



Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DANIEL SANTOS DE SOUZA

**TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO ABORDANDO OS CON-
CEITOS DE ABERRAÇÃO DA LUZ, CONTRAÇÃO ESPACIAL DE LORENTZ,
EFEITOS DOPPLER, TERRELL E PENROSE**

SÃO MATEUS – ES

2019

DANIEL SANTOS DE SOUZA

**TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA:
UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO ABORDANDO OS CON-
CEITOS DE ABERRAÇÃO DA LUZ, CONTRAÇÃO ESPACIAL DE LORENTZ,
EFEITOS DOPPLER, TERRELL E PENROSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino na Educação Básica.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga.

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Viali Loyola.

SÃO MATEUS - ES

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas – SIBI/UFES e elaborada pelo autor

S719t Souza, Daniel Santos de, -
Teoria da Relatividade Restrita : uma sequência didática para o
ensino médio abordando os conceitos de arração da luz, contração
espacial de Lorentz, efeitos Doppler, Terrell e Penrose / Daniel Santos
de Souza. – 2019.
183 f. ; il. col.

Orientador : Flávio Gimenes Alvarenga.
Coorientador : Gustavo Viali Loyola.
Dissertação (Mestrado em Ensino na Educação Básica) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do
Espírito Santo.

1. Relatividade especial (Física). 2. Realidade virtual. 3. Física
moderna – Ensino. I Alvarenga, Flávio Gimenes. II. Loyola, Gustavo
Viali. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário
Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU : 37


DANIEL SANTOS DE SOUZA

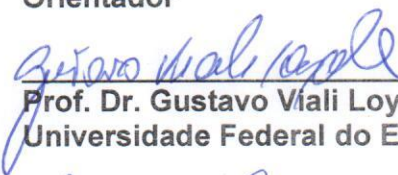
**TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA: UMA SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO MÉDIO ABORDANDO OS CONCEITOS
DE ABERRAÇÃO DA LUZ, CONTRAÇÃO ESPACIAL DE LORENTZ,
EFEITOS DOPPLER, TERRELL E PENROSE**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino na Educação Básica da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ensino na Educação Básica.

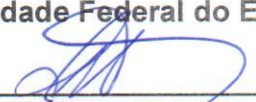
Aprovada em 25 de abril de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador


Prof. Dr. Gustavo Viali Loyola
Universidade Federal do Espírito Santo


Prof^a. Dr^a. Márcia Regina Santana
Pereira
Universidade Federal do Espírito Santo


Prof. Dr. Raphael Fracalossi
Escola Sistema de Ensino Brasileiro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por tudo em minha vida.

Em segundo, ao meu orientador, o Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou nesta pesquisa. Muito obrigado por me ter corrigido, quando necessário, sem nunca me desmotivar.

Aos meus pais, José de Souza Coelho e Valdelice dos Santos, pelo grande incentivo durante toda minha vida escolar e acadêmica, superando quaisquer dificuldades.

À minha esposa, Pâmela Vanessa de Almeida Santos, pelo afeto e incentivo direto à conclusão desse trabalho.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Gustavo Viali Loyola, pela dedicação e preocupação na condução dos trabalhos desenvolvidos durante o processo, além da paciência e do profissionalismo.

Em especial, à minha filha Lara Helena de Almeida Souza, que nasceu durante o processo e motivou-me em todos os momentos.

Gostaria também de agradecer aos membros da banca examinadora desta pesquisa: a Profa. Dra. Márcia Regina Pereira Santana, pelas brilhantes considerações que guiaram a confecção final deste trabalho; também o Prof. Dr. Raphael Fracalossi, que gentilmente cedeu parte de seu tempo e, de forma crítica e profissional, destacou pontos a serem lapidados e aprofundados.

“O que um peixe sabe sobre a água
da qual nada a vida inteira?”

(Albert Einstein)

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver e analisar alternativas de abordagem da Teoria da Relatividade Restrita como conteúdo trabalhado no 1º ano do Ensino Médio, por meio de intervenções e práticas construtivas, focando a visualização virtual de alguns efeitos relativísticos. Foi motivada pela escassez de instrumentos didáticos que possibilitem aos sujeitos adquirirem o domínio e a sistematização dos conhecimentos sobre a Teoria da Relatividade Restrita, em especial os efeitos da Aberração da Luz (*Searchlight*), a Contração Espacial de Lorentz, o Doppler relativístico e a Rotação Penrose-Terrell. Metodologicamente, pautou-se na aplicação de uma sequência didática, no decorrer de oito aulas, utilizando instrumentos multimodais (slides, animações, ilustrações, fotos, imagens e textos), que serviram como norteadores para a promoção de diálogos e consequente compreensão dos aspectos teóricos e visuais da Teoria da Relatividade Restrita. Os trabalhos foram voltados à compreensão qualitativa dos efeitos relativísticos, dando ênfase à exibição de imagens e vídeos por meio de óculos de Realidade Virtual, que se configuraram como recurso didático à compreensão dos efeitos. Também foram utilizados simuladores de experimentos virtuais, animações e GIFs, para ilustrarem situações ligadas ao cotidiano. Concluiu, a partir da observação e da análise dos registros dos encontros, que os instrumentos utilizados, especialmente os óculos de Realidade Virtual, colaboraram como motivadores para a transmissão dos conceitos inerentes à Teoria da Relatividade Restrita, contribuindo para a redução da distração e promovendo maior interação entre os estudantes, estimulando-os a se tornarem protagonistas. Evidenciou, ainda, que a mediação docente, por meio da introdução de indagações iniciais nos momentos de discussão, foi determinante para que os alunos não permanecessem meros expectadores.

Palavras-chave: Relatividade restrita. Realidade virtual. Física – Metodologias de ensino.

ABSTRACT

This research had as objective to develop and analyze alternatives of approach of the Theory of Restricted Relativity as a content worked in the 1st year of High School, through interventions and constructive practices, focusing on the virtual visualization of some relativistic effects. It was motivated by the lack of didactic tools that enable subjects to acquire mastery and systematization of knowledge about the Theory of Restricted Relativity, especially the effects of Aberration of Light (Searchlight), Lorentz Spatial Contraction, Relativistic Doppler and Penrose-Terrell Rotation. Methodologically, it consisted in the application of a didactic sequence, during eight classes, using multimodal instruments (slides, animations, illustrations, photos, images and texts), that served as guides for the promotion of dialogues and consequent understanding of the theoretical aspects and visuals of the Theory of Restricted Relativity. The work was focused on the qualitative understanding of relativistic effects, emphasizing the display of images and videos through glasses of Virtual Reality, which were configured as a didactic resource to understand the effects. Simulators of virtual experiments, animations and GIFs were also used to illustrate situations related to daily life. It concluded, from the observation and analysis of the records of the classes, that the instruments used, especially the glasses of Virtual Reality, collaborated as motivators for the transmission of the concepts inherent in the Theory of Restricted Relativity, contributing to the reduction of distraction and promoting greater interaction among students, stimulating them to become protagonists. It also pointed out that teacher mediation, through the introduction of initial inquiries at the moments of discussion, was decisive so that the students did not remain mere spectators.

