro branco.

	<p>- Discutir o direito de privacidade e as implicações benéficas e malélicas devido ao uso de aparatos tecnológicos como o GPS.</p>		
<p>Fonte: o autor.</p>			

Os dois encontros iniciais aconteceram em sala de aula convencional com exposição dialógica de conteúdo. O terceiro encontro foi realizado em uma das salas de informática do CCS do IFAC, que conta com pelo menos um computador com *internet* por aluno. Para ambas as situações, utilizamos o projeto multimídia, quadro branco e pinceis e solicitamos aos alunos que estudassem previamente o produto educacional a fim de que ficassem a vontade para indagações sobre o conteúdo e ponderações de quaisquer ordens.

5.3 QUANTO À COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Classificamos a pesquisa realizada durante as atividades que aconteceram em sala de aula como de abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com procedimento descritivo e participante (BOGDAN e BIKLEN, 1994; ALMEIDA, 2016, p. 120), já que tínhamos a intenção de verificar motivação para a aprendizagem, potencial do material didático escrito e da *WebQuest* enquanto ferramentas para o ensino da TRR com um viés de AC e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia.

Nos dois primeiros encontros, analisamos as discussões de sala de aula e a disposição para a realização de exercícios ou de leituras dos textos de divulgação científica do material didático escrito. Já no último encontro, que permitiu trabalhos em grupos de três integrantes, apreciamos o cumprimento das tarefas da *WebQuest* e uma redação de pelo menos 25 linhas sobre o tema “O GPS: benefícios e malefícios de seu uso” e realizamos um questionários de opinião sobre o produto educacional e a sequência de ensino híbrida.

Como instrumentos de coleta de dados para a pesquisa, utilizamos gravações em áudio, registros fotográficos, questionários, diário de campo do professor e documentos produzidos pelos próprios estudantes. Tudo isso com o devido consentimento livre e esclarecido (Apêndice B) dos participantes da pesquisa que, em sua maioria, são maiores de idade.

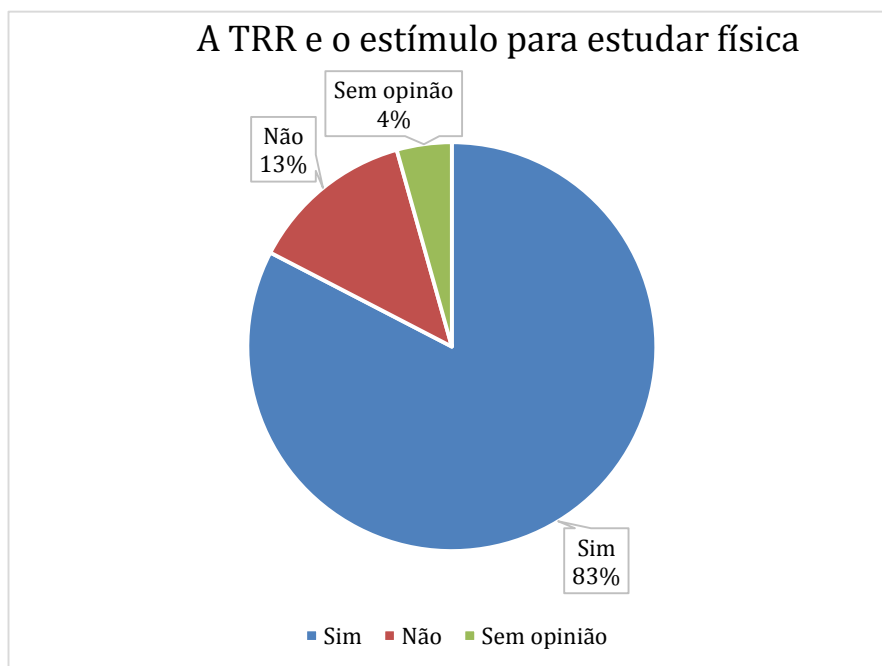
CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como já mencionado antes, a pesquisa aconteceu com uma turma de 23 alunos de terceiro ano do curso técnico em agropecuária integrado ao EM do CCS do IFAC. Ao todo, foram três encontros que somaram 300 minutos em três aulas duplas durante a primeira quinzena do mês de setembro de 2019. O objetivo era ensinar conteúdos da construção da moderna concepção de espaço-tempo da TRR, com um viés de AC utilizando um produto educacional, constituído de material didático escrito mais *WebQuest* e uma sequência de ensino híbrida, ambos objetos de análise neste capítulo.

A propósito, de acordo com o Projeto Pedagógico do Curso, os alunos em questão deveriam aprender apenas conteúdos de física clássica, tais como mecânica, fluidos, termologia, óptica, ondas, eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo. Embora o conhecimento desses assuntos tenham sido encampados na construção do produto educacional e no desenvolvimento das atividades da sequência de ensino híbrida, a inserção de um tópico de FMC como TRR no currículo certamente se tornou determinante na motivação para estudar física na reta final do ano letivo.

O gráfico 1 ilustra as opiniões sobre a TRR enquanto tema estimulante à aprendizagem. Elas foram colhidas com um questionário (Apêndice C) realizado com os 23 alunos que participaram da intervenção didática.

Gráfico 1: respostas à questão um do questionário do Apêndice C.



Fonte: elaborado pelo autor.

Pelo gráfico mencionado imediatamente acima, percebemos que a ampla maioria dos alunos manifestou boa receptividade à TRR no ensino médio. Ao todo, 83% se disseram instigados, enquanto 13% não se incentivaram diante do tema. Apenas um aluno não quis opinar, o que corresponde a 4%.

Ao encontro desse significativo resultado, que é comum em trabalhos empíricos sobre ensino de TRR (MACHADO e NARDI, 2006; RODRIGUES et al., 2014; BARCELLOS e GUERRA, 2015; SÁ, 2015; CAPELARI, 2016; KARAM et al., 2016; BENDIA FILHO, 2018), o trecho de texto que indicamos à frente, retirado do diário de campo do professor, demonstra que alguns participantes da pesquisa se sentiram animados com a escolha do tema:

“Ao entrar em sala de aula para o primeiro dia de intervenção, pude notar o quanto os alunos estavam ansiosos. Eles já tinham acesso ao material didático escrito, pois pedi que lessem antes para apontar dúvidas, tecer críticas, indicar pontos para maior discussão em sala de aula. Então, talvez pelo contato prévio ou pela popularidade do tema, mais de um deles perguntou se era realmente naquele dia que estudaríamos o conteúdo novo [TRR] ou que falaríamos sobre Einstein.” (Diário de campo do professor - Arquivo do autor)

Inclusive, em momentos de destaque das atividades de ensino que versavam sobre as consequências da teoria propriamente dita, os estudantes se sentiram encorajados a socializar suas compreensões através de operações epistemológicas elencadas como estrutura da argumentação por Sasseron e Carvalho (2008) como indícios de AC. Por exemplo, as ponderações abaixo indicam causalidade, apelo a exemplo e apelo à analogia, respectivamente:

“Então, se os raios cósmicos colidem com partículas da atmosfera e causam isso tudo [Refere-se ao Chuveiro Aéreo Extenso, que tratamos no material didático escrito], devem fazer mal aos astronautas e até a nós mesmos quando andamos de avião” (Transcrição de áudio do aluno V. – Arquivo do autor)

“Professor, no filme Interestelar, o personagem principal viaja na velocidade da luz e o tempo passa mais devagar para ele do que para a filha dele. Tem haver, né? [Sobre a dilatação do tempo na

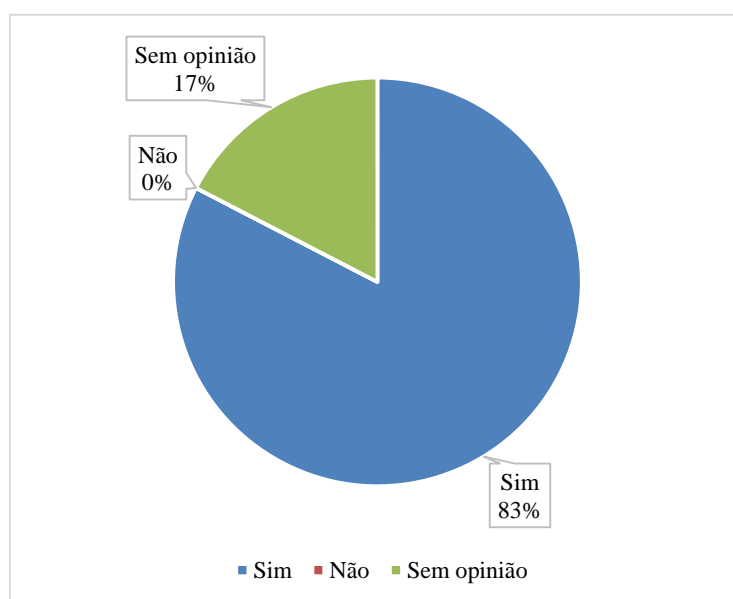
relatividade] Então, não é só ficção?”. (Transcrição de áudio do aluno M. – Arquivo do autor)

“Mas como a velocidade da luz permanece constante se o carro que leva ela se move? Não faz sentido com o princípio de Galileu!”. (Transcrição de áudio de aluna não identificada – Arquivo do autor)

A implementação do produto educacional a partir da metodologia de laboratório rotacional do ensino híbrido é outro fator que teve destaque no incentivo à aprendizagem. Foi possível perceber maior interesse dos alunos em substituição à apatia de outrora em aulas transmissivas. Neste caso, justificadas pela necessidade de cumprir um extenso conteúdo programático em tempo hábil para a realização de vestibulares e Exame Nacional do Ensino Médio.

O gráfico 2 trata da aceitação da turma a essa nova metodologia com base na questão (Apêndice C) “Você acredita que aprender física a partir de aulas que utilizem meios tradicionais (discussão entre professor e aluno, resolução de exercícios, leitura de textos de divulgação científica etc.) em conjunto com meios digitais *on-line* (sites, *WebQuest*, simulações virtuais etc.) seja proveitoso para a sua aprendizagem?”:

Gráfico 2: respostas à questão dois do questionário do Apêndice C.

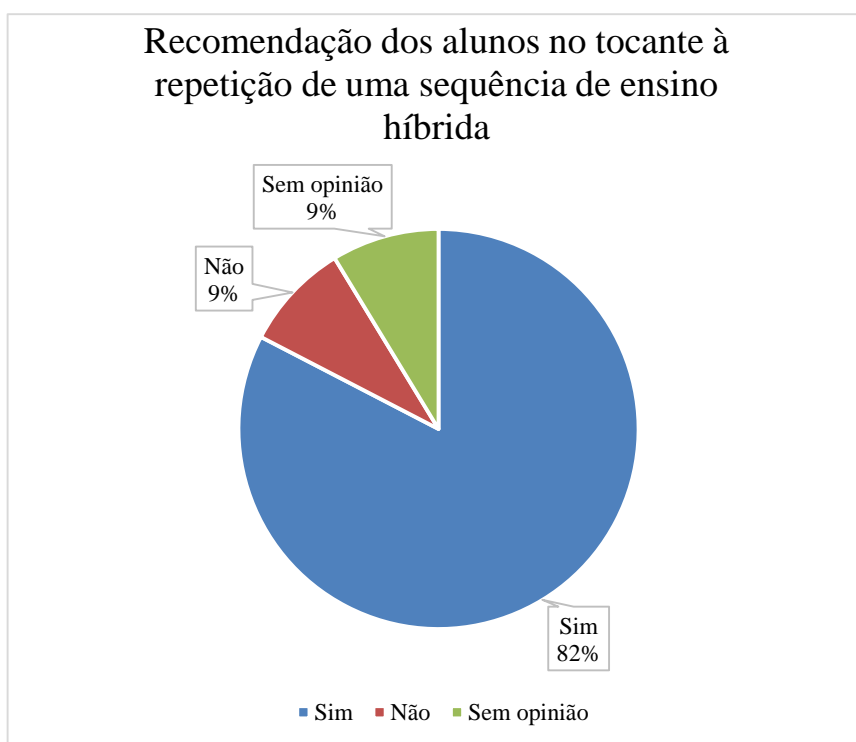


Fonte: elaborado pelo autor.

Com os dados, percebe-se que a maioria (83%) avaliou como benéfica à própria aprendizagem a complementação entre atividades educacionais usando ferramentas tradicional e em rede, de modo que 17% não emitiram opinião e nenhum aluno negou a sua importância. Em um trabalho a respeito do uso da educação à distância como complemento ao ensino presencial nos cursos de física do ensino médio, Almeida (2015, p. 61) obteve resultados similares.

Outra informação interessante é que 82% da turma recomendaria aprender ou gostaria de repetir uma sequência de ensino híbrida, ao passo que só 9% responderam não e outros 9% não quiseram opinar, como aponta o gráfico 3. Acreditamos que isso se explica pela relativa tomada de autonomia dos sujeitos diante do professor em contraposição à passividade assegurada no ensino tradicional, algo que parece ter despertado concentração e disciplina.

Gráfico 3: respostas à questão três do questionário do Apêndice C.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os registros fotográficos indicadas na figura 8 ajudam nessa mesma percepção, porque demonstram os participantes da pesquisa bastante concentrados e envolvidos nas duas etapas do processo de ensino e aprendizagem híbrido, isto é, nos momentos que aconteceram em sala de aula convencional e no laboratório de informática.

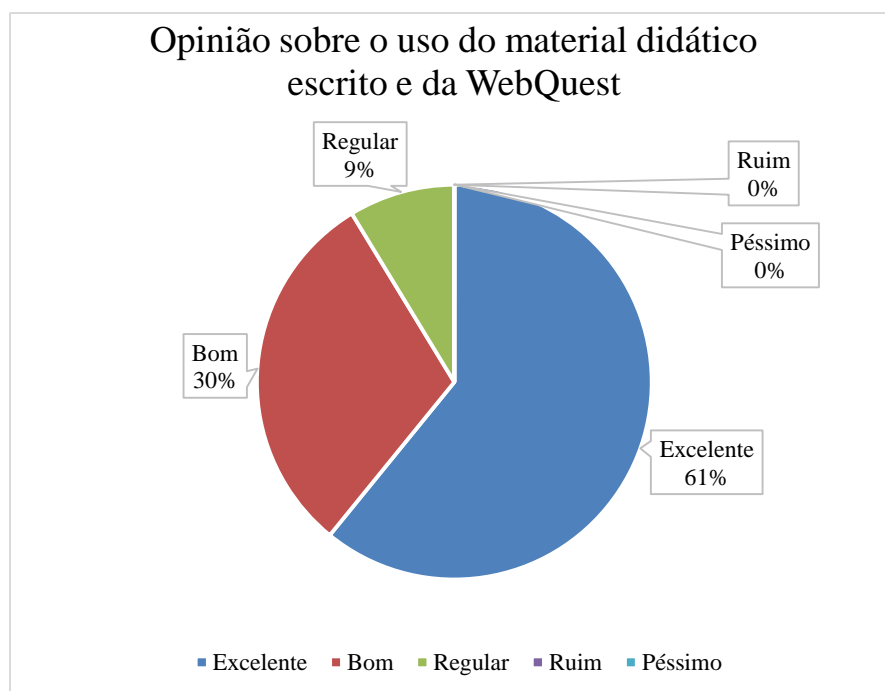
Figura 8: registros fotográficos da primeira e segunda etapas da implementação da sequência de ensino híbrida.



Fonte: arquivo do autor.

O desdobramento do produto educacional também foi um mecanismo que motivou a compreensão dos assuntos vinculados a TRR. É o que confirma o gráfico 4 que informa a opinião dos participantes sobre a implementação do produto educacional.

Gráfico 4: respostas à questão quatro do questionário.

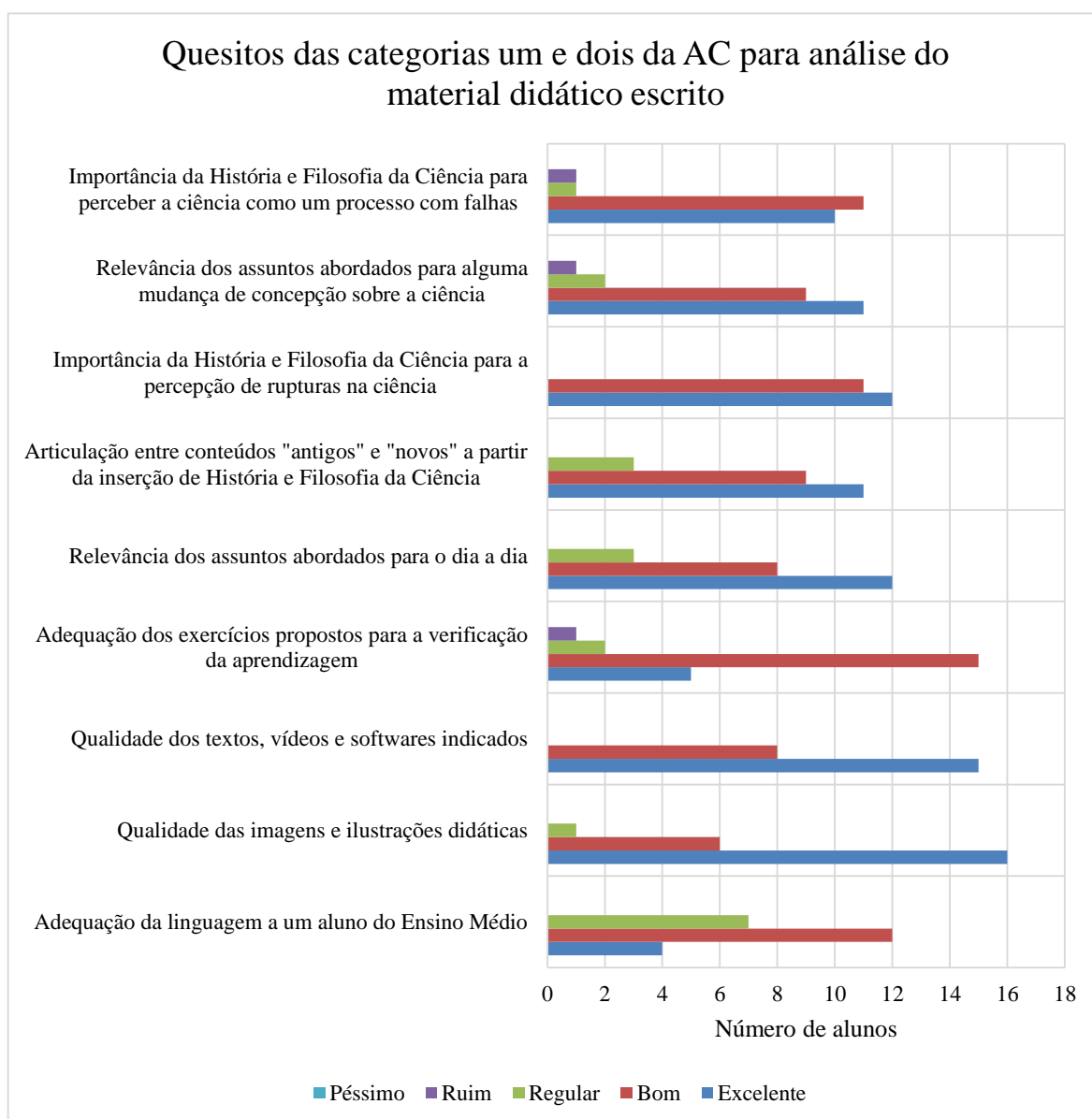


Fonte: elaborado pelo autor.

Nessa avaliação, 61% qualificaram o uso do produto educacional como excelente, 30% como bom e 9% como regular ao mesmo tempo que nenhum aluno considerou ruim ou péssimo. Assim, também podemos dizer que a associação material didático escrito e *WebQuest* se tornou um meio facilitador da aprendizagem sobre TRR.

Ao analisarmos individualmente os constituintes do produto educacional, constatamos que o material didático escrito esboçou um grande potencial enquanto ferramenta para o ensino da construção da TRR com trato de AC. Formulamos essa afirmação a partir do gráfico 5, que exprime apreciações dos estudantes a quesitos vinculados aos seguintes eixos estruturantes da AC, aqui transformados em categorias de análise: (1) compreensão básica de termos, de conhecimentos e de conceitos científicos fundamentais e (2) compreensão da NdC e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática.

Gráfico 5: respostas à questão cinco do questionário do Apêndice C.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para o exame da primeira categoria da AC, elencamos na questão cinco do questionário alguns aspectos do material didático escrito. Entre eles, está a adequação da linguagem a alunos do EM, a qualidade das imagens e ilustrações didáticas, a qualidade dos textos, vídeos e *softwares* indicados, a adequação dos exercícios propostos a verificação da aprendizagem e, finalmente, a relevância dos assuntos abordados para o dia a dia de um aluno do EM. Então, notamos que a maioria das apreciações se classificou entre excelente e bom, mas fluuando para regulares e em raras situações, ruins.

Alguns trechos de apontamentos dos participantes da pesquisa citados abaixo reforçam o entendimento acima:

“De modo geral o material de didático é muito amplo de informações e de ilustrações, porém poderia ser mais esclarecedor”. (Resposta do aluno U. à questão sete do questionário).

“O trabalho está bom no sentido de conteúdos, é uma linguagem muito complexa, tem muito conteúdo onde faz que o leitor tenha conhecimento maior. Os cálculos contidos tem que ser trabalhado diretamente, pois há dificuldade nos mesmos. No material tem algumas *charges*, fazendo que a leitura não se torne chata e cansativa. As perguntas são interessantes, pois trazem curiosidade e conhecimento ao leitor. Os cálculos devem ser trabalhados, pois algumas leituras não são bem compreensivas, recomendaria que estivesse algumas explicações mais detalhadas para uma maior compreensão.” (Resposta do aluno C. L. à questão sete do questionário).

“Foi tudo muito novo para mim, e esse novo me surpreendeu bastante, estava muito bom o material, conteúdo... Deu para perceber que o Professor Diego se dedicou bastante a esse trabalho e está de parabéns. :-).” (Resposta do aluno L. à questão sete do questionário).

“Sugestão é que passe esse conteúdo para com todas as turmas, se trata de um conteúdo importante para a evolução do conhecimento físico das pessoas, pois se trata de um assunto bem amplo. Crítica é que tem partes de cálculos que ficaram de difícil entendimento, melhorar ou ampliar a explicação, fora isso o material passado é

excelente. O material ficou bem claro para mim.” (Resposta da aluna A. à questão sete do questionário).