Keywords: Restricted relativity. Virtual reality. Physics – Teaching methodologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	19
Figura 2 – Captura de tela de vídeo sobre experimento do prisma de Newton.....	49
Figura 3 – Animação de uma analogia entre as bolinhas e os fótons	49
Figura 4 – Captura de tela de vídeo do Dr. Quantum que trabalha o experimento de fenda dupla.....	50
Figura 5 – Captura de tela de simulador de experimento de fenda dupla	51
Figura 6 – Animação do movimento de uma bolinha em movimento contínuo	52
Figura 7 – Animação de colisão entre carro e muro	53
Figura 8 – Animação da terceira lei de Newton.....	53
Figura 9 – Captura de tela de vídeo de um passeio a 72% da velocidade da luz	55
Figura 10 – Captura de tela de vídeo de um passeio a 97% da velocidade da luz ...	56
Figura 12 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico.....	57
Figura 13 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico.....	58
Figura 14 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico e o da aberração da luz.....	58
Figura 15 – Captura de tela de vídeo que exhibe a Rotação de Terrell	58
Figura 16 – Ilustração do Efeito Doppler Relativístico	59
Figura 17 – Ilustração do Efeito Doppler Relativístico	59
Figura 18 – Fotos de alunos utilizando óculos de RV	60
Figura 19 – Captura de tela do aplicativo Medido de Luz O2 LED.....	62
Figura 20 – Captura de tela do aplicativo Cálculo de Iluminação v4.0.0	63
Figura 20 – Captura de tela do aplicativo Medido de Luz para conversão de “lux” para “watts”	65
Figura 21 – Foto de aplicação do questionário prévio ao início da SD.....	66
Figura 22 – Cascão andando de skate e Cebolinha o observando	79
Figura 23 – Ilustração do movimento de alguém na chuva, correndo e andando	80
Figura 24 – Situação de observação de uma estrela	81
Figura 25 – Aberração da luz	82
Figura 26 – Movimento de um cubo em alta velocidade	86
Figura 27 – Representação do experimento do telefone feito dos copos ligados por um barbante	87
Figura 28 – Tirinhas do Flash em ação	88

Figura 29 – Captura de tela de vídeo que retrata o Efeito Doppler Relativístico	90
Figura 30 – Captura de tela de vídeo que retrata o Efeito Doppler Relativístico	90
Figura 31 – Captura de tela vídeo que retrata o Efeito da Rotação Terrell	91
Figura 32 – Tirinha sobre a luz – partícula ou onda?	94

LISTA DE SIGLAS

CC	Conceitos científicos
CE	Conceitos espontâneos
EM	Ensino Médio
FM	Física Moderna
LD	Livro didático
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
RV	Realidade Virtual
SD	Sequência Didática
SE	Situação de estudo
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TRR	Teoria da Relatividade Restrita
ZDP	Zona de desenvolvimento proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	15
1.2	SUJEITOS DA PESQUISA.....	16
1.3	LOCAL DA INTERVENÇÃO	16
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.4.1	Objetivo geral	17
1.4.2	Objetivos específicos	17
1.5	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	18
1.6	ETAPAS DA PESQUISA	19
1.7	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	COMO A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA É ABORDADA POR ALGUNS AUTORES DE LIVROS DIDÁTICOS VOLTADOS AO EM	21
2.1.1	Quadro comparativo dos livros didáticos analisados	27
2.2	COMO É TRATADA A TRR EM REVISTAS CIENTÍFICAS E ALGUNS ARTIGOS PUBLICADOS EM ÂMBITO ACADÊMICO-CIENTÍFICO	28
2.2.1	Abordagem da Revista Scientific American Brasil sobre a TRR	28
2.2.2	A importância das ilustrações e da Realidade Virtual no ensino da Teoria da Relatividade Restrita	32
2.2.2	A evolução dos pensamentos sobre a TRR	34
2.3	A DEFINIÇÃO DE AMBIENTE E REALIDADE VIRTUAIS	37
2.4	A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DA REALIDADE VIRTUAL NO CONTEXTO ESCOLAR.....	37
3	REFERENCIAL TEÓRICO	39
3.1	A TEORIA VIGOTSKIANA.....	39
3.1.1	O papel da mediação	40
3.1.2	A distinção entre os conceitos espontâneos e científicos ou sistematizados	41
3.1.3	A importância dos instrumentos e dos signos	41
3.1.4	Zona de desenvolvimento proximal	42
3.1.5	O parceiro mais capaz	42
3.1.6	Processo de internalização dos conteúdos	43

3.2	A IMPORTÂNCIA DO LÚDICO NO PROCESSO DE ENSINO- APRENDIZAGEM.....	43
3.3	SOFTWARE EDUCATIVO PARA O ENSINO	44
3.4	NOTAS SOBRE A APRENDIZAGEM ATRAVÉS DA REALIDADE VIRTUAL	44
3.5	AS ETAPAS DA SITUAÇÃO DE ESTUDO.....	45
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	46
4.1	ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	46
4.1.1	Aplicação da sequência didática	46
4.1.2	Definição de Sequência Didática e a sua relevância no processo	47
4.1.3	Aula 1 da SD	47
4.1.4	Aula 2 da SD	50
4.1.5	Aula 3 da SD	52
4.1.6	Aula 4 da SD	53
4.1.7	Aula 5 da SD	54
4.1.8	Aula 6 da SD	54
4.1.9	Aula 7 da SD	56
4.1.10	Aula 8 da SD	61
4.1.10.1	Observâncias almejadas e internalizadas durante a prática.....	63
4.1.10.2	Roteiro da atividade experimental	64
4.2	OS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS UTILIZADOS.....	66
4.2.1	Questionário diagnóstico inicial	66
4.2.2	Simuladores como ferramentas de ensino	67
4.2.3	O uso de GIFs na prática pedagógica como alternativa lúdica	67
4.2.4	Processo de análise da SD	68
4.2.5	A gravação das aulas	68
4.2.6	A utilização da RV em sala de aula	69
4.2.7	A aplicação de situações-problema no processo	69
4.2.8	A valorização do parceiro mais capaz na sala de aula	70
4.2.9	A aplicação do lúdico no processo de aprendizagem	71
5	ANÁLISE DE DADOS	73
5.1	ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO INICIAL	74
5.2	ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS NAS AULAS 1 A 3.....	75
5.3	ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS REFERENTES ÀS AULAS 4 E 5	79