Uma particularidade dos dados que chamou a atenção diz respeito à adequação da linguagem do material didático escrito a alunos do EM, tendo em vista que sete deles julgaram esse quesito como regular. Inclusive, houveram as sinalizações demonstradas a seguir:

“O material possibilitou a compreensão, porém pelo fato de apresentar uma linguagem relativamente complexa o torna um pouco complexo.” (Resposta do aluno V. à questão sete do questionário).

“Muito bom, linguagem ótima no início, porém no decorrer do texto complicou um pouquinho, mas com a explicação do material pelo professor clareou um pouco mais (...).” (Resposta do aluno C. N. à questão sete do questionário).

“Devido ter faltado algumas noções de física tanto do primeiro quanto do segundo ano acaba prejudicando um pouco o entendimento. No entanto foi possível ter a noção de muita coisa, ficou mais fácil ainda quando o senhor [autor] explicou na sala.” (Resposta da aluna R. à questão sete do questionário).

Desse modo, tal como aconteceu no trabalho de Sá (2015, p. 135), para o completo sucesso da transposição didática dos assuntos abordados no material didático escrito, há a necessidade de aprimorar a linguagem para maior acessibilidade. Mesmo assim, ressaltamos que a preocupação é branda, pois existe dificuldade de leitura envolvendo os conteúdos que aludimos até mesmo para estudantes do ensino superior.

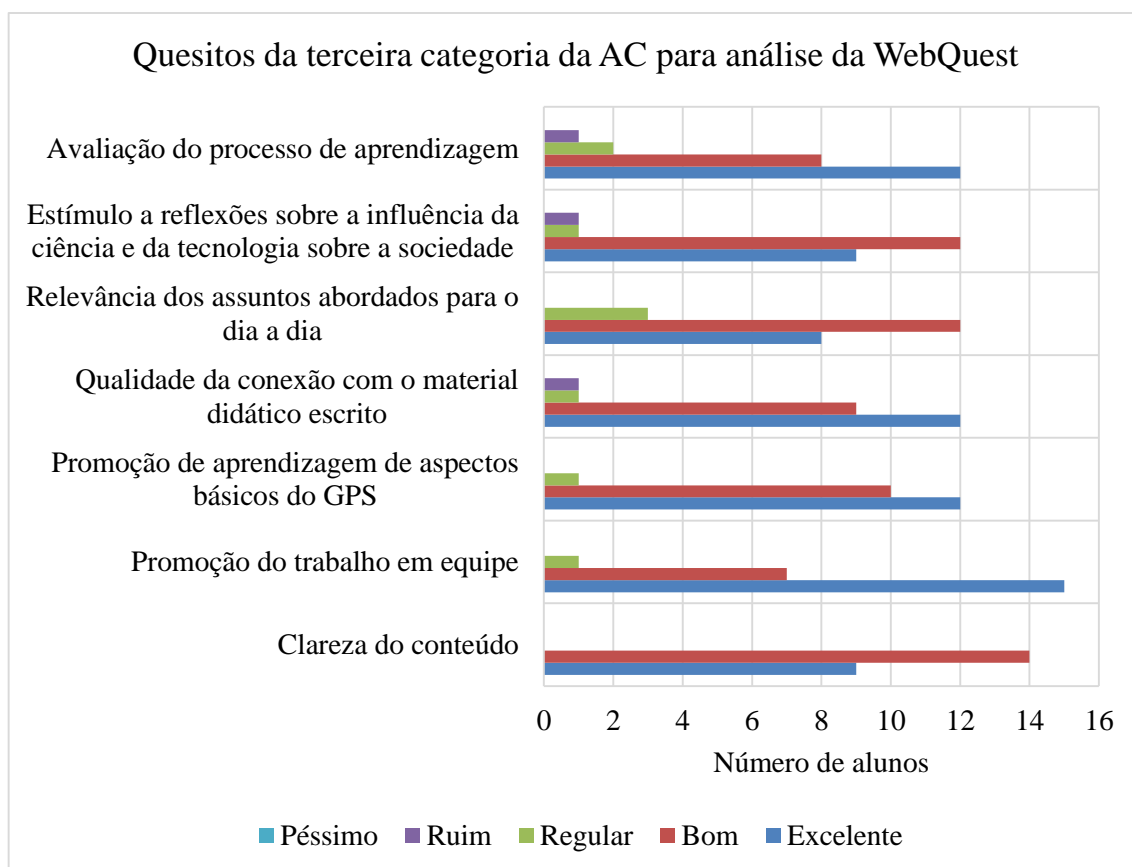
A apuração da segunda categoria da AC, que discorre sobre a compreensão da NdC e dos fatores éticos e políticos que circundam a sua prática, foi alcançada com base nos seguintes aspectos julgados do material didático escrito: a articulação entre conteúdos "antigos" e "novos" a partir da inserção de HFC, a importância da HFC para a percepção de rupturas na ciência, a relevância dos assuntos abordados para alguma mudança de concepção sobre a ciência e, por fim, a importância da HFC para perceber a ciência como um processo em que as falhas acontecem. Como é possível ver no gráfico

5, os conceitos atribuídos pelos alunos a esses quesitos oscilaram entre excelente e bom, com poucas exceções entre regular e ruim.

Isso nos faz acreditar, a exemplo de Sá (2015, p. 39), Capelari (2016), Pettersen (2017, p. 9) e Freire Júnior (2018), que a inserção da HFC em aulas de física possibilita motivação para o estudo, facilita a aprendizagem e pode gerar uma visão menos afetada de deformações. Isto é, partindo dos pontos colocados em voga no questionário, pelo menos na percepção de que o fazer científico é um processo histórico, que passa por crises e progride por intermédio da resolução de problemas.

Por sua vez, o uso da *WebQuest* durante a intervenção didática evidenciou a sua boa eficiência como instrumento para ensinar a TRR com uma perspectiva de AC. Contudo, nesse caso, voltado para o terceiro eixo estruturante, quer dizer, o entendimento das relações entre CTSA. É o que revela o gráfico 6 que representa à sexta questão do questionário do Apêndice C.

Gráfico 6: respostas à questão seis do questionário do Apêndice C.



Fonte: elaborado pelo autor.

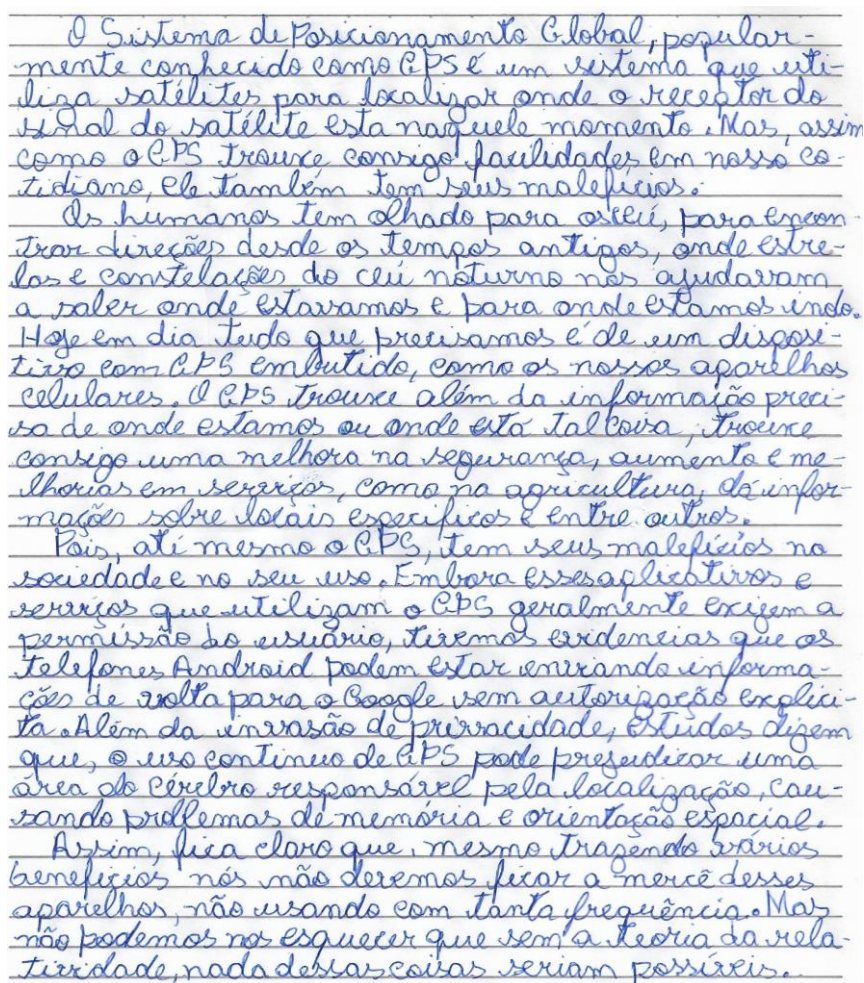
No geral, com os dados supramencionados, os julgamentos sobre a atividade de *WebQuest* se alternaram entre excelente e bom, com situações isoladas de regular e ruim, revelando boa aceitação ao uso ativo de NTIC. A efetiva participação durante a

aula, demonstrada na entrega de todas as tarefas propostas, e alguns comentários realizados na questão sete do questionário (Apêndice C) confirmam isso: “a *WebQuest* e a sequência de aulas ajudou-me a entender o conteúdo proposto”, “a *WebQuest* está bem organizada e de fácil acesso” e “o *WebQuest* é um *site* muito bem elaborado”.

Além do mais, a análise minuciosa do gráfico 6 evidencia que a execução da atividade de *WebQuest* teve clareza de conteúdo e de avaliação no processo de ensino e aprendizagem. Ela ainda possibilitou a conexão com o material didático escrito, a promoção de trabalho em equipe, a aprendizagem de aspectos do GPS, a compreensão de assuntos do dia a dia e o estímulo a reflexões sobre a influência da ciência e da tecnologia sobre a sociedade.

Essa última, exibida majoritariamente em dissertações realizadas por trios de alunos com o tema “O GPS: características, benefícios e malefícios devido ao seu uso”, como mostram as figuras 9 e 10.

Figura 9: exemplo um de dissertação desenvolvida por um grupo de até três alunos.



O Sistema de Posicionamento Global, popularmente conhecido como GPS é um sistema que utiliza satélites para localizar onde o receptor do sinal do satélite está naquele momento. Mas, assim como o GPS trouxe consigo facilidades em nosso cotidiano, ele também tem seus malefícios.

Os humanos tem olhado para o céu, para encontrar direções desde os tempos antigos, onde estrelas e constelações do céu noturno nos ajudaram a saber onde estávamos e para onde estamos indo. Hoje em dia tudo que precisamos é de um dispositivo com GPS embutido, como os nossos aparelhos celulares. O GPS trouxe além da informação precisa de onde estamos ou onde está tal coisa, trouxe consigo uma melhora na segurança, aumento e melhorias em serviços, como na agricultura, de informações sobre locais específicos e entre outros.

Pois, até mesmo o GPS, tem seus malefícios na sociedade e no seu uso. Embora essas aplicações e serviços que utilizam o GPS geralmente exigem a permissão do usuário, tivemos evidências que os telefones Android podem estar enviando informações de volta para o Google sem autorização explícita. Além da invasão de privacidade, estudos dizem que, o uso contínuo de GPS pode prejudicar uma área do cérebro responsável pela localização, causando problemas de memória e orientação espacial.

Assim, fica claro que, mesmo trazendo vários benefícios nós não devemos ficar a mercê desses aparelhos, nós usando com tanta frequência. Mas não podemos nos esquecer que sem a teoria da relatividade, nada dessas coisas seriam possíveis.

Fonte: arquivo do autor.

Figura 10: exemplo dois de dissertação desenvolvida por um grupo de até três alunos.

O "Olho de Deus"

O Sistema de Posicionamento Global foi criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, o mesmo tem por função identificar a localização de um receptor, na superfície da Terra, que capte sinais emitidos por satélites. O receptor capta os sinais de quatro satélites para determinar as suas próprias coordenadas.

Atualmente esse sistema conta com 24 satélites e mais 4 sobressalentes, em seis planos orbitais, a uma altitude de 19 000 Km. Esses satélites estão distribuídos de modo que um receptor, posicionado em qualquer lugar da superfície da Terra esteja em área de alcance de ao menos dois satélites, possibilitando assim uma margem de erro do posicionamento abaixo de 1 cm.

Devido ao próprio nome já se chamar "Sistema de Posicionamento Global", acaba explicando a principal importância do GPS, saber onde estou, e como posso facilitar minha própria locomoção no trânsito, por exemplo. Com isso uma das aplicações mais exploradas para usuários comuns é a utilização do sistema em automóveis. Pode ser utilizado também em expedições dentro de matas, além de serem importantes para veículos aéreos e fluviais, permitindo saberem exatamente onde se encontram, no céu ou no mar.

O mesmo possui algumas "desvantagens", devido não informar se um lugar é seguro ou não, e ainda pode vir sendo utilizado para espionar ou retirar a privacidade de alguém.

O GPS também está diretamente ligado a teoria da relatividade, pois sem ela, o mesmo não teria tão grande precisão.

Fonte: arquivo do autor.

Pelos textos acima, que são exemplos do todo e têm características próprias, percebe-se que a atividade de *WebQuest* possibilitou a identificação do GPS como aparato tecnológico dependente do desenvolvimento da concepção de espaço-tempo ou, mais precisamente, do nascimento da TRR. E mais, que os participantes da pesquisa passaram a compreender aspectos estruturais do GPS bem como analisaram a sua inserção no cotidiano, seja com a atribuição de aplicações que facilitam a realização de

atividades humanas ou mesmo estabelecendo críticas a malefícios para a saúde e para a possível falta de privacidade de qualquer usuário.

Embora produções textuais ainda sejam exóticas em aulas tradicionais de física (MENDONÇA, 2018, p. 85), a atividade de redações empreendida se mostrou exitosa. O argumento para essa conclusão é o fato de que os estudantes tiveram a oportunidade de expressar sua compreensão de mundo e, talvez mais importante, refletir para atacar suas próprias paralisias diante de problemas sociais que envolvem ciência e tecnologia.

CAPÍTULO 7: CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito desse trabalho foi promover a aprendizagem da moderna concepção de espaço-tempo da TRR com um viés de AC a alunos de um terceiro ano do EM. Para esse fim, criamos um produto educacional feito com um material didático escrito que destacou tanto o conteúdo de física em si como uma visão histórico-filosófica do processo de superação da física newtoniana e uma *WebQuest* com atividades sobre a relação entre a TRR, o GPS e questões sociais.

Após a aplicação desse material em uma sequência de ensino híbrida de laboratório rotacional, percebemos alguns destaques baseados em gravações de áudio, registros fotográficos, questionários, diário de campo do professor e documentos produzidos pelos próprios estudantes. São eles: grande motivação para o estudo a partir do tema TRR, boa receptividade com o ensino híbrido, potencial do material didático escrito e da *WebQuest* para ensinar a construção da noção de espaço-tempo da TRR e alcance dos três eixos estruturantes da AC.

Dessa maneira, acreditamos que os objetivos estabelecidos nessa dissertação foram completamente alcançados. Em consequência disso, houve o início de uma formação para que os indivíduos passassem a serem críticos diante de suas realidades, ainda que os objetivos da AC devessem ser tratados em sua amplitude desde o início do EM ou até mesmo no ensino fundamental.

Contudo, há viabilidade de personalização de nosso produto educacional visando aulas nos dois anos iniciais do EM. Para tanto, é plausível adequar a sua escrita ao público-alvo ou faixa etária desejável, associá-lo com outro recurso de aprendizagem ou empregar suas partes individualmente, isto é, usar com independência o material didático escrito ou a *WebQuest*.

Esclarecemos isso, pois há insuficiência de materiais que auxiliem na aprendizagem de tópicos de FMC no EM, algo requerido há bastante tempo pelos PCN e novamente reforçado pela Base Nacional Comum Curricular. Desse modo, a nossa tentativa de melhorar o ensino de física na educação básica brasileira não pode ficar reclusa a Cruzeiro do Sul, Acre. Afinal, quando a pretensão é melhorar a sociedade em que vivemos a partir da educação, toda mudança ou alternativa que proporcione conhecimento é válida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, M. S. **O uso da educação à distância como complemento ao ensino presencial nos cursos de física do ensino médio.** 162 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

ALMEIDA, B.M. Noções básicas sobre metodologia de pesquisa científica. 2016. Disponível em: <<http://mba.eci.ufmg.br/downloads/metodologia.pdf>>. Acesso em 20 fev. 2019.

ALVES JÚNIOR, P. J. F. **Uma proposta de inserção da relatividade restrita no Ensino Médio.** 121 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2016.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET. **A Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27, 2010.

ANDRADE, M. C. F.; SOUZA, P. R. Modelos de rotação do ensino híbrido: estações de trabalho e sala de aula invertida. **E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 9, n. 1, 2016.

ALVEZ FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicada ao laboratório didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 17, n. 2, p. 174-188, 2000.

ASTOLFI, J-P e DEVELAY, M. **A Didática das Ciências.** Campinas: Papyrus, 1995.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica para quê? **Revista Ensaio**, v. 3, n. 2, p. 105-115, 2001.

AULER, D. ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICA: UM NOVO "PARADIGMA"? **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, vol. 5, núm. 1, marzo, p. 1-16, 2003.

BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. M. **Ensino Híbrido: Personalização e Tecnologia na Educação.** Porto Alegre: Penso, 2015.

BACICH, L. Ensino híbrido: Relato de formação e prática docente para a personalização e o uso integrado das tecnologias digitais na educação. SIMEDUC, 2016. Disponível em: <<https://eventos.set.edu.br/index.php/simeduc/article/view/3323/1251>>. Acesso em 30 de outubro de 2019.

BARBOSA, P. C. P. **Movimento circular uniforme: aprendizagem pelo modelo da sala de aula invertida (*flipped classroom*)**. 77 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Amazonas/Instituto Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

BARCELOS, M.; GUERRA, A. Inovação curricular e física moderna: da prescrição à prática. **Revista Ensaio**, v.17, n. 2, p. 329-350, maio-ago, 2015.

BENDIA FILHO, A. G. **Estratégias virtuais para a inserção do espaço e tempo relativísticos no ensino de física**. 228 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2018.

BOAS, A. V.; SILVA, M. R.; PASSOS, M. M.; ARRUDA, S. M. História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2: p. 287-322, ago. 2013.

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Física** 1. ed. São Paulo: FTD, 2011. Volume único

BOURDIEU, P.; PASSERON, J. **A reprodução: elementos para uma teoria do sistema de ensino**. 3.ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1992.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Médio e Tecnológico. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/SEMTEC, 2002.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 387-404, 2005.

CACHAPUZ, A.; PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. **A necessária renovação do ensino das Ciências**. São Paulo: Cortez, 2011.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física Moderna no Ensino Médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 355-366, 2009.

CASTRO, E. A.; COELHO, V.; SOARES, R.; SOUSA, L. K. S. de; PEQUENO, J. O. M.; MOREIRA, J. R. Ensino híbrido: desafio na contemporaneidade? **Projeção e Docência**, Brasília, v. 6, n. 2, p. 47-58, jul./dez. 2015.

CAVERSAN, R. H. M. **Explorando o ensino híbrido em física: uma proposta para o ensino de fenômenos ondulatórios utilizando ferramentas multimidiáticas**. 166 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2016.

CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHARRET, H. C.; GOULAR, C. M. A.; TEIXEIRA, S. K. Física em verso e prosa: a voz dos alunos sobre a Física escolar através de redações. **Revista Pro.Posições**, v. 29, n. 3 (88), set./dez. 2018.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 89-100, 2003.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado**. Argentina: La Pensée Sauvage, 1991.

COUTO, M. S. **A eficácia da *WebQuest* no tema “Nós e o Universo” usando uma metodologia numa perspectiva CTS: Um Estudo de Caso com alunos do 8º ano de escolaridade.** 175 p. Dissertação de Mestrado em Ensino. Universidade do Minho, Braga, 2004.

CAPELARI, D. **Uma sequência didática para ensinar relatividade restrita no ensino médio com o uso de TIC.** 100 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

FOUREZ, G. **A construção das ciências: introdução à filosofia e a ética das ciências.** São Paulo: UNESP, 1995.

FOUREZ, Gérard. Crise no ensino de ciências? **Investigações em ensino de ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FREIRE, J. C. **Evolução dos conceitos de mundo: uma proposta de inserção da teoria da relatividade no ensino médio.** 111 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FREIRE, K.; RODRIGUES JÚNIOR, J. F. **Webquest: uma pesquisa ação de seu emprego no ensino Fundamental.** Disponível em: <https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2009/2633_1139.pdf> . Acesso em. 30 de outubro de 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia da Esperança: um reencontro com a Pedagogia do Oprimido.** , 16ª ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2009.

FREIRE JÚNIOR, D. G. **Uma sequência didática para a abordagem da relatividade especial na educação básica com a utilização da instrução pelos colegas.** 122 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018.

GARCIA, G. H. **Os conceitos da teoria da relatividade com utilização do ensino sob medida**. 83 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do ABC, Santo André, 2019.

GOMES, M. L. A. **Einstein e a relatividade entram em cena**. 95 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2015.

GUERRA, A.; REIS, J. C.; BRAGA, M. 2010. Tempo, espaço e simultaneidade: uma questão para os cientistas, artistas, engenheiros e matemáticos no século XIX. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 3, p. 568-583, 2010.

GUIMARÃES, G.; SADE, W. Utilizando a transposição didática para introdução do átomo de bohr no ensino médio. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, 18, 2009, Vitória.

HARRES, J. B. S. Uma Revisão de Pesquisas nas Concepções de Professores Sobre a Natureza da Ciência e Suas Implicações para o Ensino, **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 197-211, 1999.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA, D. Tempo relativístico no início do ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 373-386, 2006.

KARAM, R. A. S.; CRUZ, S. M. S. C.; COIMBRA, D. Relatividades no ensino médio: o debate em sala de aula. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, p. 105-114, 2007.

KENSKI, V. M. Aprendizagem mediada pela tecnologia. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 4, n. 10, p. 47-56, 2003.

KUHN, Thomas S. **A estrutura das revoluções científicas**. 11. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A, 2011.

LEITE, V. L. **O estudo das diversas formas de produção de energia em uma abordagem CTSA: buscando indícios de alfabetização científica de estudantes do ensino médio.** 163 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santos, Vitória, 2016.

MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hiperídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 473-485, 2006.

MARTINS, R. A. Sobre o papel da história da ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, v. 9, p. 3-5, 1990.

MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MENDONÇA, M. O. **Proposta de construção de uma sequência didática abordando tópicos de cosmologia no ensino médio.** 180 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MOLINA, N. F. C. **Métodos multimeios de ensino de física: o ensino híbrido no primeiro ano do ensino médio.** 74 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2016.