5.4	ANÁLISE DAS PERGUNTAS DE OPINIÕES E DO QUESTIONÁRIO FINAL	83
5.5	ANÁLISE DOS ÁUDIOS GRAVADOS.....	92
5.5.1	Registro de alguns diálogos gravados em áudio durante a aula 7	92
5.6	ANÁLISE DOS INSTRUMENTOS LÚDICOS E ANIMAÇÕES	93
5.7	ANÁLISE DOS SIMULADORES DE EXPERIMENTOS VIRTUAIS.....	95
5.8	ANÁLISE DOS ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL E AS IMPLICAÇÕES DO SEU USO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA	96
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS.....	102
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL ANTES DA AULA 1 E DA LEITURA DO TEXTO 1.....	109
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO APÓS A AULA 1	110
	APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO INDIVIDUAL APÓS A AULA 2.....	111
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO APLICADO APÓS A AULA 3.....	112
	APÊNDICE E – MOMENTO DE REFLEXÃO – APLICADO NO FINAL DA AULA 4.....	113
	APÊNDICE F – MOMENTO DE REFLEXÃO – AULA 5.....	114
	APÊNDICE G – MOMENTO DE REFLEXÃO – AULA 5	115
	APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE OPINIÕES SOBRE OS TRABALHOS	116
	APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO LIGADO AOS TEMAS ABORDADOS DURANTE TODO O PROCESSO.....	117
	ANEXO A – TEXTOS AUXILIARES	121
	ANEXO B – SLIDES DAS AULAS	154
	ANEXO C – ROTEIROS.....	171
	ANEXO D – FOTOS.....	176
	ANEXO E – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	182

1 INTRODUÇÃO

Como seria se viajássemos em altas velocidades? O que é a luz? Como ensinar algo que foge do cotidiano? Essas indagações surgem a partir dos avanços da Física Moderna, mais especificadamente da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), que nos remete a temas que exigem cautela na transmissão e assimilação de conhecimentos que fogem do habitual, já que para a construção destes necessitamos de um embasamento teórico e prático, além de instrumentos didáticos que possam promover uma contextualização prática, em favor da compreensão.

Muitos livros didáticos atuais acabam não contemplando a TRR de modo satisfatório, por não abordarem os efeitos relativísticos, de modo geral, pois esses envolvem situações específicas que não poderiam ser recriadas em laboratórios tradicionais, pois demandariam velocidades próximas à da “luz”, algo não pertencente ao senso comum e tampouco passível de difusão plena no ambiente escolar.

Um dos conceitos mais intrigantes ligados à TRR é o de “luz”, que teve diversas interpretações ao longo do tempo, a exemplo da ideia de como enxergamos as coisas, já que muitos pensadores tentaram explicar, [...] que a visão ocorria através de “raios visuais” que saíam dos olhos das pessoas e iam até os objetos (MARTINS; SILVA, 2015, p. 1).

A definição do que é a luz e do seu comportamento, foram motivos de muitas discórdias e questionamentos. Um dos cientistas que direcionou várias linhas de raciocínios sobre as temáticas foi Isaac Newton, que nasceu em 1642, e teve sua vida repleta de conflitos acadêmicos e de saúde, mas viveu até os 84 anos (BRENNAN, p.19-20, 1998). Ele buscou embasamentos teóricos para a sua teoria corpuscular na leitura de Charleton e Boyle (MARTINS; SILVA, 2015, p. 2); contudo, segundo Silva e Moura (apud SILVA, 2008, p. 97) “Newton não defendeu abertamente a corporeidade da luz”.

Foi por meio de Thomas Young (1773-1829) que a Teoria Corpuscular perdeu o foco, “seu princípio de interferência ilustrado pelo famoso experimento da fenda dupla teria despertado o interesse pela teoria ondulatória” (MOURA; BOSS, 2015, p. 2).

Atualmente, a teoria mais aceita é a Dualidade onda-partícula de Louis De Broglie que, em síntese, diz de um comportamento corpuscular para determinadas situações experimentais, e ondulatório para outras.

Por ser a TRR inerente a situações que fogem à compreensão do que é real para o ser humano, que não possui conhecimento prévio sobre o assunto, seu estudo e entendimento científico apresenta-se como um desafio. De acordo com Brockington (2005, p. 30-31):

[...] fica-se imerso em um mundo desconhecido, sem a ajuda de experiências prévias, sendo extremamente difícil relacionar o novo àquilo que já se conhece. Desta forma, compreender o mundo passa não só a deslumbrar quanto a assombrar o intelecto, e isso obriga o estabelecimento de uma nova relação com o conhecimento da realidade. Ao se desejar compreender o mundo físico é imprescindível que se estabeleça um outro tipo de relação com ele.

Considerando essa especificidade, o estudo dos efeitos relativísticos, no contexto do ensino médio, torna-se algo impossível sem o auxílio de instrumentos que moldem o senso comum e forneçam aos sujeitos uma fonte de concepções e desafios que estimulem sua compreensão e sistematização.

Existem efeitos que muitos pensam ser relativísticos, mas, na verdade, não o são. A exemplo da Aberração da luz que, assim explicada por Martins (2008, p.10):

Suponhamos que uma fonte luminosa esteja se movendo. Entre o instante em que a luz sai do objeto e o momento em que chega ao observador, a fonte se deslocou para uma nova posição. Assim, se uma fonte luminosa se move, ela é vista onde estava e não onde está no momento em que é vista. Essa diferença entre a posição real e a posição aparente da fonte luminosa é chamada de aberração.

O efeito da Contração Espacial de Lorentz é um dos mais intuitivos, porém pouco evidenciado, e é uma das consequências da teoria de Einstein, que afirma que “[...] a contração não é absoluta, mas relativa, ou seja, depende do referencial utilizado nas medições [...]” (OSTERMANN; RICCI, 2002, p.183-184). Já o efeito Doppler relativístico trata da diferença entre a frequência observada e a real, tendo como consequência o “[...] desvio da luz para a faixa do vermelho ou do azul, dependendo do movimento [...]” (RIBOLDI, 2015, p. 6). O efeito Terrell é a ocorrência de uma distorção dos

corpos em volta, devido à rotação do olhar na direção do movimento, que “[...] explica a aparência visual de objetos em movimento relativístico [...]” (RIBOLDI, 2015, p. 7).