MONTEIRO, M. A; NARDI, R. As Abordagens dos Livros Didáticos Acerca da Física Moderna e Contemporânea: Algumas Marcas da Natureza da Ciência. In: Atas do XI **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Curitiba, 2008.

MOURA, R. P. **Ensino híbrido no ensino de eletromagnetismo.** 116 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Física). Unidade Acadêmica Especial de Física e Química da Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2018.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EDU, 1999.

NASCIMENTO, F. J. B. **Sequência de práticas com recursos multimídia para ensino de eletromagnetismo no EJA e PROEJA**. 97 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2017.

NEVES, K. C. R.; BARROS, R. M. O. Diferentes olhares MOREIRA, H.; CALEFFE, L. G. **Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008. acerca da transposição didática. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 103-115, 2011.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA D. M.; GERBASSI, R. S. Física Moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, L. D. Utilizando ambientes virtuais no estudo da física de partículas: contribuições de uma visita ao CERN. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**, IX, 2013.

OLIVEIRA, S. L. **Lançamento de projéteis e aprendizagem baseada em projetos como elementos estimuladores da alfabetização científica em alunos do ensino médio**. 95 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2019.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

PRAIA, J.; GIL-PÉREZ, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da ciência Na educação para a cidadania. **Ciência e Educação**, v. 13, n. 2, p. 141-156, 2007.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, V14(3), pp. 393-420, 2009.

PEREIRA, R. V. **Construção de um website sobre a teoria da relatividade restrita**. 84 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do ABC, Santo André, 2019.

PÉREZ, D. G.; MONTORO, I. F.; ALÍS, J. C.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Educação**, v.7, n.2, p. 125-153, 2001.

PETTERSEN, J. A. M. **A arte como elemento facilitador na aprendizagem da relatividade**. 137 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2017.

PINTO, J. S. **Promovendo a alfabetização científica nos estudos de circuitos elétricos resistivos por meio de atividades colaborativas**. 122 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

RAMOS, S. J. M. **Alfabetização científica no ensino de fissão e fusão nuclear para o ensino médio**. 225 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2015.

RIBOLDI, B. M. **A construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para ensinar relatividade utilizando animações e o game *A slower speed of light***. 115 p. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

REIS, J. L. **Uma proposta didática para o ensino de relatividade restrita através do cubismo no ensino médio: aproximando duas culturas**. 100 f. Trabalho de Conclusão

de Curso (Licenciatura em Física). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

RODRIGUES, C. M. **A inserção da física moderna no ensino médio aliada à tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS)**. 147 p. Dissertação (Mestrado do Programa de pós-Graduação em Educação em Ciências: Química de vida e saúde, Área de Concentração em Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

RODRIGUES, C. M.; SAUERWEIN, I. P. S. SAUERWEIN, R. A. Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no ensino médio via estudo do GPS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 1401, 2014.

RENN, J. A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. **Revista brasileira de ensino de física**, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, 2004.

RODRIGUES, C. D. O.; PIETROCOLA, M. A abordagem da relatividade restrita em livros didáticos do ensino médio e a transposição didática. In: **II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**, 1999.

SÁ, M. R. R. **Teoria da relatividade restrita e geral ao longo do 1º ano do ensino médio**: uma proposta de inserção. 314 P. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SALES, G. L.; CUNHA, J. L. L. C.; GONÇALVES, A. J.; SILVA, J. B.; SANTOS, R. L. Gamificação e ensinagem híbrida na sala de aula de física: metodologias ativas aplicadas aos espaços de aprendizagem e na prática docente. **Revista Conexões Ciência e Tecnologia**, Fortaleza/CE, v. 11, n. 2, p. 45 - 52, jul. 2017.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da física**, volume 3: ondulatória, eletromagnetismo e física moderna, 2. ed. São Paulo: Atual, 2005.

SANTOS, A. B. **A teoria da relatividade restrita em uma sequência de ensino potencialmente significativa com o uso de histórias em quadrinhos.** 195 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tramandaí, 2019-a.

SANTOS, C. H. **Utilizando sala de aula invertida em aulas experimentais de física térmica.** 92 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do ABC, Santo André, 2019-b.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica na educação: a proposição e a procura de indicadores. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.13(3), p.333-352, 2008.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Ciência e Educação**, v. 16, n. 1, pp. 59-77, 2011.

SCHIEHL, E. P.; GASPARINI, I. Contribuições do google sala de aula para o ensino híbrido. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 14, n. 2, dezembro, 2016.

SILVA, B. V. C.; MARTINS, A. F. P. Júri simulado: um uso da história e filosofia da ciência no ensino da óptica. **A Física na Escola (Online)**, v.10, p. 17-20, 2009.

SILVA, C. X.; FILHO, B. B. **Física aula por aula**, volume 3, 1. ed. São Paulo: FTD, 2008.

SILVA, P. J. S.; MECATE, E. V. T.; FERRAZ, B. L. Ensino e a aprendizagem do sistema de posicionamento global no curso de engenharia civil. In: XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282443842_O_ENSINO_E_A_APRENDIZAGEM_DO_SISTEMA_DE_POSICIONAMENTO_GLOBAL_GPS_NO_CURSO_DE_ENGENHARIA_CIVIL/link/5610762008aec422d1155434/download>. Acesso em 30 de outubro de 2019.

SOUZA, V. F. M.; SASSERON, L. H. As interações discursivas no ensino de física: a promoção da discussão pelo professor e a alfabetização científica dos alunos. **Ciência e Educação**, v. 18, n. 3, p. 593-611, 2012.

STUDART, N. Simulação, games e gamificação no ensino de Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 21, 2015, Uberlândia. Anais... São Paulo: SBF, 2015, p.1-17.

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

VALENTE, J. A. *Blended learning* e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, Brasil, Edição Especial n. 4/2014, p. 79-97.

WALENDOWSKY, J. F. **Uma proposta para o ensino da relatividade restrita através de simulações desenvolvidas a partir da ferramenta computacional *easy java simulations***. 90 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2019.

WOLFF, J. F. S. MORS, P. M. **Relatividade**: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein. In: **Textos de apoio ao professor de física**, v. 16, n. 5, 2005.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna**. Tradução de Cláudia Martins. Revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 12ª edição. São Paulo: Adisson Wesley, 2009.

ZANOTTA, D. C.; CAPELLETTA, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, 2011.

APÊNDICE A – Produto Educacional

**UMA CONSTRUÇÃO DO MODERNO
CONCEITO DE ESPAÇO-TEMPO DA
TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA:
UMA REVOLUÇÃO HISTÓRICA DA FÍSICA**

Diego Rodrigues de Souza
Marcelo Castanheira da silva

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.”

Isaac Newton.

APRESENTAÇÃO

A ascensão da teoria da relatividade restrita de Albert Einstein no início do século XX foi uma das grandes revoluções da física nos últimos 150 anos. A teoria em si foi fruto de uma construção que ressignificou a visão do mundo em que vivemos. Para se ter ideia, foi necessário o abandono de conceitos físicos básicos e estabelecidos há séculos como o espaço e o tempo absolutos, a ideia de simultaneidade de eventos para dois observadores e até mesmo de leis como o princípio da dinâmica de Newton, a conservação da quantidade de movimento e a conservação da energia mecânica.

Neste material de estudo, que pode ou não ser associado a uma tarefa de consulta orientada⁵ na *internet*, exploramos especialmente a mudança nas concepções de espaço e tempo. Para tanto, usamos um caminho que perpassa por física, história e filosofia da ciência com a intenção de tratarmos conteúdos científicos fundamentais que auxiliem no novo entendimento da união de espaço e tempo sem, contudo, deixar à margem uma abordagem de natureza da ciência ao considerar a criação da teoria como uma atividade histórica, social, não rígida, problemática e fruto de um processo de ruptura.

Dentre os assuntos abordados aqui, estão: os raios cósmicos e vida média do múon; a unificação do eletromagnetismo e da ótica por Maxwell; a velocidade constante da luz e a não-invariância das equações de Maxwell nas transformações de Galileu; as tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter, a contração de Lorentz-FitzGerald para o espaço e as transformações de Lorentz; o problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento e a mudança de concepção acerca de espaço e tempo; o problema do tempo de vida média dos múon; a incompatibilidade dos conceitos de espaço e de tempo nas teorias newtoniana e einsteiniana segundo Thomas S. Kuhn.

Já na tarefa de consulta orientada na *internet*, desenvolvida de maneira gratuita a partir das ferramentas disponíveis no Google Sites⁶, lançamos luz sobre as relações entre o conteúdo examinado de relatividade restrita contido neste material de estudo e um produto tecnológico resultante da mesma, o Sistema de Posicionamento Global (GPS⁷), ainda que seu funcionamento também precise de correções de relatividade geral. Acerca deste aparato, colocamos em pauta dados de sua criação, o seu princípio

⁵ A tarefa de consulta orientada na *internet* pode ser acessada no *site* “*WebQuest: GPS e relatividade*”, desenvolvido pelos autores deste texto cujo endereço é <<https://sites.google.com/ifac.edu.br/webquestgpsrelatividade>>. Acesso em 25 de setembro de 2019.

⁶ Endereço: <<https://sites.google.com>>. Acesso em 25 de setembro de 2019.

⁷ A sigla é proveniente do inglês: *Global Positioning System*.

de funcionamento, a necessária correção espaço-temporal para sua tamanha precisão, algumas aplicações gerais e uma discussão relativa ao direito de privacidade de todo cidadão que usa tal tecnologia, já que grandes corporações mundiais detêm informações confidenciais acerca da posição real de indivíduos em todo o tempo.

Assim sendo, diante da falta ou da insuficiência de materiais que auxiliem no estudo de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio, que é o caso da noção de espaço-tempo da teoria da relatividade restrita, espera-se que tanto alunos quanto professores apreciem este material de estudo e a tarefa de consulta orientada criada para uso na *internet*. Tais ações são uma tentativa de melhorar a educação básica brasileira.

1. OS RAIOS CÓSMICOS E A VIDA MÉDIA DO MÚON

1.1 OS RAIOS CÓSMICOS E O CHUVEIRO AÉREO EXTENSO

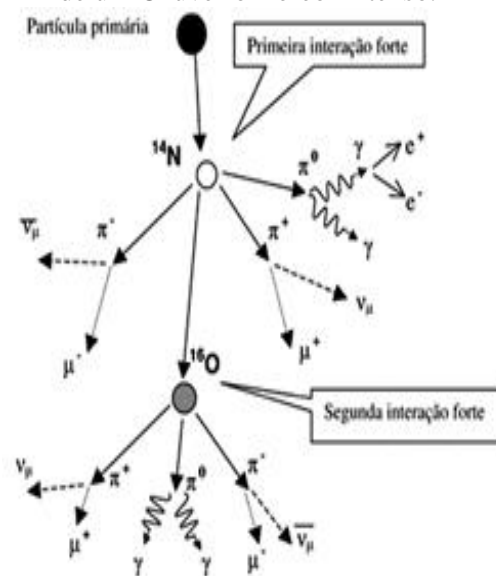
Os raios cósmicos foram descobertos no início do século XX por Victor Franz Hess (1883 – 1964) e Werner Kolhörster (1887 – 1946) ao investigarem o fenômeno de ionização do ar e a consequente perda de carga elétrica de objetos carregados e isolados (SOUZA et al., 2017, p. 4; FAUTH, 2007). Embora pareça tão distante de nossa realidade pelo nome que recebem, os raios cósmicos são partículas tais como elétrons, prótons e núcleos pesados provavelmente oriundos de nebulosas e extinção de estrelas. Têm como características serem muito penetrantes na matéria, chegam a Terra com velocidades próximas à velocidade da luz no vácuo, $c \cong 3.10^8 \text{ m/s}$, possuem altas energias e formam partículas secundárias a partir de sua interação com a atmosfera terrestre (SOUZA et al., 2017, p. 5).

Sobre esta última característica, Pierre Auger (1889 – 1993) descobriu que o produto dessas interações é o fenômeno denominado Chuveiro Aéreo Extenso, que é responsável pela criação de diversas partículas como píons ($\pi^0, \pi^+ e \pi^-$), káons ($K^0, K^+ e K^-$) (FAUTH, 2010), elétrons (e^-), pósitrons (e^+), múons (μ^-), antimúons (μ^+), neutrinos do múon (ν_μ), antineutrinos do múon ($\bar{\nu}_\mu$), fótons (γ) e hádrons (FAUTH, 2007).

É possível entender este fenômeno usando o diagrama observado ao lado, na figura 1.

Analisando a figura 1, de cima para baixo, constatamos que uma partícula primária, isto quer dizer, de alta energia cuja origem é desconhecida, colide com um átomo de Nitrogênio. Esses choques originam uma grande quantidade de interações eletromagnéticas e nucleares, resultando na criação de uma cascata de partículas como píons ($\pi^0, \pi^+ e \pi^-$) que, em sequência, decaem em elétrons (e^-), pósitrons (e^+), múons

Figura 1: esquema do desenvolvimento de um Chuveiro Aéreo Extenso.



Fonte: FAUTH et al. (2007).

e antimúons (μ^- e μ^+), neutrinos e antineutrinos do múon (ν_μ e $\bar{\nu}_\mu$) e fótons (γ). Além disso, há outra interação no esquema, dessa vez com um átomo de Oxigênio, originando mais partículas. Nesse processo, que é esquemático daquilo que acontece na atmosfera terrestre, algumas partículas conseguem chegar à superfície de nosso planeta.

Curiosidade sobre o assunto!

NASA detecta raios cósmicos vindos do maior sistema estelar do céu

Colisão de ventos estelares de Eta Carinae provocaram a emissão de raios gama e raios-X que podem chegar até a Terra.

Novos dados do telescópio NuSTAR, da NASA, sugerem que o maior e mais luminoso sistema de estrelas em um raio de 10 mil anos-luz, Eta Carinae, está passando por uma rápida aceleração de suas partículas, transformadas em energia que pode chegar até a Terra em forma de raios cósmicos.

O sistema Eta Carinae ficou famoso no século 19, quando, em uma explosão episódica e ainda pouco compreendida, se tornou a segunda estrela mais brilhante no céu. Na mesma ocasião, o sistema expeliu uma nebulosa famosa por seu formato de ampulheta.

Eta Carinae também contém um par de estrelas massivas, com massas de 30 a 90 vezes maior do que a do nosso Sol, cuja órbita excêntrica⁸ as aproxima a cada cinco anos e meio, deixando-as a uma distância equivalente a do Sol até Marte.

“Ambas estrelas de Eta Carinae expõem poderosos fluxos, chamados de ventos estelares”, explica Michael Corcoran, membro do Centro de Voo Espacial Goddard da agência espacial norte-americana e coautor do estudo publicado na *Nature Astronomy*. “O local onde estes ventos se chocam muda durante o ciclo orbital, que produz um sinal periódico em raios-X de baixa energia que nós temos rastreado por mais de duas décadas.”

Os astrônomos já sabem que esses raios cósmicos com energia maior do que um bilhão de elétrons-volt⁹ só podem vir de fontes de fora do nosso sistema solar. Mas,

⁸ Trata-se de uma órbita elíptica.

⁹ Trata-se de uma unidade de medida de energia definida como o trabalho realizado ao se mover um elétron através de uma diferença de potencial de 1 volt no vácuo, equivalendo a, aproximadamente,

como essas partículas (elétrons, prótons e núcleos atômicos) carregam uma carga elétrica, os raios podem desviar do curso sempre quando encontram um campo magnético. Isso não só causa distúrbios em sua trajetória como também pode mascarar qual é a sua fonte de origem.

De acordo com as observações feitas pelo telescópio NuSTAR entre março de 2014 e junho de 2016, foram detectados raios-X de baixa energia provenientes de um gás produzido pela colisão dos ventos estelares de Eta Carinae, processo onde as temperaturas ultrapassam os 40 milhões de graus Celsius.

Além da identificação de raios-X, o satélite Telescópio Espacial de Raio Gama Fermi também detectou mudanças em raios gama vindos de uma fonte que está na direção do Eta Carinae. A nitidez do telescópio Fermi, no entanto, não é tão apurada quanto a de telescópios de raios-X, por isso os astrofísicos ainda não conseguiram confirmar a conexão entre os dois eventos.

Ainda assim, para os pesquisadores, a melhor hipótese que pode explicar tanto a detecção dos raios-X, quanto à dos raios gama, é a de que ondas de elétrons tenham sido aceleradas durante um violento choque na fronteira da colisão dos ventos estelares.

“Nós sabemos há algum tempo que a região ao redor da Eta Carinae é uma fonte de emissões energéticas em raios-X e raios-gama em alta energia”, afirma Fiona Harrison, professora de astronomia no Instituto de Tecnologia da Califórnia e principal pesquisadora da missão NuSTAR. “Mas até que o NuSTAR fosse capaz de identificar a radiação, mostrar que ela vem do sistema binário e estudar suas propriedades detalhadamente, a origem era um mistério.”

Os cientistas preveem também que algumas partículas aceleradas do evento, como os elétrons, podem escapar do sistema estelar e vir em direção a Terra em forma de raios cósmicos.

Fonte: NASA detecta raios cósmicos vindos do maior sistema estelar do céu. **Revista Galileu**, Brasil, 06 de maio de 2018. Disponível em <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/noticia/2018/07/nasa-detecta-raios-cosmicos-vindos-do-maior-sistema-estelar-do-ceu.html>. Acesso em 19 de maio de 2019.

$1,6 \cdot 10^{-19} J$. O eV é uma unidade de medida muito usada, já que o Joule – Unidade de medida padrão do Sistema Internacional de Unidades – é muito grande.

2. Com base em seu cálculo no exercício anterior, qual deveria ser a altitude¹⁰ de decaimento dos múons?

3. Em sua opinião e/ou seus conhecimentos, como se explica a grande presença dos múons na superfície terrestre se seu decaimento deveria acontecer em maiores altitudes?

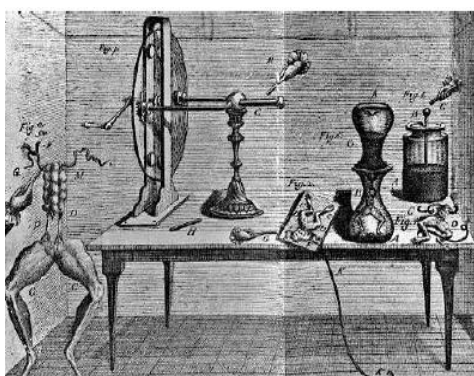
¹⁰ Diferente de altura, a altitude é sempre medida em relação ao nível do mar.

2. A UNIFICAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO E DA ÓTICA POR MAXWELL

2.1 A INVENÇÃO DA PILHA ELÉTRICA E A FUNDAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO POR OESTERD E AMPÈRE

O experimento das contrações nas pernas de uma rã, figura 2, realizado por Luigi Galvani (1737 – 1798) em 1791, certamente despertou a curiosidade de Alessandro Volta (1745 – 1827), que sugeriu uma explicação para o fenômeno observado e construiu a primeira fonte de corrente elétrica contínua (GERMANO et al., 2012; MARTINS, 1999). Antes disso, existiam fontes de corrente elétrica, mas não duradouras. É o caso da garrafa de Leyden, figura 3, uma espécie primitiva de capacitor elétrico construído por Pieter van Musschenbroek (1692 – 1761) na cidade holandesa de Leyden.

Figura 2: ilustração do experimento de Galvani.



Fonte: Beléndez (2008).

Figura 3: ilustração de uma garrafa de Leyden.

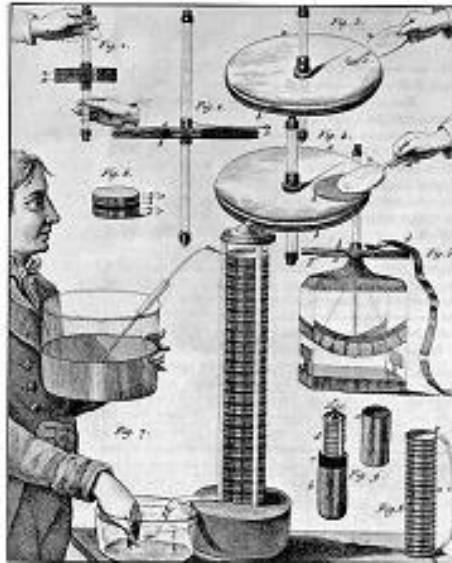


Fonte: Beléndez (2008).

O dispositivo montado por Volta, que mais tarde passou a ser chamado de pilha elétrica, era formado por discos alternados de metais como prata e zinco ou prata e chumbo ou prata e estanho ou, ainda, cobre e estanho, de tal forma que esses pares eram separados por um material poroso embebido em uma solução de sal. Das placas, saíam fios metálicos para conduzir a eletricidade (GERMANO et al., 2012).

Um desenho de como era a pilha voltaica pode ser verificado na figura 4, retirada de Beléndez (2008).

Figura 4: ilustração da pilha elétrica de Volta.



Fonte: Beléndez (2008).

A despeito da pequena diferença de potencial que produzia, a invenção de Volta possibilitou uma grande quantidade de experimentos e, principalmente, de novas descobertas em eletricidade. Por exemplo, foi usando uma pilha voltaica que aconteceu uma das mais importantes descobertas científicas do século XIX: a unificação dos fenômenos elétricos e magnéticos que desde a antiguidade eram compreendidos como distintos. O responsável pelo achado foi Hans Christian Oesterd (figura 5).

Figura 5: Hans Christian Oesterd. (1777 – 1851).

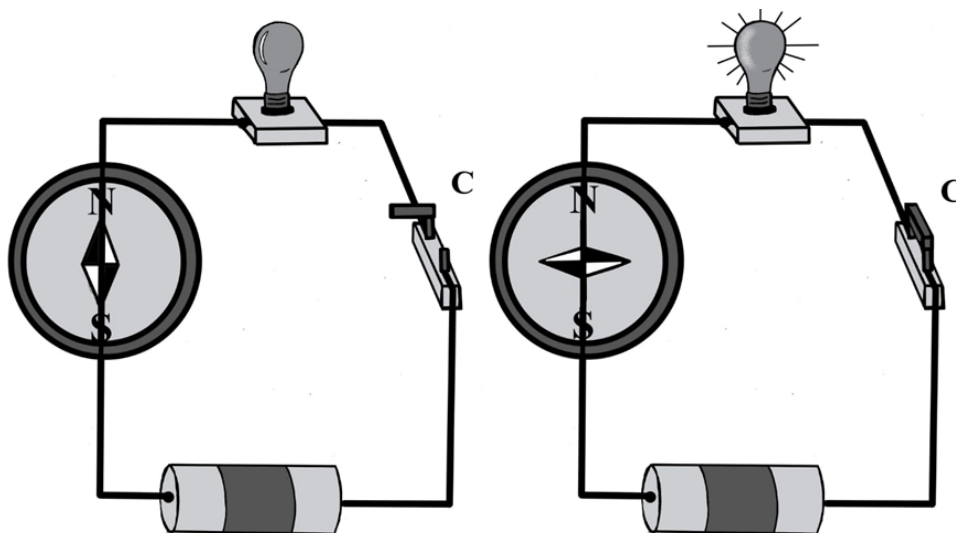


Fonte: Beléndez (2008).

Para o feito, Oesterd construiu um aparato com uma agulha imantada livre para girar e a colocou em certa direção. Depois disso, colocou um fio elétrico na mesma direção sobre ela e o conectou a uma pilha fornecedora de corrente elétrica contínua, como mostra a figura 6. Foi assim que percebeu a agulha girando para uma direção perpendicular ao cabo. Embasado nisso, concluiu que fenômenos elétricos, devido à

pilha, e magnéticos, devido à bússola, tinham uma mesma raiz e fundou o eletromagnetismo.

Figura 6: esquema do experimento de Oesterd.



Fonte: os autores.

Apesar do mito de que essa descoberta tenha sido por acaso, Oesterd tinha inspiração metafísica na unidade das forças da natureza e, dessa forma, ele acreditava em um vínculo entre a eletricidade e o magnetismo (POLITO, 2016, p. 96; BELÉNDEZ, 2008). Ademais, a verdade é que uma descoberta acidental não reduziria em nada o mérito de Oesterd, pois apenas a sorte não favoreceria quem podia compreender o fenômeno.

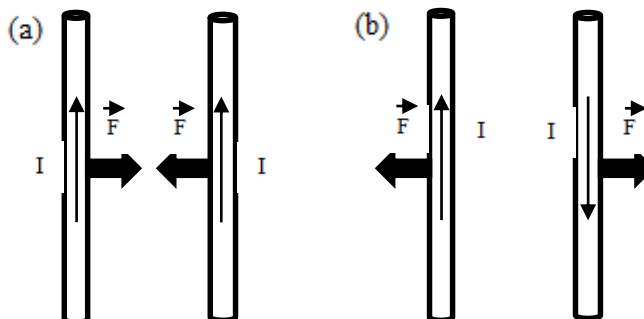
Após a inauguração do eletromagnetismo, coube a André Marie Ampère, figura 7, o desenvolvimento de uma teoria matemática para explicar a interação da eletricidade e do magnetismo a partir do movimento de cargas elétricas (BELÉNDEZ, 2008). Baseado em seus experimentos, ele também percebeu a inexistência de cargas magnéticas isoladas na natureza, uma das leis do eletromagnetismo clássico, e que uma corrente elétrica podia produzir efeitos magnéticos sobre outra corrente elétrica, pois se atraíam quando tinham mesmo sentido e se repeliam quando tinham sentidos opostos (POLITO, 2016, p. 97; BELÉNDEZ, 2008), como mostra a figura 8.

Figura 7: André Marie Ampère (1775 – 1836)



Fonte: Beléndez (2008).

Figura 8: ilustração da atração (a) e da repulsão (b) magnéticas devido a correntes elétricas em condutores paralelos.



Fonte: os autores.

Ainda em tempo, a construção do eletromagnetismo também se deve a muitos outros cientistas. Alguns deles, além dos já citados, são Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Felix Savart (1791-1841) e Michael Faraday (1791-1867).

2.2 A NOÇÃO DE CAMPO, LINHAS DE CAMPO E A GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA A PARTIR DE CAMPOS MAGNÉTICOS VARIÁVEIS DESCOBERTA POR FARADAY

Michael Faraday (figura 9) foi um físico experimental inglês bastante respeitado ainda em sua época. Seus grandes feitos foram à explicação da eletrólise em termos da força elétrica, a descoberta do fenômeno da indução eletromagnética e a inserção de conceitos como campo e linhas de campo no eletromagnetismo (BELLÉNDEZ, 2008).

Figura 9: Michael Faraday (1791- 1867).



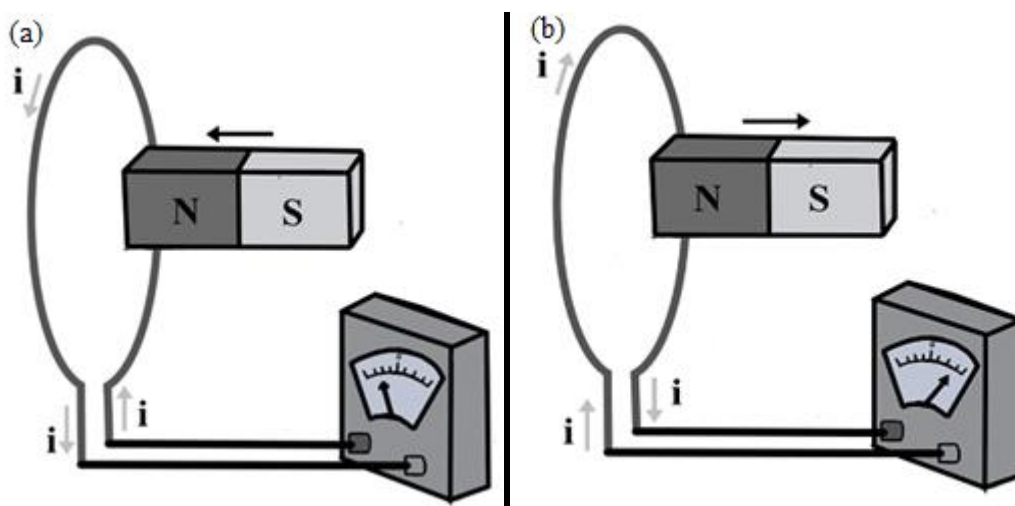
Fonte: Beléndez (2008).

A seguir, detalharemos um pouco mais sobre a indução eletromagnética e os conceitos de campo e linhas de campo, duas de suas ideias mais geniais (POLITO, 2016, p. 99).

2.2.1 A GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA A PARTIR DE CAMPOS MAGNÉTICOS VARIÁVEIS DESCOBERTA POR FARADAY

Para chegar à indução eletromagnética, Faraday realizou uma série de experimentos utilizando o movimento relativo de espiras e fontes de campo magnético e/ou variação do campo magnético. Alguns desses experimentos são ilustrados na figura 10, que demonstra a) uma espira e um ímã colocado em movimento para a esquerda e b) uma espira e um ímã colocado em movimento para a direita¹¹. O resultado encontrado por Faraday nestas situações foi à criação de correntes elétricas, que chamamos de correntes elétricas induzidas. É verdade que isso surpreendeu, pois o fenômeno pressupunha força elétrica sobre as cargas elétricas em repouso na espira (GRIFFITHS, 2011, p. 208).

Figura 10: ilustração de alguns experimentos feitos por Faraday.



Fonte: os autores.

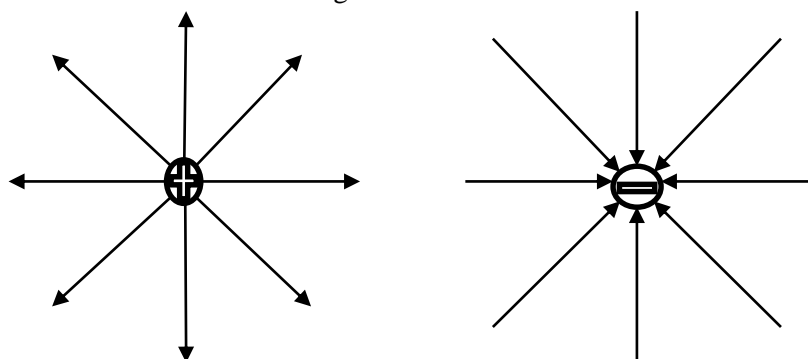
A explicação dada para o que se observou foi inovadora. Para Faraday, a força elétrica experimentada nas cargas elétricas da espira era motivada por um campo elétrico induzido resultante da variação do campo magnético. Assim, campos magnéticos variáveis no tempo passaram a ser compreendidos como fontes de campos elétricos.

¹¹ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday>, há um simulador denominado “laboratório de eletromagnetismo de Faraday”. Com ele, de forma mais interativa, é possível realizar virtualmente estes experimentos citados no texto.

2.2.2. A NOÇÃO DE CAMPO E LINHAS DE CAMPO

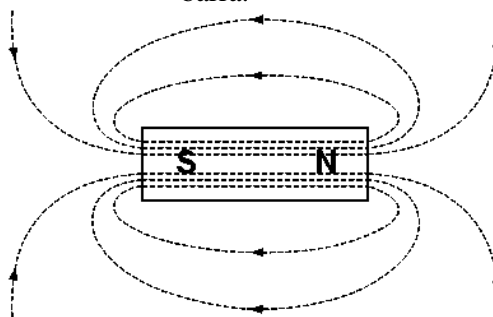
Outra contribuição de Faraday foi a introdução do conceito de campo e linhas de campo¹², haja vista o oferecimento de suporte teórico para o abandono da teoria dos fluidos elétricos e magnéticos e da teoria newtoniana de ação à distância (BELÉNDEZ, 2008). Para Faraday, um dos maiores físicos experimentais de todos os tempos, um campo preencheria o espaço em torno de cargas elétricas (Figura 11), ímãs¹³ (Figura 12) e correntes elétricas (Figura 13) e explicaria suas interações com linhas imaginárias que ajudariam a determinar a direção e a intensidade dos campos de força¹⁴.

Figura 11: ilustração das linhas de campo em cargas elétricas positivas e em cargas elétricas negativas.



Fonte: os autores.

Figura 12: ilustração das linhas de campo magnético fechadas em um ímã em forma de barra.



Fonte: Museu das Comunicações¹⁵.

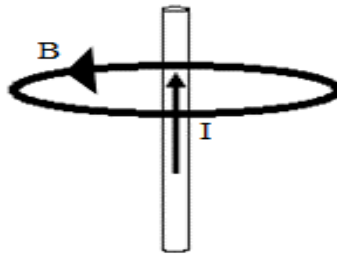
¹² É comum encontrar o termo “linhas de força” como sinônimo de linhas de campo em alguns livros didáticos.

¹³ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnet-and-compass>, há um simulador denominado “ímã e bússola”. Usando este objeto de aprendizagem, é possível entender o campo magnético terrestre e sua interação com bússolas.

¹⁴ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/charges-and-fields>, há um simulador denominado “cargas e campos”. Com ele, de forma mais interativa, é possível entender melhor o conceito de campo discutido aqui, principalmente o elétrico.

¹⁵ Disponível em: <http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/MoreInfo/-2_2_1_MagneticFields.html>. Acesso em 28 de maio de 2019.

Figura 13: ilustração das linhas de campo magnético fechadas em um fio com corrente elétrica.



Fonte: os autores.

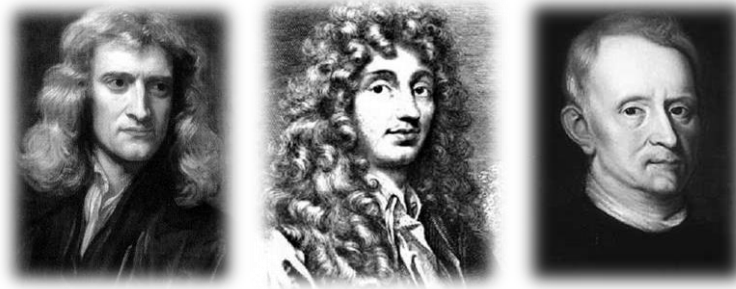
Sobre as figuras 11, 12 e 13, é interessante frisar que elas são meras descrições de campos elétricos e magnéticos de situações idealizadas, que são os casos de cargas elétricas, de um ímã em forma de barra e de uma corrente elétrica em um fio retilíneo, respectivamente, todos isolados no espaço. Situações mais complexas, de corpos com formatos quaisquer eletrizados ou magnetizados, por exemplo, requerem mais perícia para serem caracterizadas com linhas de campo.

2.3 A LUZ: ENTRE A TEORIA CORPUSCULAR E A TEORIA ONDULATÓRIA

A maioria dos filósofos gregos concebia a luz como emissões de corpos luminosos que partiam dos olhos ou do corpo iluminado. Isso se manteve durante a idade média enquanto filósofos e autores árabes contribuíram para o estabelecimento de leis básicas da ótica geométrica. Um pouco mais tarde, Isaac Newton (1643-1727) foi um dos principais partidários de uma vertente desta teoria (POLITO, 2016, p. 79; BELÉNDEZ, 2008).

Em contraposição, na idade moderna, principalmente Christian Huygens (1629-1695) e Robert Hooke (1635-1703) inauguraram a teoria ondulatória da luz. Essa teoria também conseguia explicar fenômenos luminosos estabelecendo leis físicas e necessitava, bem como a teoria corpuscular, de um meio de propagação sutil e fluido chamado de éter luminífero (BELÉNDEZ, 2008). A figura 14 mostra as imagens de Newton, Huygens e Hooke.

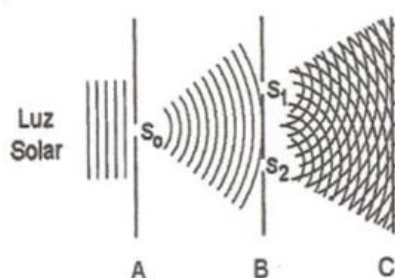
Figura 14: Isaac Newton (1643-1727), Christian Huygens (1629-1695) e Robert Hooke (1635-1703).



Fonte: Beléndez (2008).

Portanto, no século XVIII, a comunidade científica estava dividida quanto à natureza da luz. De um lado, Huygens, Hooke e seus seguidores eram a favor da teoria ondulatória da luz. Do outro, Descartes, Newton e seus seguidores eram a favor da teoria corpuscular. Desse confronto, a teoria ondulatória saiu vencedora mediante uma demonstração de interferência da luz proposta (figura 15) e realizada por Thomas Young¹⁶ (1773-1829), figura 16, (POLITO, 2016, p. 93).

Figura 15: esquema da experiência de Young.



Fonte: Silva (2009).

Figura 16: Thomas Young (1773-1829).



Fonte: Beléndez (2008).

No experimento de interferência da luz ou de dupla fenda, como também é conhecido, diz-se que Young utilizou três anteparos: A, B e C, como mostra a figura 15. A luz solar passava pelo anteparo A, por meio de um orifício S₀, e seguia até o anteparo B. Este, por sua vez, tinham dois orifícios, S₁ e S₂, que também davam passagem à luz solar. O resultado do experimento, que provoca fascínio nos cientistas ainda hoje, é que

¹⁶ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference>, há um simulador denominado “interferência de onda”. Ele é uma alternativa para entender melhor o fenômeno de interferência, mas para o caso de ondas mecânicas.

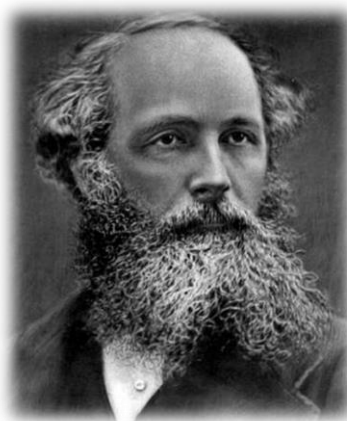
ao invés de se obter duas fontes de luz intensas e bem localizadas no anteparo C, se obtém um padrão de interferência, fenômeno característico das ondas.

Depois da comprovação da natureza ondulatória da luz, aconteceram diversos avanços na ótica. Por exemplo, a descoberta da polarização da luz por Etienne L. Malus (1775-1812), a sintetização dos conceitos da teoria ondulatória de Huygens e dos princípios de interferência e difração por Augustin J. Fresnel (1778 – 1827) e a melhoria nas medidas de velocidade da luz realizadas por Armand Fizeau (1819 – 1896) e Jean B. Foucault (1819-1868) (BELÉNDEZ, 2008).

2.4 A SÍNTESE MAXWELLIANA: A UNIFICAÇÃO DO ELETROMAGNETISMO E DA ÓTICA

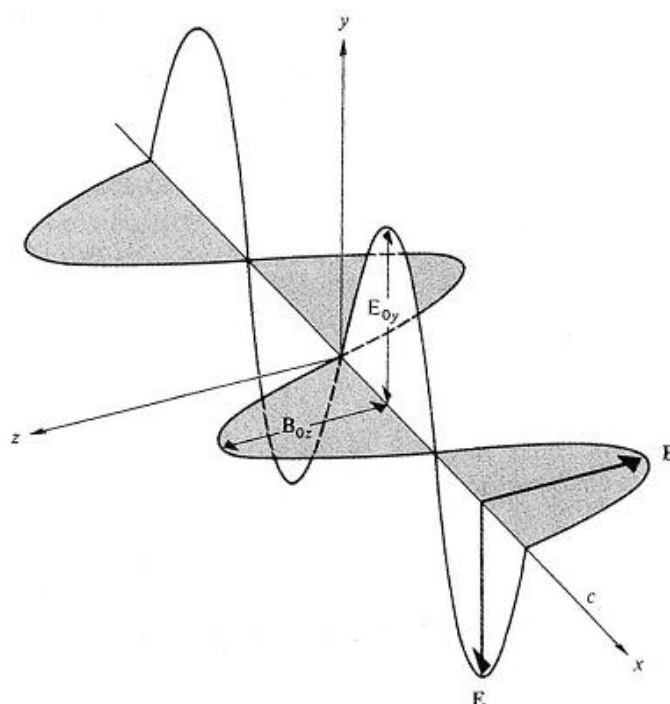
Em meio ao grande progresso científico observado no século XIX, James Clerck Maxwell (1831-1879), figura 17, publicou a obra “Tratado de Eletricidade e Magnetismo” no ano de 1873. Nela, discutiu fenômenos, generalizou equações e demonstrou teoricamente que campos elétrico e magnético propagavam-se conjuntamente de maneira perpendicular tal como uma onda de velocidade próxima àquela prevista para a luz e, por fim, conjecturou a luz como uma onda eletromagnética (POLITO, 2016, p. 107), exemplificado na figura 18.

Figura 17: James Clerck Maxwell (1831-1879).



Fonte: Beléndez (2008).

Figura 18: esquema de uma onda eletromagnética plana.



Fonte: Beléndez (2008).

É significativo dizer que Maxwell realizou tais feitos embasado nas ideias de Faraday sobre campos elétricos e magnéticos e linhas de campo. Ao todo, propôs 20 equações que deveriam governar o eletromagnetismo (BELÉNDEZ, 2008). Posteriormente, em 1884, Oliver Heaviside (1850-1925) e Williard Gibbs (1839-1903) as sintetizaram em apenas quatro, que são mostradas a seguir (GRIFFITHS, 2011):

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (4)$$

Embora o cálculo envolvido nas equações não seja adequado à compreensão de estudantes do ensino médio, já que é difícil o bastante até para estudantes do ensino superior, é possível dizer que cada uma delas tem uma implicação no eletromagnetismo. Por exemplo, a equação 1 corresponde à lei de Gauss da eletricidade e descreve a relação entre um campo elétrico e as cargas elétricas que o produzem. Tem equivalência à lei de Coulomb em situações estáticas. A equação 2 é chamada de lei de Gauss do

magnetismo e afirma a inexistência de cargas ou monopolos magnéticos. A equação 3 é a lei de Faraday e descreve como um campo magnético variável no tempo induz um campo elétrico. A equação 4 expressa a lei de Ampère-Maxwell e afirma que campos magnéticos podem ser gerados tanto por correntes elétricas quanto por campos elétricos que variam no tempo.

Maxwell acreditava na existência de um éter. Esse era um meio que conseguia transportar as ondas eletromagnéticas¹⁷, figura 18, previstas por suas equações. Aliás, após cálculos, ele percebeu que essas ondas deviam ter velocidades próximas às medidas de velocidade da luz. Por isso, concluiu imediatamente que a luz podia ser descrita como uma onda eletromagnética: “Difícilmente podemos evitar que a luz não é outra coisa que ondas transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos” (BELÉNDEZ, 2008).

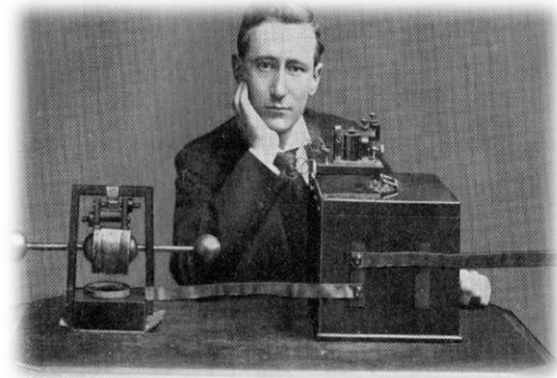
Poucos anos mais tarde, a previsão matemática de Maxwell apresentou-se verdadeira em experimentos realizados por Heinrich R. Hertz (1857 – 1894), figura 19. Isso marcou o início da transmissão de informações sem a necessidade de cabos e serviu de base para que Guglielmo Marconi (1874 – 1937), figura 20, criasse o primeiro sistema prático de telegrafia sem fios.

¹⁷ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/radio-waves>, há um simulador denominado “ondas de rádio e campos eletromagnéticos”. Com ele, de forma mais interativa, é possível melhorar a compreensão de como as ondas de rádio são produzidas por uma antena, transmitidas no ar e recebidas em um aparelho de som.

Figura 19: Heinrich R. Hertz (1857 – 1894).



Fonte: Beléndez (2008).



Fonte: Jacot e Collier (1940).

Figura 20: Guglielmo Marconi (1874 – 1937) e seu sistema de telegrafia sem fios.

Após a morte de Maxwell, a teoria eletromagnética foi amplamente aceita e refinada. Um dos principais nomes desse empreendimento foi Hendrik A. Lorentz (1853-1928) (POLITO, 2016, p. 114; BELÉNDEZ, 2008) que, entre outros feitos, conseguiu explicar a reflexão e a refração da luz a partir do eletromagnetismo. Além disso, previu a necessidade de uma força para cargas elétricas que se movimentavam em campos magnéticos e os efeitos de polarização de ondas eletromagnéticas.

Embora o sucesso da teoria eletromagnética fosse indiscutível, existiam alguns conflitos com a mecânica clássica. Isso, sem dúvidas, incomodava profundamente alguns físicos do final do século XIX. Outros acreditavam que as leis físicas estavam bem compreendidas, algo que se mostrou totalmente errado com o passar do tempo.

A partir daqui, você saberia responder?