Por fim, tem-se o efeito Penrose demonstrado em 1959, que consiste em uma esfera que apresenta sempre o seu perfil circular, independentemente da sua velocidade em relação a um observador. Cavalcanti e Ostermann (2007, p. 366) afirmam que “o perfil da esfera continua sendo circular, ocultando, às vezes totalmente, a contração do comprimento.

Frente à complexidade inerente à TRR, faz-se necessário buscar instrumentos que possam sistematizar a compreensão dela, com o fito de criar ambiente propício ao ensino e aprendizado dos conhecimentos relativísticos, favorecendo a internalização teórica a partir da geração de pensamento crítico e analítico, de forma clara e dinâmica.

Assim, esta dissertação de mestrado propõe-se a investigar a viabilidade da inserção da Realidade Virtual (RV) como um dos instrumentos de mediação e análise dos efeitos relativísticos para educandos do 1º ano do Ensino Médio por meio da aplicação de uma sequência didática (SD). Foram também considerados de outros recursos que, juntos ou não, favoreceram entendimento qualitativo deste conteúdo.

Espera-se, com as propostas aqui elencadas, contribuir para o direcionamento de trabalhos futuros e para o aprimoramento de instrumentos didáticos ligados à RV, como também os demais recursos.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Como abordar qualitativamente conceitos científicos sobre a Teoria da Relatividade Restrita para alunos do 1º ano do ensino médio, que foge do senso comum e que se depara com a escassez de instrumentos que auxiliem em sua compreensão.

1.2 SUJEITOS DA PESQUISA

Os sujeitos dessa pesquisa foram 28 alunos de uma turma da 1ª série do Ensino Médio (EM) regular, com idades entre 14 e 16 anos, de uma instituição de ensino público, na qual o autor desta pesquisa leciona, desde 2014, na cidade de São Mateus-ES. O município possui uma população estimada em 2018 de 128542 pessoas, apresentando taxa de escolarização de 6 a 14 anos, em 2010, de 97,3%. Deste quantitativo, as matrículas no EM equivalem a 3906 alunos, em 13 escolas, entre públicas e privadas (IBGE, 2017).

De acordo com o Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica (Inse), a escola em questão está no grupo 3, com a Média do Indicador de Nível Socioeconômico dos alunos da escola de 47,26.

Tabela 1 – Descrição dos grupos de escolas

Grupos de escolas	Inse dos Alunos								Total
	Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV	Nível V	Nível VI	Nível VII	Nível VIII	
Grupo 1	1,35%	69,96%	21,41%	5,94%	1,17%	0,16%	0,01%	0,00%	100%
Grupo 2	0,26%	42,47%	35,74%	16,20%	4,56%	0,71%	0,05%	0,01%	100%
Grupo 3	0,07%	16,22%	34,67%	31,87%	14,14%	2,82%	0,19%	0,02%	100%
Grupo 4	0,03%	4,27%	20,60%	38,88%	28,14%	7,51%	0,54%	0,04%	100%
Grupo 5	0,02%	1,01%	8,20%	29,66%	42,04%	17,75%	1,24%	0,08%	100%
Grupo 6	0,02%	0,15%	1,14%	8,27%	34,58%	48,07%	7,35%	0,41%	100%

Fonte: INEP (2015).

1.3 LOCAL DA INTERVENÇÃO

As aulas aconteceram nas dependências da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Santo Antônio. A instituição foi fundada em 1954 e, atualmente, possui 890 alunos da Educação Fundamental II até o Ensino Médio (EM), sendo 580 alunos matriculados nas turmas de EM, com oito turmas de 1ª série entre os turnos matutino e vespertino, seis turmas de 2ª série e quatro turmas de 3ª série.

A escola EEEFM Santo Antônio possui 14 salas e apenas 12 estavam em funcionamento, no ano de 2018, tendo em média 35 alunos por sala. No município, a média de alunos por turma é de 35,9 alunos, de acordo o Indicador de Nível Socioeconômico (Inse) das escolas (INPE, 2015).

O estabelecimento conta com laboratórios de Ciências, porém, com poucos recursos ligados à disciplina de Física, sem nenhum material digital, sendo permitido ao aluno a utilização de *smartphones* para fins educacionais em sala de aula, sob orientação do professor em sala.

Favoreceu a aplicação da SD para fins desta pesquisa, o fato de o pesquisador lecionar a disciplina Física nas 1ª e 2ª séries do EM, tendo duas aulas semanais nas turmas de 1ª série. Os instrumentos necessários para a realização das atividades foram levados para a sala de aula pelo professor pesquisador, que pode aplicar a SD de forma satisfatória. A viabilidade da proposta também decorreu do fato de que a maioria dos alunos possuía smartphones (apesar da situação de baixa renda de muitos), um dos principais instrumentos utilizados.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.4.1 Objetivo geral

Promover com o auxílio da Realidade Virtual, e de outros instrumentos educacionais práticos e teóricos, o ensino da Teoria da Relatividade Restrita, por meio de metodologias clássicas e modernas, buscando a interação entre os envolvidos no processo e, conseqüentemente, a internalização dos conhecimentos almejados nessa pesquisa.

1.4.2 Objetivos específicos

- Inserir qualitativamente a Teoria da Relatividade Restrita no contexto dos alunos do 1º ano do Ensino Médio;

- Transformar as aulas de Física moderna em uma experiência prazerosa e incentivadora para futuros estudos;
- Elaborar alternativas de interação entre aluno-professor com o uso de métodos tradicionais e tecnológicos;
- Desenvolver uma sequência didática norteadora que se torne referência nas aulas da TRR.

1.5 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A Física Moderna, de modo geral, não está sendo trabalhada em sua plenitude, de modo que temas como a TRR, quando abordados, são tratados de forma bastante superficial e isolada, não transmitindo aos discentes os devidos conhecimentos. Segundo Oliveira, Vianna e Gerbassi (2007, p.449), “[...] faz-se necessário buscar propostas que fujam da mera informalidade do assunto, a fim de que não sejam inseridos como pontos isolados em um currículo que já é bastante extenso”.

No contexto atual, o profissional de ensino deve tentar criar meios alternativos e tecnológicos para abordar temas que exigem um olhar cauteloso nas interpretações para não comprometer a sistematização dos conhecimentos. Pois, [...] transmitir conhecimento e fazer com que o aluno aprenda é dar meios para ele internalizar o conteúdo, a prática de decorar conteúdos não é aconselhável na Física e nem nas outras disciplinas. (FERNANDES, 2016, p. 25).