Para resolver os exercícios abaixo, os alunos deverão ter conhecimento de: 1 – condução de corrente elétrica em condutores e em soluções, 3 e 4 – uso da regra da mão direita, 5 – linhas de campo elétrico, 6 – campo magnético de ímãs, 7 e 8 – lei de Lenz, 9 – experimento de Young e 10 – noção do que seja difração e polarização. A leitura do conteúdo do produto não garantirá que consiga resolver as questões, logo é fundamental que tenham estudado esses assuntos e seria bom que fizesse uma revisão rápida antes da aplicação.

1. (FUVEST-SP) Na década de 1780, o médico italiano Luigi Galvani realizou algumas observações, utilizando rãs recentemente dissecadas. Em um dos experimentos, Galvani tocou dois pontos da musculatura de uma rã com dois arcos de metais diferentes, que estavam em contato entre si, observando uma contração dos músculos, conforme mostra a figura:



Interpretando essa observação com os conhecimentos atuais, pode-se dizer que as pernas da rã continham soluções diluídas de sais. Pode-se, também, fazer uma analogia entre o fenômeno observado e o funcionamento de uma pilha.

Considerando essas informações, foram feitas as seguintes afirmações:

I. Devido à diferença de potencial entre os dois metais, que estão em contato entre si e em contato com a solução salina da perna da rã, surge uma corrente elétrica.

II. Nos metais, a corrente elétrica consiste em um fluxo de elétrons.

III. Nos músculos da rã, há um fluxo de íons associado ao movimento de contração.

a) I, apenas.

b) III, apenas.

c) I e II, apenas.

d) II e III, apenas.

e) I, II e III.

2. (UERJ-RJ) Em fins do século XVI, foi feita uma das primeiras aplicações práticas de uma pilha: a decomposição da água em oxigênio e hidrogênio, processo denominado eletrólise. Já naquela época, com base nesse experimento, sugeriu-se que as forças responsáveis pelas ligações químicas apresentam a seguinte natureza:

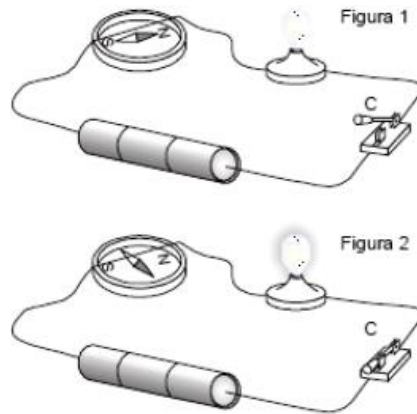
a) nuclear.

b) elétrica.

c) magnética.

d) gravitacional.

3. (PUC-SP) Na experiência de Oersted, o fio de um circuito passa sobre a agulha de uma bússola. Com a chave C aberta, a agulha alinha-se, como mostra a figura 1. Fechando-se a chave C, a agulha da bússola assume nova posição (figura 2).



A partir desse experimento, Oersted concluiu que a corrente elétrica estabelecida no circuito

- a) gerou um campo elétrico numa direção perpendicular à da corrente.
- b) gerou um campo magnético numa direção perpendicular à da corrente.
- c) gerou um campo elétrico numa direção paralela à da corrente.
- d) gerou um campo magnético numa direção paralela à da corrente.
- e) não interfere na nova posição assumida pela agulha da bússola que foi causada pela energia térmica produzida pela lâmpada.

4. (UEL-PR) "Trem magnético japonês bate seu próprio recorde de velocidade (da Agência Lusa) - Um trem japonês que levita magneticamente, conhecido por "Maglev", bateu hoje o seu próprio recorde de velocidade ao atingir 560 km/h durante um teste de via. O comboio de cinco vagões MLX01, cujo recorde anterior de 552 km/h fora alcançado em abril de 1999 com 13 pessoas a bordo, alcançou sua nova marca sem levar passageiros. O trem japonês fica ligeiramente suspenso da via pela ação de magnetos, o que elimina a redução da velocidade causada pelo atrito com os trilhos".

Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/ult306u10675.shtml>>.

Acesso em 18 de maio de 2019).

É possível deixar suspenso um corpo condutor criando uma força magnética contrária à força gravitacional que atua sobre ele. Para isso, o corpo deve estar imerso em um campo magnético e por ele deve passar uma corrente elétrica. Considerando um

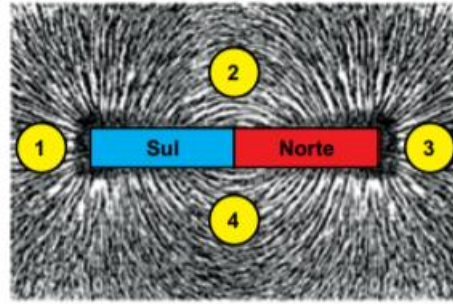
fio condutor retilíneo como uma linha horizontal nesta folha de papel que você lê, que deve ser considerada como estando posicionada com seu plano paralelo à superfície terrestre e à frente do leitor. Quais devem ser as orientações do campo magnético e da corrente elétrica, de modo que a força magnética resultante esteja na mesma direção e no sentido contrário à força gravitacional que atua sobre o fio? Ignore as ligações do fio com a fonte de corrente elétrica.

- a) A corrente deve apontar para esquerda ao longo do fio, e o campo magnético deve estar perpendicular ao fio, apontando para o leitor
- b) A corrente deve apontar para a esquerda ao longo do fio, e o campo magnético deve estar paralelo ao fio, apontando para a direita.
- c) A corrente deve apontar para a direita ao longo do fio, e o campo magnético deve estar perpendicular ao fio, apontando para fora do plano da folha.
- d) A corrente deve apontar para a direita ao longo do fio, e o campo magnético deve estar paralelo ao fio, apontando para a direita.
- e) A corrente deve apontar para a esquerda ao longo do fio, e o campo magnético deve estar perpendicular ao fio, apontando para dentro do plano da folha.

5. (PUC-MG) As linhas de força de um campo elétrico são um modo conveniente de visualizar o campo elétrico e indicam a direção do campo em qualquer ponto. Leia as opções abaixo e assinale a afirmativa incorreta.


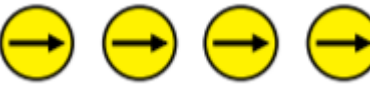



- a) As linhas de força saem da carga negativa e entram na carga positiva.
- b) O número de linhas que saem ou que entram em uma carga puntiforme é proporcional ao valor da carga elétrica.
- c) As linhas de força saem da carga positiva e entram na carga negativa.
- d) O número de linhas por unidade de área perpendicular às linhas é proporcional à intensidade do campo.

6. (UNESP-SP) Um ímã em forma de barra, com seus polos Norte e Sul, é colocado sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Se quatro pequenas bússolas, 1, 2, 3 e 4, forem colocadas em repouso nas posições indicadas na figura, no mesmo plano que contém a limalha, suas agulhas magnéticas orientam-se segundo as linhas do campo magnético criado pelo ímã.



(www.grupoescolar.com. Adaptado.)

Desconsiderando o campo magnético terrestre e considerando que a agulha magnética de cada bússola seja representada por uma seta que se orienta na mesma direção e no mesmo sentido do vetor campo magnético associado ao ponto em que ela foi colocada, assinale a alternativa que indica, correta e respectivamente, as configurações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4 na situação descrita.

- a) 
- b) 
- c) 
- d) 
- e) 

7. (UFMG-MG) A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:

- a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante.
 b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo.
 c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético.
 d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira.
 e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.

8. (FAAP-SP) Num condutor fechado, colocado num campo magnético, a superfície determinada pelo condutor é atravessada por um fluxo magnético. Se por um motivo qualquer o fluxo variar, ocorrerá:

- a) curto circuito.
- b) interrupção da corrente.
- c) o surgimento de corrente elétrica no condutor.
- d) a magnetização permanente do condutor.
- e) extinção do campo magnético.

9. (UFLA-MG) A experiência de Young, relativa aos fenômenos de interferência luminosa, veio mostrar que:

- a) A interferência pode ser explicada independentemente da estrutura íntima da luz.
- b) A interferência só pode ser explicada com base na teoria corpuscular da luz.
- c) A interferência só é explicada satisfatoriamente através da teoria ondulatória da luz.
- d) Tanto a teoria corpuscular quanto a ondulatória explicam satisfatoriamente esse fenômeno.
- e) Nem a teoria corpuscular nem a ondulatória conseguem explicar esse fenômeno.

10. (UFRGS-RS) Considere as seguintes afirmações sobre os fenômenos ondulatórios e suas características:

- I. A difração ocorre apenas com ondas sonoras.
- II. A interferência ocorre apenas com ondas eletromagnéticas.
- III. A polarização ocorre apenas com ondas transversais.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas III.
- d) Apenas I e II.
- e) I, II e III.

11. (UFMG-MG) As ondas eletromagnéticas, ao contrário das ondas mecânicas, não precisam de um meio material para se propagar. Considere as seguintes ondas: som, ultrassom, ondas de rádio, micro-ondas e luz. Sobre essas ondas é correto afirmar que

- a) luz e micro-ondas são ondas eletromagnéticas e as outras são ondas mecânicas.
- b) luz é onda eletromagnética e as outras são ondas mecânicas.
- c) som é onda mecânica e as outras são ondas eletromagnéticas.
- d) som e ultrassom são ondas mecânicas e as outras são ondas eletromagnéticas.

3. A VELOCIDADE CONSTANTE DA LUZ E A NÃO-INVARIÂNCIA DAS EQUAÇÕES DE MAXWELL NAS TRANSFORMAÇÕES DE GALILEU

A eletrodinâmica de Maxwell elevou a física a um novo e mais alto patamar. Para se ter ideia, o progresso científico alcançado com a unificação do eletromagnetismo e da ótica tem estatura comparável à síntese newtoniana que, a grosso modo, unificou as leis do movimento da terra e do céu.

No entanto, já no fim do século XIX, essa teoria tinha algumas limitações. A primeira seria o fato de que a velocidade da luz sempre se mantinha constante como foi demonstrado em vários experimentos como os realizados por Michelson e Morley¹⁸, por exemplo. A segunda era o conflito das equações de Maxwell com a mecânica clássica no chamado problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento (BELÉNDEZ, 2008).

Esta última se traduzia numa incoerência dos resultados dos fenômenos eletromagnéticos previstos a partir das equações de Maxwell com as leis de Newton para o movimento. Isso, se considerarmos o princípio da relatividade descoberto por Galileu Galilei (1564 – 1642), que diz: as leis da mecânica são válidas em referências desde que um tenha velocidade constante e trajetória retilínea em relação ao outro.

Figura 21: Galileu Galilei (1564 – 1642).



Fonte: Galilei (2003).

Esse princípio também é conhecido como invariância de Galileu e “traduz a vontade de encontrar uma imagem do mundo que seja independente da situação dos diversos observadores” (SEIXAS, 2006). A partir dele e com ajuda da figura 22, se um

¹⁸ O experimento de Michelson e Morley será detalhado a seguir.

referencial S' se movimenta apenas na horizontal com velocidade u constante em relação a um referencial S , então sua posição x' em relação ao referencial S é tal que

$$x' = x - ut \quad (5)$$

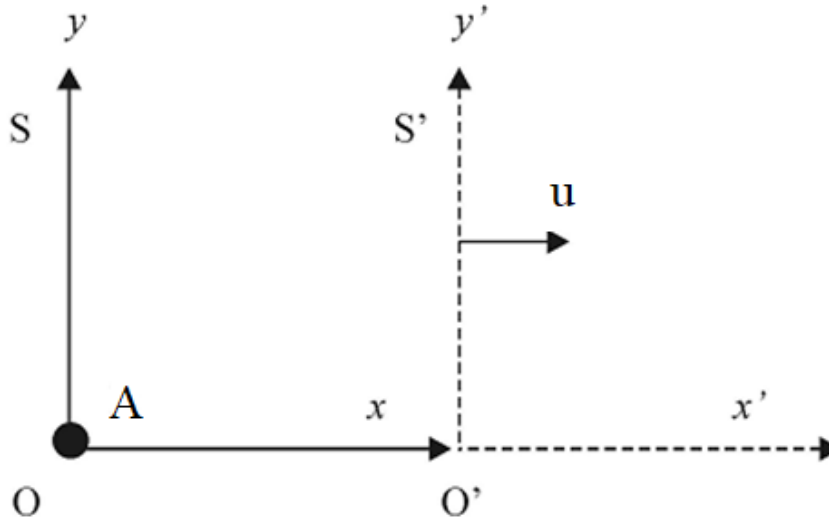
$$y' = y \quad (6)$$

Além do mais, pelo fato de que o espaço e o tempo são ditos absolutos na mecânica clássica, temos que

$$t' = t \quad (7)$$

em que t e t' são os tempos medidos nos referenciais S e S' .

Figura 22: Sistemas de referenciais S e S' em movimento retilíneo uniforme entre si.



Fonte: os autores.

Embora já referido, a invariância de Galileu se encaixava bem às leis da mecânica, mas as equações de Maxwell pareciam ser não-invariantes para referenciais inerciais. Isto é, caso se mudasse os referenciais com velocidade constante, as equações de Maxwell passavam a prever resultados distorcidos um do outro. Então, algumas indagações que se punham na virada do século XIX eram: “Como resolver a incompatibilidade entre eletromagnetismo e mecânica clássica devido a não-invariância das equações de Maxwell?” e “Existe algum referencial privilegiado para as ondas eletromagnéticas e, conseqüentemente, para a luz?”

A derradeira questão tinha resposta afirmativa para a maioria dos físicos que acreditavam no éter luminífero. Conseqüentemente, era necessário provar a existência desse meio que seria referencial absoluto para a luz (SEIXAS, 2006).

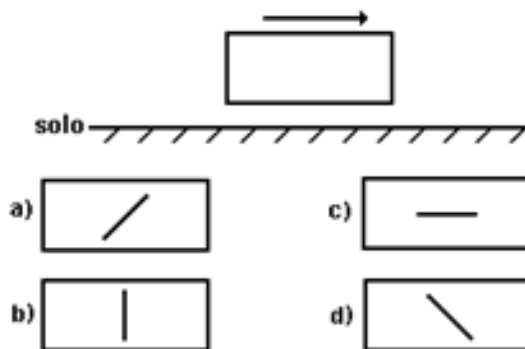
A partir daqui, você saberia responder?

-
1. Analise as sentenças a seguir e some os valores que correspondem às corretas.
01. A grande contribuição de Galileu Galilei (1564-1642) para a ciência foi a de estabelecer a Física como uma ciência baseada na experimentação.
02. Certamente todos nós já experimentamos os efeitos da inércia, descritos nos estudos de Física, como, por exemplo, quando dentro de um ônibus nos sentirmos projetados para frente quando o mesmo é freado bruscamente.
04. Os trabalhos de Newton, como sua obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, foram determinantes nos estudos da chamada Física Clássica.
08. Uma das principais diferenças entre as ideias aristotélicas e galilaicas, no que se refere aos movimentos dos corpos, é que o primeiro era partidário do movimento absoluto e, o segundo, do movimento relativo.
16. Segundo o pensamento aristotélico, vigente até os dias atuais, se um corpo está em movimento, ou seja, possui velocidade, então, necessariamente, uma força atua sobre o mesmo.
32. Segundo o pensamento newtoniano, vigente até os dias atuais, todo corpo permanece em repouso ou em movimento uniforme até que uma força atue sobre ele e modifique tal estado.
2. (FUVEST-SP) Num vagão ferroviário, que se move com velocidade $v_0 = 3 \text{ m/s}$ em relação aos trilhos, estão dois meninos, A e B, que correm um em direção ao outro, cada um com velocidade $v = 3 \text{ m/s}$ em relação ao vagão, considerando que o menino B esteja se deslocando no mesmo sentido do vagão. As velocidades dos meninos A e B em relação aos trilhos são respectivamente:
- a) 6 m/s e 0 m/s
 - b) 3 m/s e 3 m/s
 - c) 0 m/s e 9 m/s
 - d) 9 m/s e 0 m/s
 - e) 0 m/s e 6 m/s
3. (FEI-SP) Sabe-se que a distância entre as margens paralelas de um rio é de 100 m e que a velocidade da correnteza, de 6 m/s, é constante, com direção paralela às margens. Um barco parte de um ponto x da margem A com velocidade constante de 8 m/s, com

direção perpendicular às margens do rio. A que distância do ponto x o barco atinge a margem B?

- a) 100 m
- b) 125 m
- c) 600 m
- d) 750 m
- e) 800 m

4. (UERJ-RJ) Na figura a seguir, o retângulo representa a janela de um trem que se move com velocidade constante e não nula, enquanto a seta indica o sentido de movimento do trem em relação ao solo. Dentro do trem, um passageiro sentado nota que começa a chover. Vistas por um observador em repouso em relação ao solo terrestre, as gotas da chuva caem verticalmente. Na visão do passageiro que está no trem, a alternativa que melhor descreve a trajetória das gotas através da janela é:



5. A velocidade da luz de uma fonte que se aproxima de um observador com velocidade $\vec{v} \neq 0$ deve ser maior, menor ou igual à velocidade da luz de uma fonte que está em repouso em relação ao mesmo observador? Comente como você chegou à sua conclusão.

6. Em sua opinião e/ou conhecimentos, existe algum meio material ou não que sustente a emissão da luz do Sol a Terra?

7. Em sua opinião e/ou conhecimentos, seria possível detectar o éter luminífero, pensado por Maxwell e outros como suporte para a propagação de ondas eletromagnéticas, se estivéssemos dentro dele? Comente como você chegou a essa conclusão.

4. AS TENTATIVAS DE DETECÇÃO DA VELOCIDADE DA TERRA EM RELAÇÃO AO ÉTER, A CONTRAÇÃO DE LORENTZ-FITZGERALD PARA O ESPAÇO E AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

4.1. O ÉTER E AS TENTATIVAS DE SUA DETECÇÃO

A ideia de éter existia desde Aristóteles (Século IV a. C.) e era utilizada por ele para se garantir a inexistência do vazio no cosmos. Especulado de outras formas, a crença nessa “substância” persistiu até o início do século XX para explicar, por exemplo, a propagação da luz no espaço por nomes como René Descartes (1596 – 1650), Huygens, Leonhard Euler (1707 – 1783), Young e Fresnel (PIETROCOLA, 2002).

Principalmente para os adeptos da teoria ondulatória da luz, a existência do éter parecia real e inevitável, pois uma onda só poderia ser transmitida em um meio material. Do sucesso das explicações de Fresnel na ótica até fenômenos como o calor, a eletricidade e o magnetismo passaram a ser interpretados como manifestações do éter. Sua importância para os físicos foi tão grande que J. J. Thomson (1856 – 1949) chegou a dizer: “O éter não é uma criação fantástica de uma filosofia especulativa; ele é essencial para nós, como o ar que respiramos” (PIETROCOLA, 2002).

Mas alguns obstáculos se colocaram à frente do éter luminífero. Dois deles eram:

- a regularidade dos movimentos dos astros não poderia existir em um meio fluido tal como era concebido o éter;
- as ondas transversais, como as eletromagnéticas, só poderiam ser transmitidas em meios rígidos.

Uma solução para o problema do movimento dos corpos celestes foi admitir extrema fluidez ao éter. Tal concordância ocasionava características bizarras a ele, pois nenhuma substância conhecida podia ser muito fluida e rígida ao mesmo tempo (PIETROCOLA, 1993).

Somado a isso, experimentos que procuravam observar a ação do movimento terrestre no éter luminífero utilizando a velocidade da luz falharam¹⁹. É o caso, por exemplo, das experiências de interferência da luz empreendidas por Albert Abraham Michelson (1852 – 1931) e Edward Morley (1838-1923) (POLITO, 2016, p. 114).

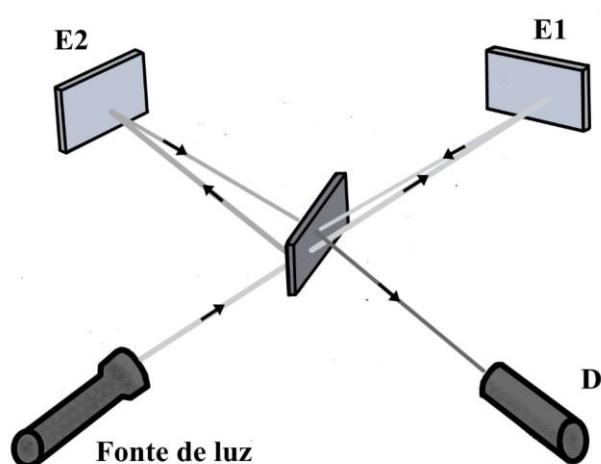
¹⁹ Lembre-se que provar a existência do éter era demonstrar um referencial absoluto.

O famoso experimento de Michelson e Morley consistia na tentativa de detectar o éter usando a velocidade da luz e o movimento de translação da Terra. A ideia se baseava na crença de que esse meio de propagação era como o previsto por Fresnel, isto é, pouco interagente com a matéria e estacionário (MARTINS, 2012).

Dessa forma, entre 1881 e 1887, Michelson e Morley utilizaram um interferômetro²⁰ visando encontrar padrões de interferência devido às diferenças nos tempos dos raios de luz colocados em direções perpendiculares entre si e simultaneamente a favor ou contra o movimento da Terra em torno do Sol. Se a hipótese do éter estivesse correta, o feixe de luz que apontasse na direção de movimento da Terra seria mais rápido ou mais devagar que o feixe perpendicular e isso poderia ser detectado.

Por meio do esquema ilustrado na figura 23, é possível compreender melhor o experimento de Michelson e Morley. No aparato, temos uma fonte que emite luz para uma placa semiespelhada no centro, que reflete e refrata feixes, e dois espelhos E1 e E2. Como a diferença de caminho óptico da luz medida a favor e contra o sentido de movimento de translação da Terra é diferente por uma composição de movimentos, seria de se esperar que o anteparo para a observação do fenômeno de interferência (D) perceberia diferença de velocidades dos feixes de luz, o que causaria um padrão de interferências. A figura 24 mostra o dispositivo experimental similar ao empregado na época por Michelson e Morley.

Figura 23: esquema experimental de um espectrômetro de Michelson.



Fonte: os autores.

²⁰ Instrumento que produz franjas de interferência sendo bastante utilizado na física e na astronomia.

Figura 24: foto de um aparato experimental semelhante ao usado por Michelson e Morley entre os anos 1881 e 1887.



Fonte: Schiller (2019).

Contudo, para a decepção da comunidade científica da época, os resultados foram negativos, quer dizer, as velocidades dos dois feixes de luz eram iguais (NUSSENZVEIG, 1998). A conclusão retirada dos experimentos de Michelson e Morley causou mal-estar, pois o fato dos feixes de luz terem velocidades iguais parecia apontar para a inexistência do éter. Nesse contexto, outro problema do século XIX ainda em aberto era a não-invariância das equações de Maxwell pelas transformações de Galileu, um produto da divergência entre o eletromagnetismo e a mecânica clássica.

4.2. A CONTRAÇÃO DO ESPAÇO DE LORENTZ-FITZGERALD E AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

4.2.1. O PROBLEMA DA VELOCIDADE DA LUZ E A CONTRAÇÃO DO ESPAÇO IDEALIZADA POR LORENTZ E FITZGERALD

Em uma tentativa de salvar o éter luminífero, Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) e George Francis FitzGerald (1851-1901), separadamente, supuseram que corpos que se deslocavam no meio etéreo deveriam sofrer uma contração na medida de seu comprimento (BARROS et al., 2005; OSTERMANN e RICCI, 2002), já que era de conhecimento na época que se uma esfera carregada se movesse com certa velocidade, seu campo elétrico deveria apresentar uma compressão (POLITO, 2016, p. 114). Portanto, Lorentz e FitzGerald estenderam isto para toda a matéria.

Confiando nessa hipótese, calcularam que essa contração seria dada por

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (8)$$

em que L_0 é o comprimento próprio do objeto na direção de seu movimento em um referencial inercial próprio S' , u é a velocidade escalar do objeto em relação a um outro referencial inercial S , c é a velocidade de propagação da luz no vácuo e L é o comprimento do objeto medido com relação ao referencial S ²¹ (OSTERMANN e RICCI, 2002).

Dessa forma, finalmente havia uma explicação para os experimentos de Michelson e Morley. Sem renegar o éter, Lorentz e FitzGerald afirmaram que o braço do interferômetro paralelo ao movimento da Terra deveria sofrer uma contração. Apesar de estranha, essa justificativa foi encarada como sendo objetivamente real (OSTERMANN e RICCI, 2002).

4.2.2. AS TRANSFORMAÇÕES DE LORENTZ

No contexto do desenvolvimento das explicações a respeito dos experimentos de Michelson e Morley e da tentativa de estender a explicação dos fenômenos eletromagnéticos para a escala microscópica (POLITO, 2016, p. 115), Lorentz obteve as transformações de coordenadas que deixavam a velocidade da luz invariante para dois observadores em movimento relativo uniforme (BARROS et al., 2005). Embora inicialmente tida como uma solução matemática, as transformações de Lorentz resolveram as incongruências observadas nas medidas de velocidade da luz detectadas nos experimentos de Michelson e Morley.

Nessas transformações, se um referencial S' se movimenta com velocidade u na direção horizontal em relação ao referencial S , como observamos na figura 22, então a mudança de coordenadas do sistema S para o sistema S' se daria pelas equações

$$x' = \gamma(x - ut) \quad (9)$$

$$y' = y \quad (10)$$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{u}{c^2}x\right) \quad (11)$$

em que $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$ é o chamado fator de Lorentz.

²¹ Para auxílio, veja a figura 22.

Observe que essas transformações são distintas das de Galileu. Há uma dependência do chamado fator de Lorentz na direção do movimento e o tempo depende da posição e da velocidade do móvel, algo que Lorentz chamou de “tempo local” (STACHEL, 2004). Era preciso abandonar o tempo absoluto para aceitar as transformações de Lorentz. Assim, começava a ruir o pensamento newtoniano de que tempo e espaço eram isolados entre si e absolutos.

Coube a Henri Poincaré (1854 – 1912) uma interpretação das transformações de Lorentz e do tempo local (POLITO, 2016, p. 116), que pode ser entendida assim: “É o tempo que relógios em repouso em um referencial que se move através do éter marcariam, se fossem sincronizados usando sinais de luz, mas sem levar em consideração o movimento do referencial” (STACHEL, 2004). Por essa explicação, que é muito elaborada, era possível perceber que o conceito de tempo ainda precisava ser melhor compreendido.

Portanto, todos os fenômenos eletromagnéticos estavam explicados ainda que isso implicasse na continuidade da crença no éter e violasse o princípio da relatividade de Galileu.

Curiosidade sobre o assunto!

A MEDIDA DO TEMPO

O nosso padrão de medida do tempo, que desde a antiguidade tinha como referência o movimento de rotação da Terra (1 segundo = 1/86.400 de um dia), passou, com o advento dos relógios atômicos em meados do século passado, a ser referenciado no mundo submicroscópico regido pelas leis quânticas. Em 1967 o segundo foi redefinido como sendo igual a 9.192.631.770 períodos da radiação emitida ou absorvida na transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de Césio-133.

Num relógio atômico típico, utiliza-se um campo magnético apropriado para selecionar, de um feixe de vapor de Césio, aqueles átomos capazes de absorver micro-ondas de uma dada frequência fundamental ν_0 . Após atravessar o campo de micro-ondas, os átomos que sofreram a transição desejada são desviados por outro campo magnético em direção a um detector. Um circuito de retroalimentação é usado para maximizar o número de átomos que chegam ao detector, regulando a frequência de micro-ondas cada vez que esse número diminui. Dessa forma, essa frequência é mantida ajustada, dentro da maior precisão possível, àquela frequência ν_0 . Acopla-se a esse

5. O PROBLEMA DA ELETRODINÂMICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO E A MUDANÇA DE CONCEPÇÃO ACERCA DE ESPAÇO E TEMPO

5.1 EINSTEIN E O PROBLEMA DA ELETRODINÂMICA DOS CORPOS EM MOVIMENTO

Um dos assuntos preferidos de Albert Einstein (1879 – 1955), um desconhecido funcionário do departamento de patentes da Suíça antes da fama alcançada mundialmente, era a eletrodinâmica dos corpos em movimento. Embora Lorentz, Poincaré e outros tenham obtido sucesso na conciliação entre o eletromagnetismo e a mecânica clássica, Einstein desconfiava da teoria pela quantidade de hipótese inseridas e conceitos não experimentais invocados. Por exemplo, ele tinha certo desconforto com relação à sustentação dos fenômenos eletromagnéticos pelo éter e lhe intrigava as noções de tempo local e encurtamento no comprimento de corpos na direção de seu movimento em relação ao éter.

Figura 25: Albert Einstein (1879 – 1955).



Fonte: Renn (2004).

Lançando mão de uma nova interpretação para o problema das cargas elétricas em movimento e da interação entre campos elétrico e magnético, em 1905, Einstein publicou um artigo intitulado “Acerca da eletrodinâmica dos corpos em movimento”. Nele, introduziu a Teoria da Relatividade Restrita (TRR) que, ao explicar fenômenos eletromagnéticos a partir de ‘uma troca de referenciais inerciais, deu origem a uma nova compreensão para os conceitos de espaço e de tempo (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 141). Nesse mesmo ano, Einstein ainda publicou outros dois artigos sobre o efeito fotoelétrico e o movimento Browniano, ambos também de grande impacto para a ciência.

5.2. A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA²²

5.2.1. OS POSTULADOS²³

A TRR de Einstein se embasou em apenas dois postulados simples, não intuitivos e com fortes implicações em todas as áreas de estudo da física. Eles podem ser enunciados da seguinte maneira:

1º Postulado: as leis da física são as mesmas em qualquer sistema de referência inercial²⁴.

2º Postulado: a velocidade da luz no vácuo é sempre a mesma em qualquer sistema de referência inercial e não depende da velocidade da fonte.

A partir deles, a TRR conseguia solucionar o problema da eletrodinâmica dos corpos em movimento sem recorrer ao éter. Além disso, previa que um evento que ocorresse simultaneamente a outro em relação a um observador A poderia não ocorrer simultaneamente para outro observador B, que o movimento relativo entre dois observadores influenciava nas medidas de intervalo de tempo e de comprimento para cada um deles e que as leis de conservação da física exigiam uma reformulação na segunda lei de Newton e nas equações de energia cinética e quantidade de movimento da mecânica clássica (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 141).

O primeiro postulado de Einstein é chamado de princípio da relatividade. Sua consequência é que se as leis da física dependessem dos referenciais inerciais, então elas deveriam ser uma maneira para distingui-los, algo que não ocorre. Dessarte, por esse postulado, as leis da física devem ser as mesmas para dois observadores que mantêm movimento uniforme e retilíneo um em relação ao outro.

Um exemplo que mostra a validade disso é o fato do movimento de um ímã em relação a uma bobina parada produzir o mesmo efeito da bobina em movimento em relação ao ímã ‘parado, pois a indução eletromagnética depende apenas da variação do fluxo do campo magnético não distinguindo referenciais inerciais²⁵.

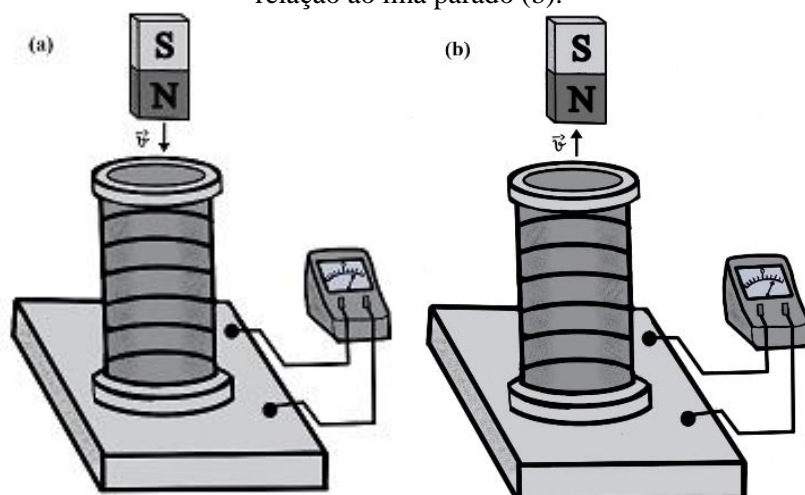
²² Em larga medida, o conteúdo explorado nessa seção se baseia em Young e Freedman (2009).

²³ Postulado é um ponto de partida para a solução de um problema.

²⁴ Referencial inercial é um sistema de referência em que corpos livres da ação de forças não têm o seu estado de movimento alterado.

²⁵ Faça você mesmo! No endereço <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/faraday>, há um simulador denominado “Laboratório de eletromagnetismo de Faraday”. Com ele, de forma mais interativa, é possível entender melhor as situações tratadas no texto.

Figura 26: ímã em movimento em relação à bobina parada (a) e bobina em movimento em relação ao ímã parado (b).



Fonte: adaptado de Young e Freedman (2009, p. 142).

Isso acontece também para as outras leis de Maxwell e elas são ditas relativísticas. Inclusive, há uma simetria entre os fenômenos eletromagnéticos, já que, a depender de uma mudança de referenciais inerciais, é possível que se perceba os fenômenos sob a ótica da eletricidade ou do magnetismo.

O segundo postulando da TRR, que não é intuitivo, surgiu de um grande salto conceitual de Einstein: perceber que para as equações de Maxwell serem válidas em qualquer referencial inercial seria necessário que a velocidade da luz no vácuo fosse a mesma em qualquer situação (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 142), circunstância que é prevista pelas transformações de Lorentz.

Uma consequência deste postulando é que um referencial inercial jamais pode se deslocar com a velocidade da luz no vácuo, pois isso conduziria a uma falácia. Imagine você... Se uma fonte de luz e seu feixe de luz tivessem uma mesma velocidade, ao mesmo tempo o feixe deveria ficar em um mesmo ponto do espaço em relação à sua fonte e viajar com a velocidade da luz no vácuo em relação à fonte! Isso é um absurdo e não pode acontecer, de acordo com a TRR. Deixando de lado a ironia da situação, um carro não poderia ter a velocidade da luz e, ao mesmo tempo, se distanciar de um feixe de *laser* emitido por si mesmo também com a própria velocidade da luz. É inconsistente!

5.2.2. A RELATIVIDADE DA SIMULTANEIDADE

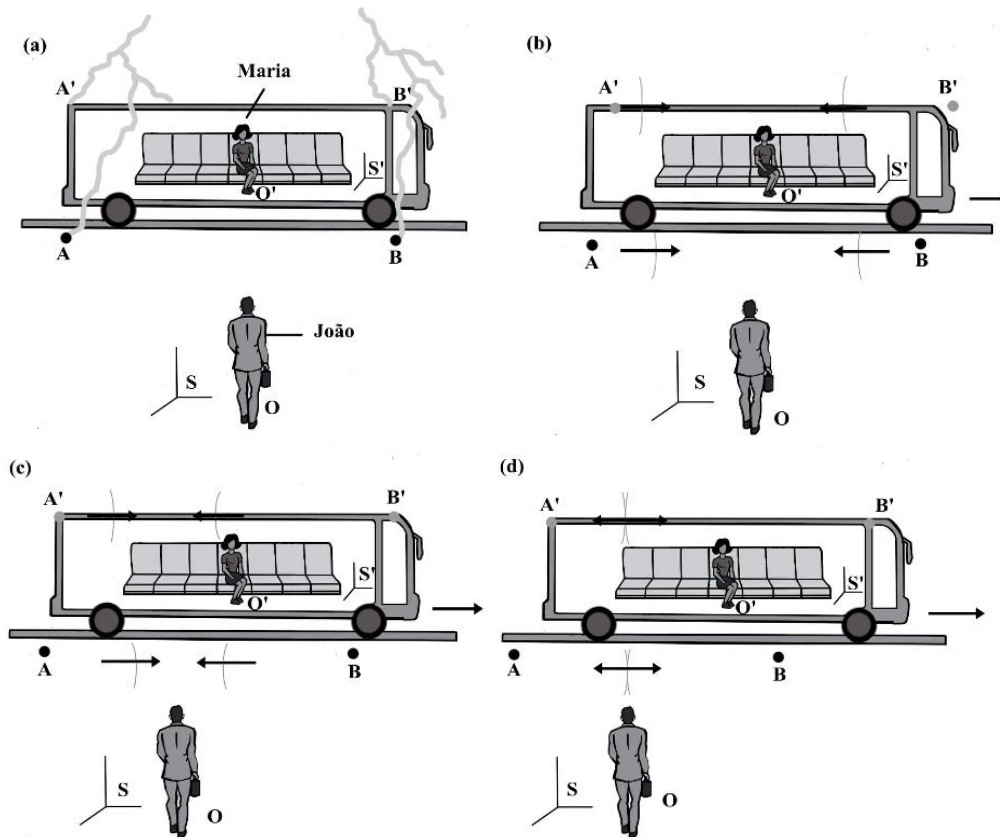
Na mecânica de Newton, o espaço e o tempo eram tidos como absolutos. Desse modo, um evento que ocorresse simultaneamente a outro em relação a um observador A

era simultâneo para outro observador B existindo ou não um movimento uniforme e retilíneo entre eles. Por exemplo, com o perdão da fantasia, na mecânica newtoniana, um mosquito em uma fruta que cai de uma árvore mediria o mesmo intervalo de tempo que uma pessoa que espera a fruta cair não importando a velocidade de queda.

Com a TRR de Einstein, a ideia de simultaneidade de eventos para dois observadores mudou. Não necessariamente eventos simultâneos para um observador inercial A deviam ser simultâneos para outro observador inercial B. A consequência disso é que medições de intervalos de tempo e distância para dois observadores poderiam não serem iguais a depender da velocidade relativa deles. Isso quer dizer que o tempo e o espaço já não eram mais absolutos.

Einstein chegou a essa conclusão após realizar um de seus famosos *Gedankenexperiment*, ou seja, experimentos mentais. Pensando na relatividade de simultaneidade, um deles é descrito a seguir com o auxílio da figura 27:

Figura 27: uma experiência mental sobre simultaneidade.



Fonte: os autores.

Imagine que um ônibus (Referencial inercial S') que se desloca para a direita com velocidade u próxima à da luz (Figura 27-a) tenha as suas extremidades atingidas por raios. Cada raio deixa uma marca no ônibus (A' e B') e no chão (A e B) no

momento em que atingem esses pontos. No instante do evento, João (Referencial inercial S) está em repouso no ponto O , exatamente no ponto médio entre A e B , e Maria se movimenta junto com o ônibus no ponto O' . Então, é possível perceber que Maria se aproxima da luz que vem da frente do ônibus e se afasta da luz que vem de sua traseira (Figura 27-b). Assim, como ela vê primeiro a luz da frente, conclui que o raio da frente foi o primeiro a cair (Figura 27-c). Diferente de Maria, João vê os dois raios atingindo o solo ao mesmo tempo e para ele os raios atingiram o ônibus simultaneamente (Figura 27-d).

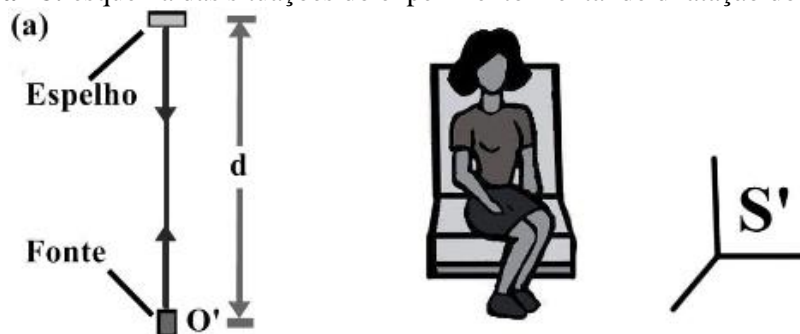
Portanto, pelo experimento mental, fica claro que os eventos (queda dos raios) aconteceram simultaneamente para João e não aconteceram simultaneamente para Maria, embora ambos fossem observadores inerciais, ou seja, observadores livres da ação de forças e, por conseguinte, com velocidade constante um em relação ao outro. Essa diferença de percepção para João e Maria sugere que as medidas de intervalo de tempo e de distância para dois observadores que têm movimento relativo com velocidades próximas a c podem não ser iguais, como veremos nas próximas seções.

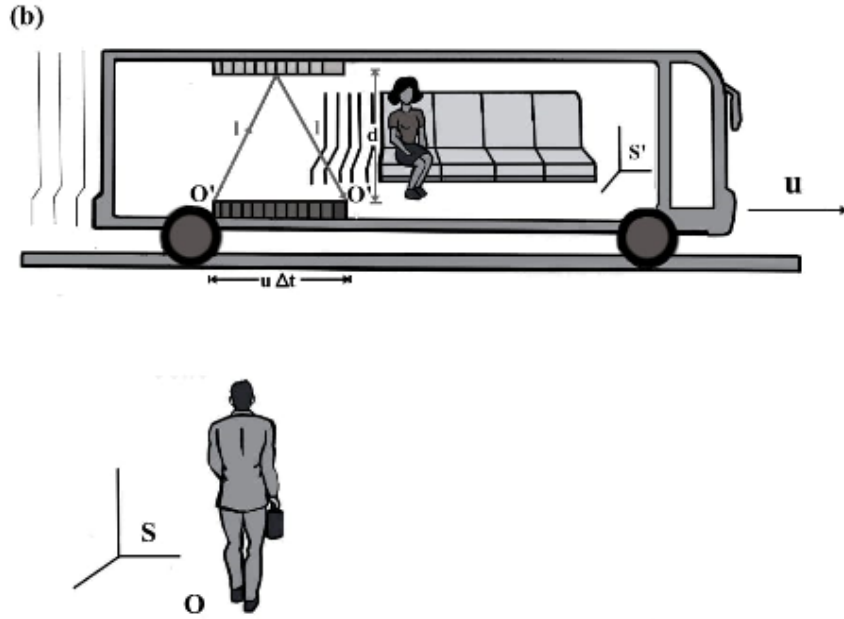
5.2.3. A RELATIVIDADE DOS INTERVALOS DE TEMPO

Usaremos outra experiência mental para demonstrar quantitativamente que medidas de intervalos de tempo podem ser diferentes para observadores com movimento relativo com velocidade próxima à velocidade da luz no vácuo c .

Imagine que Maria se locomova dentro do ônibus, no referencial inercial S' , para a direita com velocidade u em relação a João, no referencial inercial S , e que ela consiga enxergar a emissão de um pulso de luz no ponto O' , sua reflexão depois de percorrer uma distância d e seu retorno ao mesmo ponto O' , como mostra a figura 28-a:

Figura 28: esquema das situações do experimento mental de dilatação do tempo.





Fonte: os autores.

O intervalo de tempo medido por Maria para que a luz emitida em O' volte a esse mesmo ponto é Δt_0 , chamado de tempo próprio, tal que

$$\Delta t_0 = \frac{2d}{c} \quad (12)$$

Já João, situado em O , percebe outro intervalo de tempo Δt para a ida e a volta do pulso de luz em O' já que a luz viaja por uma distância $2l$, em que l^{26} é

$$l = \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (13)$$

calculado pela figura 28-b.

Dessa forma, para João, o intervalo de tempo Δt para que os eventos aconteçam é dado por

$$\Delta t = \frac{2l}{c} = \frac{2}{c} \sqrt{d^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (14)$$

Se isolarmos d na equação 12 e o inserirmos na equação 14, teremos como resultado

$$\Delta t = \frac{2}{c} \sqrt{\left(\frac{c\Delta t_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{u\Delta t}{2}\right)^2} \quad (15)$$

²⁶ Nesta passagem, usamos o teorema de Pitágoras para o triângulo retângulo que tem hipotenusa l e catetos d e $\frac{u\Delta t}{2}$, que pode ser imaginado a partir da figura 28-b.

e, por fim, se elevarmos ao quadrado e isolarmos Δt , chegaremos ao resultado

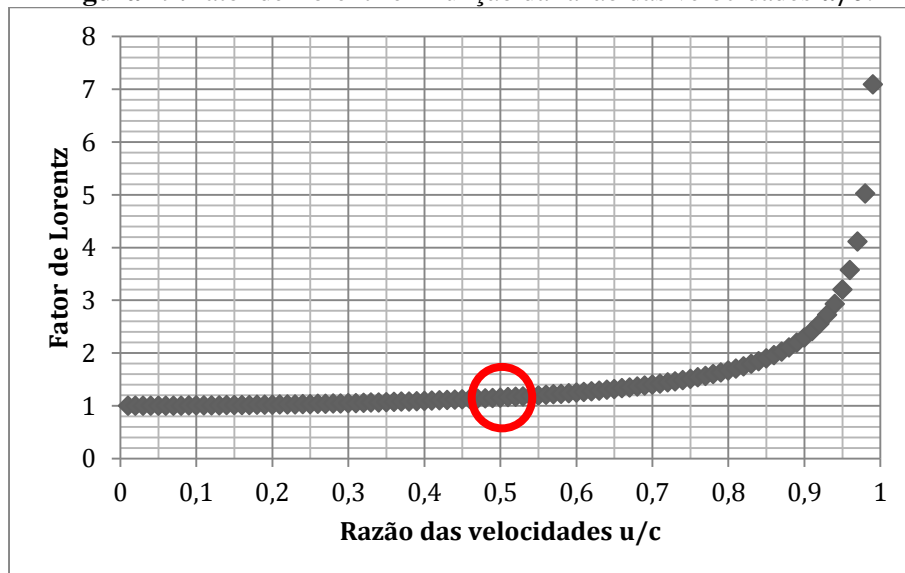
$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} = \gamma \Delta t_0 \quad (16)$$

demonstrando uma maior medida de intervalo de tempo por João em relação a Maria.