A Física, de modo geral, é trabalhada de forma mecânica, consistindo na mera manipulação de fórmulas e suas respectivas aplicações para resolver questões por meio das simples substituições. De tal maneira, não proporciona uma aprendizagem significativa e tampouco foca-se no objetivo principal que é o real aprendizado do conteúdo, com aplicações e práticas.

[...] as aulas de Física (essencialmente expositivas, rotineiras e despersonalizadas) não passam de um monólogo (onde a participação do aluno quase não existe), com um ‘script’ que apela para a memorização de fórmulas, resolução de exercícios repetitivos que não acrescentam novos significados para os conteúdos dos assuntos em estudo (LOPES, 2009, p. 45).

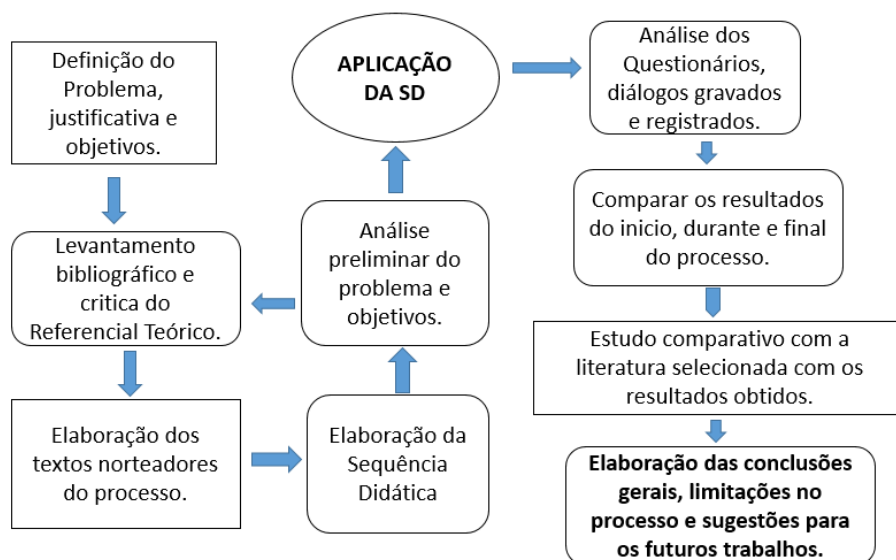
Hoje, o professor tem ao seu alcance instrumentos que auxiliam na compreensão de conteúdos que necessitam de uma imersão e interação com a realidade, a exemplo dos óculos de Realidade Virtual, que são um dos mais avançados recursos didáticos educacionais disponíveis no mercado, a baixo custo, pois utiliza os *smartphones*, que já são encontrados na posse da maioria dos discentes. Com isso, acabam se tornando grandes aliados para a realização de trabalhos diversos, pela gama de acessórios e aplicativos disponíveis de forma gratuita. Um verdadeiro laboratório móvel à disposição dos professores, onde assuntos mais complexos, principalmente aqueles que exigem questões visuais para compreensão plena, como a TRR.

Assim, há relevância na criação de práticas mais direcionadas, que tenham um caráter inovador e facilitador, diminuindo a escassez de recursos didáticos que facilitam e motivam o alunado, situando o professor como mediador no processo de ensino-aprendizagem.

1.6 ETAPAS DA PESQUISA

As etapas da pesquisa foram delimitadas e ordenadas de modo a alcançar os objetivos por ela delineados, conforme ilustrado pela Figura 1.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



Fonte: elaborada pelo autor.

1.7 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Na introdução situa-se o leitor sobre o contexto da pesquisa em questão e as finalidades desta dissertação de mestrado.

O capítulo 2 apresenta a revisão de literatura, que consistiu nas análises de artigos, dissertações, teses e livros relacionados ao estudo da luz, com ênfase nos Efeitos Relativísticos, além da utilização de experimentos virtuais e recursos teóricos e práticos, dando destaque ao uso da RV para inserção da TRR.

No capítulo 3, expõe-se o referencial teórico norteador dessa intervenção, sendo mostrados os princípios das implicações pedagógicas da teoria de Vygotsky (1991, 1998, 2001).

Em seguida, no capítulo 4, discorre-se sobre os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, descrevendo a investigação e os instrumentos de coleta de dados utilizados e, logo a seguir, no capítulo 5, apresentam-se os dados coletados e as análises de seus resultados.

No capítulo 6, são feitas as considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, descreve-se como a TRR é abordada em algumas das obras selecionadas e aprovadas pela Portaria nº 62, de 1º de agosto de 2017, para o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). Das 12 obras aprovadas, foram selecionadas três, de modo aleatório. Com o intuito de estabelecer um comparativo, também foram analisadas duas coleções destinadas ao público de EM da rede privada e outra de âmbito acadêmico. Além disso, analisou-se, qualitativamente, algumas publicações de âmbito acadêmico-científico que abordaram a TRR, dando ênfase à utilização de experimentos, ilustrações e, em especial, recursos da RV, criando assim um ambiente de aprendizado por meio da interação entre os alunos, mediadas pelo professor.

2.1 COMO A TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA É ABORDADA POR ALGUNS AUTORES DE LIVROS DIDÁTICOS VOLTADOS AO EM

A partir da revisão de literatura, buscou-se investigar qualitativamente como as publicações analisadas abordam a TRR. Verificou-se que todos os livros didáticos (LD) analisados dedicaram um capítulo à TRR, em seus volumes destinados à última série do EM. Máximo e Alvarenga (2016), Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2016) e Gaspar (2016) iniciam os capítulos destinados a TRR com a apresentação de uma situação-problema ou instigação de uma curiosidade, estabelecendo uma vinculação com o cotidiano do aluno, com a utilização de textos de caráter histórico e bibliográfico, apresentados de forma lúdica, suscitando a leitura com o uso de ilustrações. Em todas as obras o tema segue de forma bastante sucinta e exposta aos leitores de forma quantitativa, ocorrendo deduções de equações, explorando matematicamente os efeitos da contração dos comprimentos e da dilatação do tempo.

Ramalho, Ferraro e Soares (2016) e Gaspar (2016) procuraram instigar a curiosidade dos leitores com o uso de ilustrações lúdicas, sendo comum a utilização de algumas delas em ambas as obras. Por exemplo, a imagem da escultura do “Relógio Mole” e

da obra “A persistência da Memória”, de 1931, ambas de Salvador Dali. É imprescindível a aproximação da Física com a Arte, com as devidas competências preservadas. De acordo com Andrade, Nascimento e Germano (2007, p. 407):

[...] a busca por uma aproximação entre a Física e a Arte num contexto escolar de educação básica, deve envolver os responsáveis por estas disciplinas, a partir de uma atitude interdisciplinar. Dessa forma, a experiência educacional será mais rica e frutífera, principalmente se for preservada a separação de conteúdos entre as duas culturas, ou seja, não apenas identificando a imaginação artística com a racionalidade científica, mas enfatizando sua complementaridade produtiva.