Como adiantado na seção 4.2.2, a constante γ é chamada de fator de Lorentz. Seu aparecimento na TRR manifesta a imposição de que as transformações de Lorentz são consistentes com o princípio da relatividade para velocidades grandes em relação a c em detrimento das transformações de Galileu, que só geram resultados compatíveis com a realidade em situações que envolvem baixas velocidades em relação a c .

O gráfico na figura 29 demonstra o comportamento de γ em função da velocidade relativa u entre dois referenciais inerciais. Quando u é muito pequena e $\gamma \approx 1$, então os intervalos de tempo medidos para dois eventos consecutivos pelos observadores inerciais, um em repouso (Δt_0) e outro em movimento (Δt) em relação ao primeiro, com velocidade u , são aproximadamente iguais, ou seja, $\Delta t \cong \Delta t_0$. Quando u é grande e passa de $0,5 c$ (veja o círculo que destaca esse local no gráfico da figura 29), então $\gamma > 1$ e os intervalos de tempo medidos para dois eventos consecutivos pelos observadores inerciais são diferentes, tal que $\Delta t > \Delta t_0$.

Figura 29: fator de Lorentz em função da razão das velocidades u/c .



Fonte: Os autores.

É possível generalizar o resultado visto na equação 16. Podemos dizer que a medida de intervalo de tempo entre dois eventos em um referencial inercial em repouso

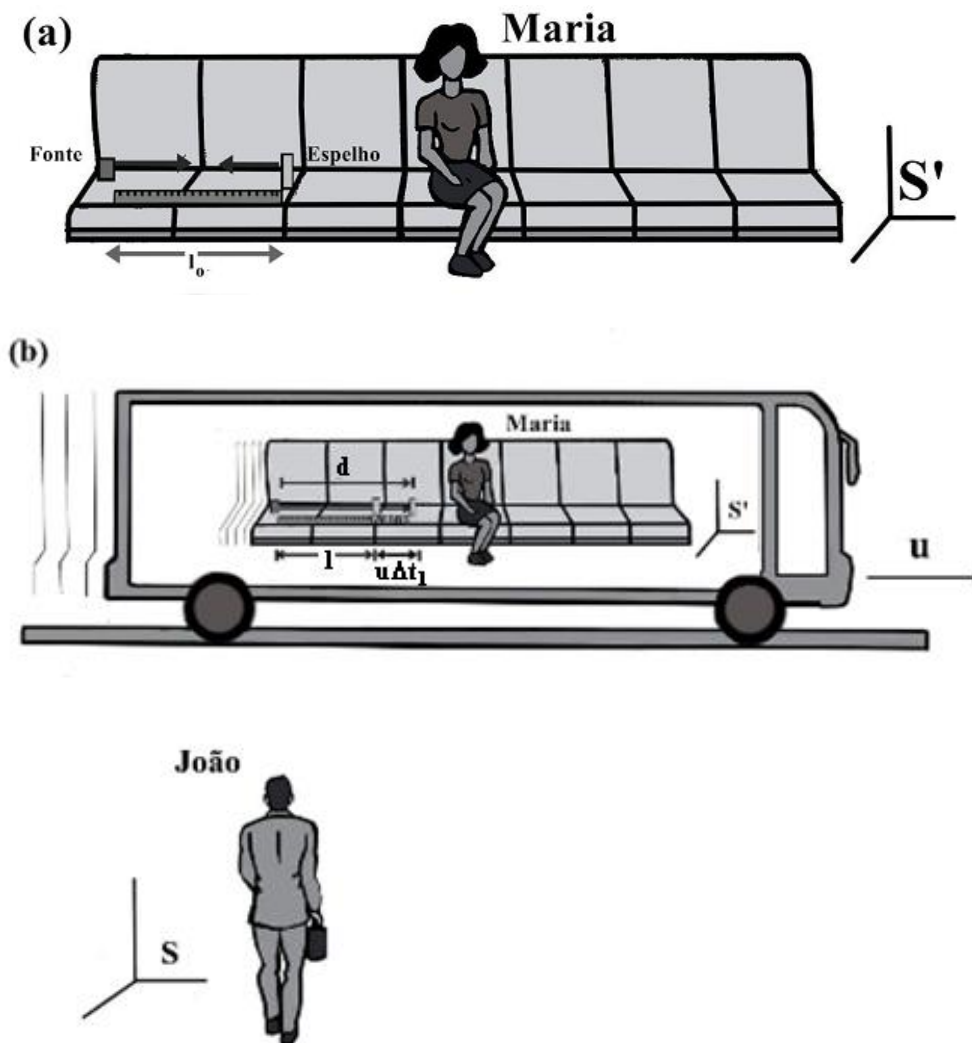
é sempre menor do que a medida de intervalo de tempo para os mesmos eventos em um referencial que se desloca com velocidade constante u em relação ao primeiro referencial. Esse é um dos resultados não intuitivos da TRR e expressa a chamada dilatação do tempo.

5.2.4 A RELATIVIDADE DOS COMPRIMENTOS

Não são apenas os intervalos de tempo entre dois eventos que podem ser diferentes para distintos sistemas de referência inerciais, ou seja, que exibem velocidades constantes entre si. As medidas de comprimentos, quer dizer, de distâncias entre dois pontos também podem ser diferentes, mas somente na direção do movimento.

Para comprovar isso, utiliza-se a experiência imaginária esboçada a seguir:

Figura 30: esquema das situações do experimento mental de contração do comprimento.



Fonte: os autores.

Desta vez, consideramos uma régua de comprimento l_0 com um espelho em uma de suas extremidades e uma fonte de luz na outra, em repouso em relação a um sistema de referência S' , de Maria, da figura 30-a. Dessa maneira, o intervalo de tempo próprio Δt_0 que um pulso de luz leva para ir da fonte até o espelho e voltar é

$$\Delta t_0 = \frac{2l_0}{c} \quad (17)$$

No sistema de referência S , de João, a mesma régua se movimenta junto com o ônibus com uma velocidade u durante a propagação do pulso de luz, como mostra a figura 30-b. O comprimento da régua para este referencial é l e o intervalo de tempo que a luz leva para ir da fonte até o espelho é Δt_1 . Neste intervalo de tempo, devido ao movimento do ônibus, a luz anda $u\Delta t_1$. Assim, a distância d entre a fonte e o espelho é diferente de l , de jeito que

$$d = l + u\Delta t_1 \quad (18)$$

Mas lembre-se que a luz também se desloca com velocidade c . Sendo assim,

$$d = c\Delta t_1 \quad (19)$$

Igualando as equações 18 e 19 e isolando Δt_1 , temos que

$$\Delta t_1 = \frac{l}{c-u} \quad (20)$$

Agora, para a situação em que o trem que leva Maria muda de sentido, temos que

$$d = l - u\Delta t_2 \quad (21)$$

Mas a luz também se desloca com velocidade c e será verdade que

$$d = c\Delta t_2 \quad (22)$$

Igualando as equações 21 e 22, temos que

$$\Delta t_2 = \frac{l}{c+u} \quad (23)$$

Consequentemente, o intervalo de tempo entre o envio do pulso ao espelho e sua volta deve ser $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, que dá

$$\Delta t = \frac{2l}{c(1-\frac{u^2}{c^2})} \quad (24)$$

Combinando as equações 16, 17 e 24 e isolando l , chegamos à conclusão de que

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} = \frac{l_0}{\gamma} \quad (25)$$

Com base na equação 25, é possível afirmar que o comprimento medido em um sistema de referência no qual o corpo está em repouso, chamado comprimento próprio l_0 , é sempre maior que o comprimento medido em um sistema de referência, simbolizado por l , que se desloca com velocidade constante u em relação ao primeiro. Mais uma vez, a constante γ é o fator de Lorentz. Quando u é muito pequena e $\gamma \cong 1$, então os comprimentos medidos por observadores inerciais em repouso (l_0) e em movimento com velocidade u (l) são aproximadamente iguais, tal que $l \cong l_0$. Agora, quando u é grande e passa de $0,5 c$ (figura 29), então $\gamma > 1$ e os comprimentos medidos pelos observadores inerciais são diferentes, de modo que $l < l_0$.

5.2.5. A MUDANÇA DE CONCEPÇÃO ACERCA DE ESPAÇO E DE TEMPO A PARTIR DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA (TRR)

Einstein foi ousado ao exigir que as descrições dos fenômenos eletrodinâmicos fossem levadas às últimas consequências (POLITO, 2016, p. 117). Como resultado disso, houve a necessidade de reinterpretar as noções de espaço e tempo. Essa tarefa ficou a cargo de Hermann Minkowski (1864 – 1909). Ele observou que espaço e tempo podiam ser interpretados como coordenadas em um espaço pseudoeuclidiano de quatro dimensões (POLITO, 2016, p. 117), ou seja, espaço (três dimensões) e tempo foram enxergados como grandezas interdependentes, como retratam comicamente as figuras 31 e 32:

Figura 31: espaço e tempo antes de Einstein e espaço-tempo depois de Einstein.



Fonte: Caruso e Freitas (2009).

Figura 32: espaço e tempo antes e espaço-tempo depois de Einstein.



Fonte: Caruso e Freitas (2009).

Em relação aos feitos de Lorentz, Poincaré e de diversos outros cientistas, Einstein se destacou pela coragem de fundar uma nova física que ao mesmo tempo dava solução aos problemas enfrentados no início do século XX e destituía o éter como estrutura da matéria ou da radiação eletromagnética. Portanto, a TRR de Einstein foi à forma mais simples, elegante e definitiva de superar a visão mecanicista de mundo (POLITO, 2016, p. 118).

Curiosidade sobre o assunto!

O éter ou o nada

Ainda se estuda a existência de uma entidade invisível que preenche todo o espaço.

A teoria cosmológica mais aceita, atualmente, é uma versão modificada da teoria do *big bang*, proposta em meados do século XX. No entanto, já se sabe a algum tempo que esse modelo, mesmo com os vários aperfeiçoamentos que lhe foram adicionados, tem um defeito grave: falta matéria no universo, de acordo com os cálculos. Para sermos mais exatos, a massa da matéria que conhecemos e que preenche o espaço cósmico, constitui as galáxias e todas as estrelas, é dez vezes menor do que a teoria exige. Ou o sistema cosmológico atualmente aceito precisa ser substituído por outro, ou é necessário encontrar essa matéria que está faltando. Nos últimos anos houve várias propostas a respeito dessa “matéria escura” desconhecida. Uma das mais recentes afirma que dois

terços da massa do universo é constituída pela quintessência. Essa não é uma palavra nova. Foi usada por muitos séculos pelos seguidores de Aristóteles para designar uma substância invisível, que preencheria todo o espaço celeste, e que era também denominada de éter.

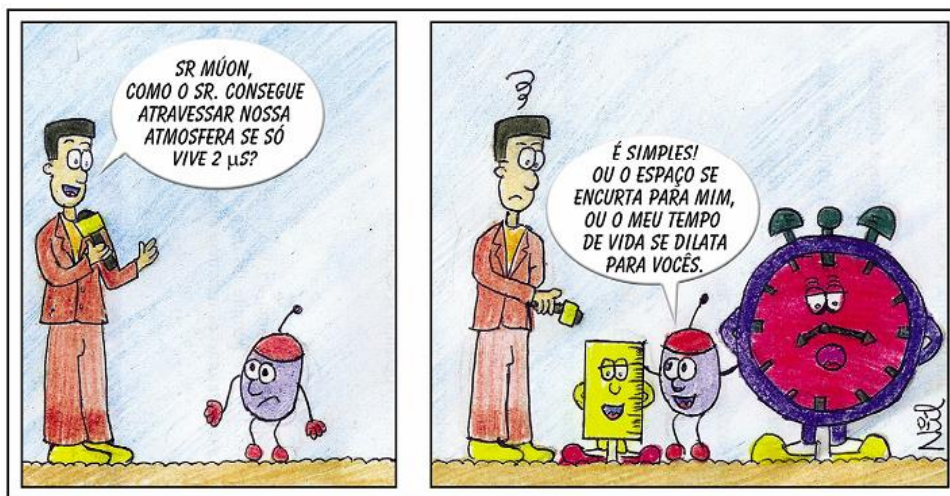
Não se trata de uma coincidência: a escolha do nome é proposital. Essa e outras propostas recentes da física estão reabilitando a ideia de um éter – uma ideia que parecia ter sido rejeitada definitivamente, no início do século XX. Esse é um tema que toca os fundamentos da física e que suscita a pergunta: Quem está errado? Os físicos atuais, ou os que tinham abandonado o éter? Um dos dois grupos cometeu um enorme erro. Qual deles?

Fragmento de texto retirado do artigo “O éter ou nada: ainda se estuda a existência de uma entidade invisível que preencha todo o espaço” de Roberto de Andrade Martins disponível em: <<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/Sci-Am-eter-2.PDF>>. Acesso em 19 de maio de 2019.

3. Calcule a dilatação temporal na vida média do múon com os dados do problema contidos no segundo parágrafo dessa seção. Sua resposta condiz com a existência dos múons próximos à superfície terrestre?

A figura 33 explica bem o que acontece aos múons na rápida viagem que fazem desde seu “nascimento” até o seu decaimento em um elétron (ou pósitron), um neutrino e um antineutrino.

Figura 33: o problema do múon na superfície terrestre.



Fonte: Caruso e Freitas (2009).

A partir daqui, você saberia responder?

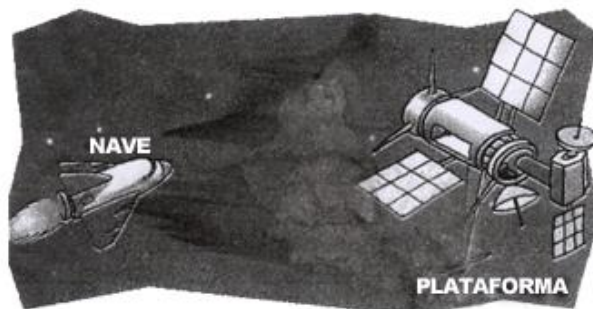
1. (BRASIL ESCOLA) Sobre os postulados da relatividade, marque o que for falso:

- a) As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais que mantêm velocidade constante ou que estão parados.
- b) A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial e vale 3×10^8 m/s.
- c) A velocidade da luz tem seu valor máximo no vácuo e tem o mesmo valor para qualquer referencial inercial, que é 300.000 m/s.
- d) Os postulados da teoria da relatividade fundamentam a teoria da relatividade de Einstein.

2. (BRASIL ESCOLA) A teoria da relatividade restrita prevê que a velocidade da luz é a mesma para todos os observadores, independentemente do estado de movimento relativo entre eles. Com base nessa afirmação, imagine duas naves que viajam no espaço com velocidades altíssimas em uma mesma direção, mas com sentidos opostos. Se cada nave possui velocidade V e a velocidade da luz no vácuo é c , a luz percebida pelo piloto teria velocidade:

- a) $V + c$
- b) $c - V$
- c) $V - c$
- d) c
- e) $2c$

3. (UFMG) Observe a figura:



Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma, envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

- a) $0,7c$.
- b) $1,0c$.
- c) $0,3c$.
- d) $1,7c$.

4. (UFRN-RN) A teoria da Relatividade Especial prediz que existem situações nas quais dois eventos que acontecem em instantes diferentes, para um observador em um dado referencial inercial, podem acontecer no mesmo instante, para outro observador que está em outro referencial inercial. Ou seja, a noção de simultaneidade é relativa e não absoluta.

A relatividade da simultaneidade é consequência do fato de que:

- a) a teoria da Relatividade Especial só é válida para velocidades pequenas em comparação com a velocidade da luz.
- b) a velocidade de propagação da luz no vácuo depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.
- c) a teoria da Relatividade Especial não é válida para sistemas de referência inerciais.
- d) a velocidade de propagação da luz no vácuo não depende do sistema de referência inercial em relação ao qual ela é medida.

5. (UFRN-RN) Nos dias atuais, há um sistema de navegação de alta precisão que depende de satélites artificiais em órbita em torno da Terra. Para que não haja erros significativos nas posições fornecidas por esses satélites, é necessário corrigir relativisticamente o intervalo de tempo medido pelo relógio a bordo de cada um desses satélites. A Teoria da Relatividade Especial prevê que, se não for feito esse tipo de correção, um relógio a bordo não marcará o mesmo intervalo de tempo que outro relógio em *repouso* na superfície da Terra, mesmo sabendo-se que ambos os relógios estão sempre em perfeitas condições de funcionamento e foram sincronizados antes do satélite se lançado.

Se não for feita a correção relativística para o tempo medido pelo relógio de bordo:

- a) ele se adiantará em relação ao relógio em Terra enquanto ele for acelerado em relação à Terra.
- b) ele ficará cada vez mais adiantado em relação ao relógio em Terra.
- c) ele atrasará em relação ao relógio em Terra durante metade de sua órbita e se adiantará durante a metade da outra órbita.
- d) ele ficará cada vez mais atrasado em relação ao relógio em Terra.

6. (UEL-PR) A teoria da Relatividade Restrita, proposta por Albert Einstein (1879 – 1955) em 1905, é revolucionária porque mudou as ideias sobre o espaço e o tempo, mas em perfeito acordo com os resultados experimentais. Ela é aplicada, entretanto, somente a referenciais inerciais. Em 1915, Einstein propôs a Teoria Geral da Relatividade, válida não só para referenciais inerciais, mas também para referenciais não-inerciais.

Sobre os referenciais inerciais, considere as seguintes afirmativas:

- I. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade constante.
- II. São referenciais que se movem, uns em relação aos outros, com velocidade variável.
- III. Observadores em referenciais inerciais diferentes medem a mesma aceleração para o movimento de uma partícula.

Assinale a alternativa correta:

- a) Apenas a afirmativa I é verdadeira.
- b) Apenas a afirmativas II é verdadeira.
- c) As afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) As afirmativas II e III são verdadeiras.
- e) As afirmativas I e III são verdadeiras.

7. (UNIMAT-MT) Com o advento da Teoria da Relatividade de Einstein, alguns conceitos básicos da física newtoniana, entre eles, o espaço e o tempo, tiveram de ser revistos. Qual a diferença substancial desses conceitos para as duas teorias?

Alternativas	Física newtoniana		Teoria da relatividade	
	Espaço	Tempo	Espaço	Tempo
a)	Absoluto	Absoluto	Dilata	Contraí
b)	Dilata	Absoluto	Contraí	Dilata
c)	Absoluto	Contraí	Dilata	Absoluto

d)	Absoluto	Absoluto	Contraí	Dilata
e)	Contraí	Dilata	Absoluto	Absoluto

8. ²⁷ O tempo médio de vida de múons estacionários é $2,2\mu s$. O tempo médio de vida dos múons de alta velocidade produzidos pelos raios cósmicos é $16\mu s$ no referencial da Terra. Determine a velocidade em relação à Terra dos múons produzidos pelos raios cósmicos.

9. Uma espaçonave cujo comprimento de repouso é 130 m passa por uma base espacial a uma velocidade de $0,74c$. a) Qual é o comprimento da nave no referencial da base? b) Qual é o intervalo de tempo registrado pelos tripulantes da base entre a passagem da proa e a passagem da popa da espaçonave?

10. (UFG-GO) Segundo a Teoria da Relatividade Restrita de Albert Einstein, o tempo transcorre de maneira diferente para observadores com velocidades diferentes. Isso significa que, para um observador em um referencial fixo, transcorre um intervalo de tempo entre dois eventos, enquanto para um observador em um referencial que viaja com uma velocidade constante v , em relação ao referencial anterior, o intervalo de tempo entre os mesmos eventos será

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}$$

Os dois intervalos de tempo estão relacionados porque representa uma dilatação temporal. Nesta expressão, c é a velocidade da luz no vácuo. Com esta teoria, surge o paradoxo dos gêmeos: para o piloto de uma espaçonave que realizou uma viagem espacial, com uma velocidade constante de $0,8c$, transcorreram 18 anos até o seu retorno à Terra. Para o gêmeo que ficou na Terra, calcule quanto tempo durou a viagem do seu irmão, o piloto.

²⁷Retirado das notas de aula de Jason Alfredo Carlson Gallas. Disponível em <<https://inaesp.org/ENSINO/Cap42.pdf>>. Acesso em 21 de maio de 2019.

7. A INCOMPATIBILIDADE DOS CONCEITOS DE ESPAÇO E DE TEMPO NAS TEORIAS NEWTONIANA E EINSTEINIANA SEGUNDO THOMAS S. KUHN

Diante da revolução causada pela criação da relatividade restrita, uma questão se coloca e suscita acalorados debates. Um deles, de natureza filosófica é: a noção de espaço e tempo newtonianos seria um caso particular das noções introduzidas com a TRR?

Como é possível ver nas deduções abaixo

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad \Delta t \cong \Delta t_0 \quad (24)$$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}} \quad \rightarrow \quad \rightarrow \quad l \cong l_0 \quad (25)$$

os resultados da dilatação do tempo, visto na equação 16, e da contração do comprimento, visto na equação 25, da mecânica relativística são quase inexistentes para quando a velocidade relativa u entre os referenciais S e S' é baixa, isto significa, que os intervalos de tempo Δt e Δt_0 e os comprimentos l e l_0 são aproximadamente iguais, algo que é visto em nosso cotidiano.

Apesar de sermos induzidos a acreditar que a mecânica newtoniana seja um caso especial da relatividade restrita, conforme Thomas S. Kuhn (1922 – 1996), figura 34, a resposta ao questionamento colocado no início desta seção é negativa, pois os padrões e definições científicos são sempre diferentes para cada teoria (BASTOS FILHO, 2000).