A utilização de ilustrações ajuda a fomentar a curiosidade dos alunos no aprendizado da relatividade, norteando diálogos que geram concepções espontâneas e que promovem a busca por concepções científicas, conduzindo o leitor ao mundo que foge do senso comum. Observa-se que a aproximação da Arte com a Física maximiza e facilita a interação por conta das várias concepções produzidas subjetivamente pelos leitores. As imagens acabam se tornando um elo importante nessa interação mediada; entretanto, como sugere Santos (2012, p. 233) “[...] uma imagem nunca pode representar tudo, ela depende da imaginação do espectador ou leitor”. Em decorrência disso, verifica-se que a utilização de imagens nos LDs cumpre, de forma abstrata, seu propósito, porém carece da mediação do professor no processo, por conta da abstração subjetiva inerente à sua cognição.

Ramalho, Ferraro, Soares (2016), Gaspar (2016) e Fuke e Yamamoto (2016) indagaram os postulados, introduzindo o tema a partir de elementos históricos, relatando um pouco da história de Albert Einstein. Dessa forma, os autores partem de ideias primordiais de cada cientista, salientando os pensamentos de forma linear, conduzindo os alunos a refletirem espontaneamente, antes da sistematização dos conhecimentos. Os autores promovem discussões por meio da aplicação de exercícios discursivos que estimulam os diálogos e a investigação por respostas, que seguem ao longo da leitura de todo o capítulo.

Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2016) surpreendem na busca de analogias e exemplos que interajam com o cotidiano do aluno, apresentando o funcionamento das usinas nucleares que só se tornaram possíveis após o surgimento da relatividade es-

pecial de Einstein. A obra busca o aprofundamento dos conceitos e teorias enriquecendo a leitura a partir de estímulos que frutificam a imaginação dos alunos com o uso de situações curiosas, sem fugir do rigor científico esperado pelos LDs.

Os autores Ramalho, Ferraro, Soares (2016) salientam dois impasses: a relação de Einstein e a Relatividade, dando ênfase ao fato de a velocidade da luz no vácuo ser constante e, outro ainda mais fundamental, que retrata que o eletromagnetismo unificou a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Enunciam ainda que as Leis da Mecânica Newtoniana não eram sempre válidas para o eletromagnetismo, fato esse que descredibilizava a Física Clássica de Isaac Newton.

Fuke e Yamamoto (2016) apresentam os conceitos de referenciais e simultaneidade de forma bastante didático e sucinto. Para isso, utilizam uma analogia do cotidiano, por meio do exemplo de lâmpadas que são acesas simultaneamente e com diferentes observadores analisando o evento. Com isso, a imaginação dos alunos é estimulada a partir de indagações e hipóteses mediadas pelo professor ou até mesmo colegas mais capazes que podem contribuir no processo de construção do conhecimento. A respeito da distinção entre os conceitos do cotidiano e os científicos, Cavalcanti (2005, p. 197) afirma o seguinte:

No nível de abstração e de generalização, o processo de formação de conceitos cotidianos é “ascendente”, surgindo impregnado de experiência, mas de uma forma ainda não-consciente e “ascendendo” para um conceito conscientemente definido; os conceitos científicos surgem de modo contrário, seu movimento é “descendente”, começando com uma definição verbal com aplicações não espontâneas e posteriormente podendo adquirir um nível de concretude impregnando-se na experiência.

A busca por situações vivenciadas pelos alunos no seu dia a dia, é um dos instrumentos mais eficazes no processo de aprendizagem com o objetivo de internalização dos conceitos científicos.

Nota-se que Fuke e Yamamoto (2016) tentam contextualizar a TRR por caminhos qualitativos, trabalhando os efeitos relativísticos de forma subjetiva, criando para isso situações em que o aluno exponham suas interpretações por meio de exemplos e exercícios discursivos. Porém, apresentam poucas ilustrações e o quantitativo de exemplos é reduzido (limita-se em apenas um exemplo resolvido), complementando as práticas teóricas com a resolução de “Testes de Vestibulares” ao final do capítulo.

Como de praxe, todas as obras voltadas ao EM expuseram qualitativamente a experiência de Michelson-Morley, por meio da contextualização histórica destes cientistas, dando ênfase à ilustração do aparelho nomeado como “Interferômetro” para demonstrar a inexistência do éter.

Nussenzveig (2002) apresenta um capítulo voltado à TRR, no qual detalha pontos extremamente relevantes aos estudos dos efeitos relativísticos. Dentre os quais temos os Efeitos cinemáticos da TL, que revelam a importância quantitativa e qualitativa dos trabalhos desenvolvidos por Lorentz, em especial as Transformações de Lorentz. O autor adjetiva a TL como efeito “Cinemático” para enfatizar que as causas dos movimentos não são consideradas descrevendo a observação matematicamente. De acordo com Buse (2014, p.25) a cinemática é uma:

[...] divisão da mecânica responsável pelo estudo do movimento dos objetos sem se ater as causas deste movimento. A cinemática se ocupa da descrição destes movimentos, culminando geralmente em uma descrição matemática para modelos de movimento observados.

Um dos conceitos mais imprescindíveis para o estudo da TL é o do “Valor Próprio” definido como sendo segundo Martins (2008, p. 36) “[...] é o valor das grandezas de um sistema físico medidas em seu próprio referencial (ou em um referencial em repouso em relação ao sistema)”.

Seguindo a mesma linha de todos os autores analisados (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194), apresenta um dos exemplos teóricos mais utilizados nos LDs, acredita-se que por conta de sua simplicidade. Trata-se da ilustração de uma barra visualizada por um observador inercial que tem o seu comprimento reduzido comparado ao comprimento próprio, que é o comprimento da barra em repouso. Tal efeito, segundo o autor, foi sugerido muito antes da TRR, por Lorentz e Fitzgerald. Entende-se também, de acordo com Nussenzveig (2002, p. 193), que a contração é um efeito recíproco ocorrendo em ambos referencias “[...] uma barra em repouso em [S] também aparece contraída quando seu comprimento é medido em [S’]”. Informa-se ainda que a contração pode ser verificada sem cronometrar, fato esse já analisado por Einstein.

Descreve-se também a diferença entre os comprimentos longitudinais e transversais, baseada no conceito de simultaneidade dos referenciais. De acordo Nussenzweig (2002, p. 194):

[...] os comprimentos transversais não se alteram, pois podem ser determinados simultaneamente em ambos os referenciais. No caso do Longitudinal o que é simultâneo em [S] não é simultâneo em [S'], o que é a razão da diferença.

Pontua-se ainda uma curiosidade relacionada à aparência visual de corpos submetidos a altas velocidades, expondo uma ilustração de um carro contraído na direção do movimento e levanta um questionamento se realmente seria essa a aparência. A resposta a essa pergunta é que essa não seria a imagem visualizada. Tal afirmação sustenta Terrell (1959 apud NUSSENZVEIG, 2002, p. 194) que explica que:

A razão é que a imagem de um objeto, quer na retina, quer numa chapa fotográfica, é formado por raios de luz que chegam essencialmente ao mesmo tempo para formar a imagem, mas, por isto mesmo, partiram do objeto em os instantes diferentes, conforme o ponto de onde provêm. Devido ao movimento do objeto, não temos então uma representação "instantânea" dele, mas sim uma imagem distorcida, representando a posição de diferentes pontos em diferentes instantes [em relação a S] (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Aborda também o caso de objetos visualizados por ângulos visuais pequenos, não tendo suas imagens alteradas, permanecendo as mesmas quando vistas em repouso.

Surpreendentemente, para objetos que subtendem um ângulo visual pequeno, a contração de Lorentz-Fitzgerald corrige uma distorção que aparecia se ela não existisse, e fornece uma visão do objeto com sua aparência "normal" [a mesma que tem em repouso), tendo apenas o efeito equivalente a uma rotação (NUSSENZVEIG, 2002, p. 194).

Como exemplo de aplicação da teoria, o autor considera um cubo, visualizado por um ângulo visual pequeno, ou seja, o observador estaria a uma distância grande deste cubo e se movimentando em alta velocidade. De acordo com a Física Clássica, tal cubo seria visto ainda com as mesmas dimensões; entretanto, de acordo com a Física relativística, o seu formato seria o de um paralelepípedo alongado. Na mesma perspectiva, no caso de uma esfera, não seria vista como um esferoide, mas em decorrência do efeito da contração de Lorentz, ela permaneceria com o visual de esfera.

Verifica-se que todas as obras empregaram quantitativamente as equações, por meio do emprego de exercícios e exemplos resolvidos. Porém, nenhum destes instrumentos de aplicação deixou evidente que a Contração Espacial de Lorentz é um efeito exclusivamente visual, já que ao passo que os leitores manipulam algebricamente as variáveis, e, conseqüentemente, encontram valores quantitativos, passam a ter o entendimento de variação física da dimensão do corpo na direção do movimento. A exibição de ilustrações reforça ainda mais essa concepção espontânea.

Observou-se também a supressão dos efeitos da Rotação de Terrell e o movimento de corpos esféricos explicados pelas ideias de Penrose, falta grave por se tratar de efeitos que são mais evidenciados no âmbito da RV.

Nas diversas abordagens analisadas, com exceção da obra destinada ao ensino superior, percebemos a falta dos efeitos Penrose, Rotação de Terrell e o Efeito Doppler Relativístico que poderiam ser tratados no EM, visto que no contexto conduzido pela leitura, os alunos poderiam aventar hipóteses relacionadas ao movimento não ser retilíneo, o qual teria sua explicação na introdução do Efeito Terrell, de acordo com o exposto por Ostermann e Ricci (2002, p.184):

[...] Terrell (1959) e Weisskopf (1960) trataram dessa questão para o caso particular de objetos relativísticos que subtendem ângulos pequenos em relação ao observador [...] o objeto relativístico é visto ou fotografado não como contraído na direção do movimento, mas como girado em torno de um eixo que é perpendicular à direção do movimento. [...].

Acredita-se que, por conta da quantidade de assuntos a serem abordados, ligados à Física Clássica, acabam sendo reduzidos os quantitativos de exercícios e demais práticas que evidenciarão a TRR de forma mais adequada.

Verifica-se nas obras analisadas a escassez de instrumentos didáticos, tais como imagens, figuras e recursos de RV que exibiriam os efeitos relativísticos de forma mais adequada e satisfatória.

Ramalho Júnior, Ferraro e Soares (2016) demonstram uma maior preocupação nos detalhes históricos-científicos, com maior riqueza de informações e ilustrações, além disso, são encontrados recursos experimentais e práticos para realização em ambi-

ente virtual, com a utilização de aplicativos simples, porém eficazes nas demonstrações visuais do efeito da contração dos comprimentos. Contudo, a obra deixa de lado efeitos como a Rotação de Terrell, o efeito Penrose e o efeito Doppler Relativístico.

É importante destacar que a introdução dos efeitos mencionados é imprescindível à aprendizagem futura deles e demais temas relacionados, pois desenvolver a concepção espontânea é importante, já que segundo Vygotsky (2001, p. 261) “[...] o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos - cabe pressupor - são processos intimamente interligados, que exercem influências um sobre o outro. [...]”.

Os autores precisam encontrar outras formas de abordagens, mais detalhistas e com abordagem qualitativa, para o desenvolvimento dos pensamentos sobre a TRR, que requer um refinamento de conceitos e recursos visuais para a sua compreensão. Segundo Vygotsky (2001), precisamos fornecer meios e instrumentos para que nossos alunos possam avançar no entendimento de teorias e ideias.

É precisamente com o auxílio dos problemas propostos, da necessidade que surge e é estimulada, dos objetivos colocados perante o adolescente que o meio social circundante o motiva e o leva a dar esse passo decisivo no desenvolvimento do seu pensamento Vygotsky (2001, p. 171).

2.1.1 Quadro comparativo dos livros didáticos analisados

Quadro 1 – Comparativo entre os livros analisados na pesquisa.