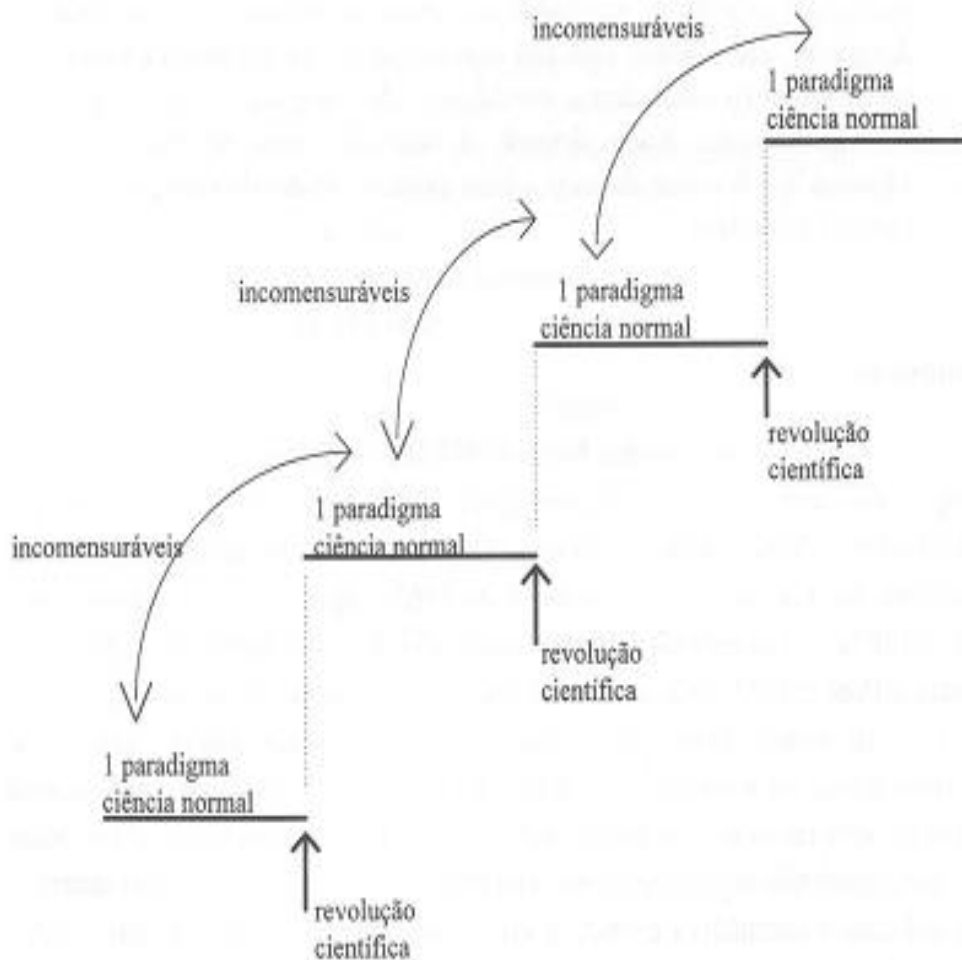
Figura 34: Thomas S. Kuhn (1922 – 1996).



Fonte: Oliveira (2011, p. 35).

Para afirmar isso, Kuhn faz uso de sua compreensão de progresso científico, que é composto por um ciclo com período de ciência normal com apego a um paradigma, período de ciência extraordinária, com crise nesse paradigma, e revolução científica que gera ciência normal com um novo paradigma incompatível com o anterior, conforme mostra o esquema da figura 35.

Figura 35: esquema do modelo de progresso científico de Kuhn.



Fonte: Ostermann (1996).

Para Kuhn, o termo **paradigma** traduz um conjunto de compromissos como crenças, valores, técnicas partilhadas etc. que dão suporte à **ciência normal**. Esta, por sua vez, compreende a pesquisa baseada em realizações científicas reconhecidas como proporcionadoras de fundamentos para sua prática posterior (KUHN, 2011, p. 29) e tem como objetivo articular fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma (OSTERMANN, 1996) por meio da resolução de problemas denominados **quebra-cabeças**.

Contudo, o aparecimento de **anomalias e crises no paradigma** durante a resolução de quebra-cabeças, ou seja, o advento de desorientações entre paradigma e ciência normal, abre brecha para uma crise na área de pesquisa dando origem à chamada **ciência extraordinária**. Nessa situação, há a possibilidade de uma **revolução científica** com o aparecimento de **um novo paradigma** que, aliás, é incompatível ou **incomensurável** com o anterior.

Analisando a passagem da mecânica newtoniana para a mecânica relativística com base nas ideias de Kuhn, percebemos padrões e definições científicos diferentes entre as duas teorias que nos revelam certa incompatibilidade entre seus conceitos. Por exemplo, para Newton, o espaço e o tempo absolutos, distinguíveis dos relativos, são pontos centrais de sua visão de mundo:

O espaço absoluto, por sua própria natureza, sem relação com algo exterior, é sempre semelhante e imóvel. O espaço relativo é a dimensão móvel ou a medida do espaço absoluto [...] (NEWTON, 1978, p. 40 *apud* FERREIRA et al. 2009).

O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com nada externo, e também é chamado duração. O tempo relativo, aparente e comum, é uma medida sensível e externa da duração por meio do movimento (NEWTON, 1978, p. 40 *apud* FERREIRA et al. 2009).

Embora essa interpretação tenha permanecido durante os séculos XVIII e XIX, desde as contribuições de Einstein no século XX, o espaço e o tempo são interdependentes e formam entre si um espaço pseudoeuclidiano de quatro dimensões

(POLITO, 2016, p. 117). Por causa disso, tanto o espaço como o tempo se alteram ao passar de um sistema de referência inercial para outro sendo a transformação de Lorentz a responsável por tais mudanças (FERREIRA et al., 2009).

Portanto, devemos superar a concepção de que a dinâmica newtoniana pode ser derivada da dinâmica relativista, pois os conceitos físicos dos conceitos einsteinianos não são de modo algum idênticos àqueles conceitos newtonianos que levam o mesmo nome.

Outra visão sobre o assunto!

A Filosofia da Ciência em Thomas Kuhn

Thomas Kuhn foi um daqueles pesquisadores da Filosofia da Ciência que defenderam o contexto de descoberta, o qual privilegia os aspectos psicológicos, sociológicos e históricos como relevantes para a fundamentação e a evolução da ciência.

Para Kuhn, a ciência é um tipo de atividade altamente determinada que consiste em resolver problemas (como um quebra-cabeça) dentro de uma unidade metodológica chamada paradigma. Este, apesar de sua suficiente abertura, delimita os problemas a serem resolvidos em determinado campo científico. É ele que estabelece o padrão de racionalidade aceito em uma comunidade científica sendo, portanto, o princípio fundante de uma ciência para a qual são treinados os cientistas.

O paradigma caracteriza a Ciência Normal. Esta se estabelece após um tipo de atividade desorganizada que tenta fundamentar ou explicar os fenômenos ainda em um estágio que Kuhn chama de mítico ou irracional: é a pré-ciência. A Ciência Normal também ocorre quando da ruptura e substituição de paradigmas (o que não significa voltar ao estágio da pré-ciência). É que dentro de um modelo ocorrem anomalias ou contraexemplos que podem colocar em dúvida a validade de tal paradigma. Se este realmente se torna insuficiente para submeter às anomalias à teoria – já que vista de outro ângulo elas podem se tornar um problema – ocorre o que Kuhn denomina de Ciência Extraordinária ou Revolucionária, que nada mais é do que a adoção de outro paradigma, isto é, de visão de mundo.

Isto ocorre porque dentro de um paradigma há expectativas prévias que os cientistas devem corroborar. Por isso, os cientistas não buscam descobrir (como entendiam os pensadores do contexto de justificação) nada, mas simplesmente adequar

teorias a fatos. Quando ocorre algo diferente deste processo, isso se deve a fatores subjetivos, como a incapacidade técnica do profissional, ou à inviabilidade técnica dos instrumentos, ou ainda à necessidade de real substituição do paradigma vigente. Para isso, os cientistas usam hipóteses ad hoc²⁸ para tentar manter o paradigma (contrário ao que pensava Popper). Aqui, Kuhn evidencia o caráter de descontinuidade do conhecimento científico que progride, então, por rupturas e não pelo acúmulo do saber, como pensava a ciência tradicional.

CABRAL, João Francisco Pereira. "A Filosofia da Ciência em Thomas Kuhn"; **Brasil Escola**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/filosofia/a-filosofia-ciencia-thomas-kuhn.htm>>. Acesso em 23 de maio de 2019.

REFERÊNCIAS

BARROS, A.; MONTE, E. M.; ARAÚJO, I. G.; OLIVEIRA, J. C. T.; VIEIRA, S. Sobre a contração de Lorentz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 4, p. 621 - 623, 2005.

BASTOS FILHO, J. B. Sobre os paradigmas de Kuhn, o problema da incomensurabilidade e o confronto com Popper. *Acta Scientiarum*, 22 (5):1297-1309, 2000.

BELÉNDEZ, A. La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la “síntesis electromagnética” de Maxwell. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, 2601, 2008.

CARUSO, F.; FREITAS, N. Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de Einstein em tirinhas. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 26, n.2, p. 355 - 366, ago. 2009.

FAUTH, A. C.; PENEREIRO, J. C.; KEMP, E.; GRIZOLLI, W. C.; CONSALTER, D. M.; GONZALEZ, L. F. G. Demonstração experimental da dilatação do tempo e da

²⁸ Neste caso, ad hoc significa hipótese(s) estranha(s) a uma teoria para salvá-la de ser falseada.

contração do espaço dos múons da radiação cósmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 585-591, 2007.

FAUTH, A. C.; GROVER, A. C.; CONSALTER, D. M. Medida da vida média do múon. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, 4502, 2010.

FERREIRA, R. A.; HELAYEL-NETO, J. A.; SIQUEIRA-BATISTA, R.; JESUS, V. L. B.; SIQUEIRA-BATISTA, R. O espaço e o tempo, entre a ciência e a filosofia: notas para o ensino de física. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Florianópolis, 11, 2009. ISSN 21766940.

GALILEI, G. Carta de Galileu Galilei a Fortunio Liceti em Pádua. Tradução de Pablo Rubén Mariconda. **Scientiae studia**, v. 1, n. 1, p. 75-80, 2003.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**. 3ª ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.

GERMANO, M. G.; LIMA, I. P. C.; SILVA, A. P. B. Pilha voltaica: entre rãs, acasos e necessidades. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. 1, 2012.

JACOT, B. L.; COLLIER, D.M.B. **Marconi, senhor do espaço**. Rio de Janeiro: Vecchi, 1940.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 11ª edição. São Paulo: Perspectiva, 2011.

MARTINS, R. A. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. **Acta Scientiarum**, 21(4): 823 – 35, 1999.

MARTINS, R. A. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra (1818-1880). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n.1: p. 52-80, abril. 2012.

MARTINS, A. F. P.; ZANETIC, J. Tempo: esse velho estranho conhecido. **Revista Ciência e cultura**, v. 54, n. 2. São Paulo, out/nov/dez 2002.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica** – volume 4. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 1998.

OLIVEIRA, S. G. **Kuhn, Feyerabend e a revolução copernicana: irracionalidades” na atividade científica?** 127 f. Dissertação. (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática). Universidade Federal de Goiás, setembro de 2011.

OSTERMANN, F. A epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.13, n3: p.184-196, dez.1996

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

PIETROCOLA, M. Fresnel e o arrastamento parcial do éter: a influência do movimento da terra sobre a propagação da luz. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.10, n.2: p.157-172, 1993.

PIETROCOLA, M. O espaço plena e a concepção do éter. **Física na Escola**, v. 3, n. 2, 2002.

POLITO, A. M. M. **A construção da estrutura conceitual da física clássica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

RENN, J. A física clássica de cabeça pra baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 27 - 36, 2004.

SEIXAS, W. O princípio da relatividade – De Galileu a Einstein. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 5, n. 10, 2006.

SILVA, B. V. C., Young fez, realmente, o experimento da fenda dupla?, **Latin-American Journal of Physics Education**, v3, n. 2, p. 280-28, 2009.

SOUZA, M. S.; OLIVEIRA, M. R. S.; LOURENÇO, A. B. **Raios cósmicos invadindo o ensino médio**. In: **Abordando os raios cósmicos no ensino médio**: uma proposta de sequência de ensino. 2017. 92 p. In: Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Dourados, 2017.

STACHEL, J. 1905 e tudo o mais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 1, p. 5 - 9, 2004.

VIEIRA, S.; BARROS, A.; ARAÚJO, I.; OLIVEIRA, J. C. Uma comparação entre deduções da equação $E=mc^2$. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 2, p. 93 - 98, 2004.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna**. Tradução de Cláudia Martins. Revisão técnica de Adir Moysés Luiz. 12ª edição. São Paulo: Adisson Wesley, 2009.

ANEXO – GABARITOS

A seguir, são indicados os gabaritos das questões utilizadas no decorrer do material didático. Algumas foram criadas pelos autores e outras foram aproveitadas de processos seletivos de universidades e/ou da disponibilização em *sites* de auxílio a estudos dos referidos conteúdos que aqui exploramos:

Capítulo 1

1. $\Delta S \cong 659,0 \text{ m}$
2. $h \cong 14 \ 341 \text{ m}$
3. Subjetiva.

Capítulo 2

1. E
2. B
3. B
4. A
5. A
6. C

7. A
8. C
9. C
10. C
11. D

Capítulo 3

1. 47
2. A
3. B
4. A
5. De acordo com a mecânica newtoniana, a velocidade da luz observada pelo observador deveria ser maior que c . No entanto, isto é um erro, conforme percebemos por um dos postulados da relatividade restrita.
6. Subjetiva.
7. Subjetiva.

Capítulo 4

1. Subjetiva.
2. Subjetiva.
3. Conforme a relatividade restrita, é impossível que um móvel tenha exatamente a velocidade da luz. Portanto, a questão em si é um absurdo.

Capítulo 6

Primeira seção:

1. Não. Retomar cálculos das questões 1 e 2 do capítulo 1.
2. É possível usar argumentos relacionados à dilatação do tempo ou de contração do comprimento, assim como os demonstrados na figura 31.
3. A dilatação do tempo para o múon em relação a um observador na terra será $\Delta t = 109,9 \cdot 10^{-3} s$. Sim, isso condiz com múons próximos à superfície terrestre.

Segunda seção:

1. C
2. D
3. B
4. D
5. D
6. A
7. D
8. 0,98 c
9. Gabarito: a) 87,4 m; b) $3,94 \cdot 10^{-7} s$
10. 30 anos

APÊNDICE B – Termo de consentimento livre e esclarecido e termo de responsabilidade do pesquisador



Universidade Federal do Acre

Pró- Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

Centro de Ciências Biológicas e da Natureza-CCBN

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Baseado nos termos da Resolução nº 466, de 12 de Dezembro de 2012 e Resolução nº 196/96, de 10 de outubro de 1996 do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde.

O presente termo em atendimento as resoluções acima citadas, destina-se a esclarecer ao participante da pesquisa intitulada “Uma construção do moderno conceito de espaço-tempo da teoria da relatividade restrita visando alfabetização científica no ensino médio” sob a responsabilidade de Diego Rodrigues de Souza, do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física / MNPEF – UFAC, os seguintes aspectos:

Objetivos:

- Implementar uma sequência de ensino híbrida baseada no laboratório rotacional utilizando a soma de um material didático escrito mais uma *WebQuest*.
- Verificar motivação para a aprendizagem, potencial do material didático escrito e da *WebQuest*, enquanto ferramentas para o ensino da Teoria da Relatividade Restrita com um viés de Alfabetização Científica e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia.

Metodologia:

Classificamos a pesquisa realizada durante as atividades que aconteceram em sala de aula como de abordagem qualitativa, de natureza aplicada, com procedimento descritivo e participante, já que temos a intenção de verificar motivação para a aprendizagem, potencial do material didático escrito e da *WebQuest*, enquanto ferramentas para o ensino da TRR com um viés de AC e posicionamentos crítico-reflexivos em relação à ciência e à tecnologia.

Nos dois primeiros encontros da sequência de ensino híbrida, analisaremos as discussões de sala de aula e a disposição para a realização de exercícios ou de leituras dos textos de divulgação científica do material didático escrito. Já no último encontro, que permitirá trabalhos em grupos de três integrantes, apreciaremos o cumprimento das tarefas da *WebQuest* e uma redação de pelo menos 25 linhas sobre o tema “O GPS: benefícios e malefícios de seu uso” e realizaremos um questionários de opinião sobre o produto educacional e a sequência de ensino híbrida.

Como instrumentos de coleta de dados para a pesquisa, utilizamos gravações em áudio, registros fotográficos, questionários, diário de campo do professor e documentos produzidos pelos próprios estudantes. Tudo isso com o devido consentimento livre e esclarecido dos participantes da pesquisa que, em sua maioria, são maiores de idade.

Justificativa e Relevância:

Justifica-se a pesquisa com base na necessidade de se testar novas metodologias de ensino e aprendizagem a fim de melhorar a educação básica brasileira.

Participação:

Alunos do Terceiro Ano do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio.

Riscos e desconfortos:

Não haverá riscos e desconfortos para os participantes.

Benefícios:

Haverá benefícios relacionados à aprendizagem de conteúdos sobre a construção da Teoria da Relatividade Restrita com um viés de Alfabetização Científica.

Dano advindo da pesquisa:

Não se vislumbra danos advindos da pesquisa.

Garantia de esclarecimento: A autoria da pesquisa se compromete a estar à disposição dos sujeitos participantes da pesquisa no sentido de oferecer quaisquer esclarecimentos sempre que se fizer necessário.

Participação voluntária: A participação dos sujeitos no processo de investigação é voluntária e livre de qualquer forma de remuneração, e caso ache conveniente, o seu consentimento em participar da pesquisa poderá ser retirado a qualquer momento.

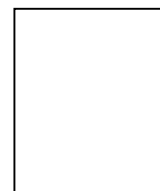
Consentimento para participação:

Eu estou ciente e concordo com a participação no estudo acima mencionado. Afirmo que fui devidamente esclarecido quanto os objetivos da pesquisa, aos procedimentos aos quais serei submetido e os possíveis riscos envolvidos na minha participação. O responsável pela investigação em curso me garantiu qualquer esclarecimento adicional, ao qual possa solicitar durante o curso do processo investigativo, bem como também o direito de desistir da participação a qualquer momento que me fizer conveniente, sem que a referida desistência acarrete riscos ou prejuízos à minha pessoa e meus familiares, sendo garantido, ainda, o anonimato e o sigilo dos dados referentes à minha identificação. Estou ciente também que a minha participação neste processo investigativo não me trará nenhum benefício econômico.

Eu, _____,
aceito livremente participar da pesquisa intitulada _____

desenvolvido(a) pelo mestrando Diego Rodrigues de Souza do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, sob a orientação do(a) professor(a) Dr. Marcelo Castanheira da Silva, da Universidade Federal do Acre – UFAC.

Assinatura do Participante



Polegar
direito

TERMO DE RESPONSABILIDADE DO PESQUISADOR

Eu, Diego Rodrigues de Souza, apresentei todos os esclarecimentos, bem como discuti com os participantes as questões ou itens acima mencionados. Na ocasião expus minha opinião, analisei as angústias de cada um e tenho ciência dos riscos, benefícios e obrigações que envolvem os sujeitos. Assim sendo, me comprometo a zelar pela lisura do processo investigativo, pela identidade individual de cada um, pela ética e ainda pela harmonia do processo investigativo.

Cruzeiro do Sul, AC, ____ de _____ de 2019

Assinatura do(a) Pesquisador(a)

Prof. Dra. Bianca Martins Santos

Coordenadora do MNPEF

**APÊNDICE C - PESQUISA DE OPINIÃO
SOBRE O PRODUTO EDUCACIONAL E A
SEQUÊNCIA DE ENSINO**

Pesquisa de Opinião Sobre o Produto Educacional e a Sequência de Ensino

O presente questionário pertence a uma pesquisa realizada pelo mestrando Diego Rodrigues de Souza para a realização de uma dissertação de mestrado. Por meio dele pretendemos avaliar um produto educacional constituído de material didático escrito mais *WebQuest* e uma sequência de ensino híbrida.

Todas as informações aqui respondidas serão usadas exclusivamente na pesquisa.

Qual o seu nome completo?

Qual o seu endereço de e-mail?

1. Na sua opinião, a Teoria da Relatividade Restrita é um tema que estimula estudar física?

Sim. Não. Sem opinião.

2. Você acredita que aprender física a partir de aulas que utilizem meios tradicionais (discussão entre professor e aluno, resolução de exercícios, leitura de textos de divulgação científica etc.) em conjunto com meios digitais on-line (*sites*, *WebQuest*, simulações virtuais etc) seja proveitoso para a sua aprendizagem?

Sim. Não. Sem opinião.

3. Você recomendaria ou gostaria de repetir a aprendizagem de física a partir de aulas que utilizem meios tradicionais em conjunto com meios digitais on-line?

Sim. Não. Sem opinião.

4. Avalie o material didático escrito e a *WebQuest* como mecanismos motivadores e facilitadores da compreensão de assuntos vinculados à Teoria da Relatividade Restrita em:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

5. Avalie o material didático escrito denominado "Uma construção do moderno conceito de espaço-tempo da Teoria da Relatividade Restrita: uma revolução histórica da física"...

a) quanto à adequação da linguagem a um aluno do ensino médio:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

b) quanto à qualidade das imagens e ilustrações didáticas:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

c) quanto à qualidade dos textos, vídeos e *softwares* indicados:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

d) quanto à adequação dos exercícios propostos para a verificação da aprendizagem:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

e) quanto à relevância dos assuntos abordados para o dia a dia de um aluno do ensino médio:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

f) quanto à articulação entre os conteúdos “antigos” e “novos” a partir da inserção de História e Filosofia da Ciência:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

g) quanto à importância da História e Filosofia da Ciência para a percepção de rupturas na ciência:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

h) quanto à relevância dos assuntos abordados para alguma mudança de concepção sobre a ciência:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

i) quanto à importância da História e Filosofia da Ciência para perceber a ciência como um processo com falhas:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

6. Avalie a *WebQuest* denominada "GPS e Teoria da Relatividade Restrita"...

a) quanto à clareza do conteúdo:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

b) quanto à promoção do trabalho em equipe:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

c) quanto à promoção de aprendizagem de aspectos básicos do GPS:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

d) quanto à qualidade da conexão com o material didático escrito:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

e) quanto à relevância dos assuntos abordados para o dia a dia:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

f) quanto ao estímulo a reflexões sobre a influência da ciência e da tecnologia sobre a sociedade:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

g) quanto à avaliação do processo de aprendizagem:

Excelente. Bom. Regular. Ruim. Péssimo.

7. Utilize o espaço abaixo para sugestões, elogios e/ou críticas construtivas no que diz respeito ao material didático escrito, à *WebQuest* ou à sequência de aulas.