	Máximo e Alvarenga	Gaspar	Ramalho Júnior, Ferraro e Soares	Fuke e Kazuhito	Nussenzweig
Aborda temas de Física Moderna	Contempla apenas alguns efeitos relativísticos.	Contempla apenas alguns efeitos relativísticos.	Contempla apenas alguns efeitos relativísticos.	Contempla apenas alguns efeitos relativísticos.	Contempla todos os efeitos relativísticos.
Aborda a TRR	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Contextualização histórica dos conteúdos	Sim	Sim	Sim, mas de forma sucinta.	Pouca contextualização histórica.	Sim, dando ênfase a fatos marcantes da obra e vida de pesquisadores.
Efeitos relativísticos visuais abordados	Contração espacial de Lorentz.	Contração espacial de Lorentz.	Contração espacial de Lorentz e efeito	Contração espacial de Lorentz.	Todos

			Doppler relativístico.		
Possui ilustrações que exibem os efeitos da TRR	Sim, mas são poucas.	Sim, mas são poucas.	Sim, mas são poucas.	Sim, mas são poucas.	Sim, mas com poucos detalhes e contemplando poucos efeitos.
Quantitativo de exemplos e exercícios	Pouco, trabalhando os conceitos de forma quantitativa.	Pouco, trabalhando os conceitos de forma quantitativa.	Médio, trabalhando os conceitos de forma quantitativa e qualitativa.	Pouco, trabalhando os conceitos de forma quantitativa.	Grande, verifica uma maior preocupação na aplicação dos conceitos abordados.

Fonte: elaborado pelo autor.

2.2 COMO É TRATADA A TRR EM REVISTAS CIENTÍFICAS E ALGUNS ARTIGOS PUBLICADOS EM ÂMBITO ACADÊMICO-CIENTÍFICO

2.2.1 Abordagem da Revista *Scientific American Brasil* sobre a TRR

Com o intuito de buscar ilustrações e compreender alguns aspectos visuais dos efeitos relativísticos, foi analisada uma edição especial da “Revista *Scientific American Brasil*” (RELATIVIDADE..., 2007), que retrata a TRR tecnicamente, de forma bem peculiar e abrangente. Este periódico é conhecido por trabalhar temas científicos de caráter curioso, criando um ambiente de estímulos diversos e reflexivos ao longo de sua leitura.

Essa edição especial, intitulada “**Relatividade: o que Einstein gostaria de ter visto**”, apresenta trabalhos chamados “Os efeitos estranhos da Relatividade”, de forma dialética, já que as informações são expostas na forma de argumentação capaz de definir os conceitos, conduzindo os leitores a discussões que afloram na medida em que ocorrem os avanços na leitura dos textos trabalhados, de forma direta e sucinta.

Inicialmente, destaca-se na capa um ambiente estranho e bizarro retratado por uma ilustração enigmática, que foge do senso comum para os padrões visuais humanos, por trazer uma visão inimaginável de uma cidade que, normalmente, não poderíamos recriar em laboratório tradicional, e sim em ambiente computacional. Todas as imagens exibidas tiveram esse tratamento, pois somente podemos retratar os efeitos da

TRR em um ambiente virtual, por existirem grandezas físicas inatingíveis na realidade, como a aproximação da velocidade da luz.

A edição aborda de forma direta e bastante ilustrativa os intitulados “Efeitos estranhos obtidos com computadores”, apresentando aspectos e características que ajudam na construção das ideias e conceitos que envolvem o tema, pois “[...] os olhos humanos possuem limitações e estes ocultam muitas esferas do nosso universo. Tudo o que não podemos perceber de forma direta nos parece intuitivamente estranho [...]” (RELATIVIDADE..., 2007, p. 6). Contudo, pode-se fazer uso da tecnologia computacional contemporânea no auxílio da recriação do mundo relativístico idealizado por Einstein, mesmo que os computadores também apresentem limitações. “[...] com eles podemos tornar visíveis, e finalmente compreensíveis, mundos que não são estranhos – através de cálculos de simulações e visualização dos resultados (RELATIVIDADE..., 2007, p. 6).

Na edição especial, encontram-se ilustrados os pensamentos de Georg Gamou a respeito de como podemos visualizar algumas coisas por diferentes referenciais inerciais, o que é ilustrado por meio de uma publicação da década de 1940, que exhibe o visual erroneamente visto por um ciclista, em um passeio. Percebe-se uma preocupação com o lúdico e a busca por concepções prévias que podem surgir durante a leitura, estimulando a sistematização e a contraposição de ideias e pensamentos.

Discorre-se a respeito do fato de que a TRR descreve um outro mundo, o que fugiria do habitual, do cotidiano de qualquer pessoa, destacando que “[...] A Teoria da relatividade especial, por exemplo, descreve um mundo praticamente inacessível à nossa apreensão imediata” (RELATIVIDADE..., 2007, p. 7). O termo “apreensão imediata” evidencia a dificuldade em se recriar tais situações de âmbito relativístico, deixando claro que sem a utilização dos mencionados recursos computacionais, estudos sobre a temática não seriam possíveis.

Destaca-se que a compreensão da TRR é vinculada a uma desvinculação do real, levantando uma indagação de como compreender o que nunca vimos? A resposta é “sim”, já que é possível mediante alternativas visuais. Ressalta-se que a visualização

dos efeitos como os que são exibidos nesta edição é um primeiro passo para a compreensão.

O periódico faz uso de imagens fotorrealistas, recurso que é, sem dúvida, um avanço tecnológico pelo aprendizado da TRR, recurso sendo caracterizado pelo o refinamento das imagens, por conta do grau de complexidade para a criação de cada situação modelada, passo a passo, por *softwares* específicos. Mortara e Bastos (2011, p. 34-35) afirmam que, “para gerar uma imagem foto realista, o primeiro passo é construir a cena com o maior detalhamento possível, ou seja, incluindo a construção do ambiente, mobiliários e objetos que a compõem”.

A publicação reforça o potencial do uso de imagens, associado à correta mediação, para favorecer compreensão da concepção científica inerente à TRR.

Um dos tópicos mais impressionantes da revista é o intitulado “Retrovisor relativístico”, que ilustra como imagens se modificam ao longo da variação de 70%, 90% e 99% da velocidade da luz. Com isso, o leitor tem a ideia de que quanto mais se aproxima da velocidade da luz, mais distorcida fica a imagem. Destacando-se uma contrapartida dos pensamentos de Einstein, já que em uma viagem na velocidade da luz o observador visualizaria os corpos comprimidos na direção do movimento.

[...] quanto mais depressa passamos menores parecem os objetos na direção do movimento. Além disso, quando a velocidade aumenta, tornam-se visíveis edifícios que já ficaram para trás. A razão: o observador em movimento apanha fótons emitidos obliquamente para a frente, cujo componente de velocidade a direção do movimento é menor que o seu próprio. (RELATIVIDADE..., 2007, p. 10).

Percebe-se uma busca por situações ligadas ao cotidiano para conferir maior familiaridade sobre a temática com os leitores. Para tanto, a velocidade da luz foi reduzida para 30km/h, buscando uma velocidade tangível do ponto de vista da realidade, sem alterar os aspectos e características dos efeitos relativísticos produzidos computacionalmente.

O efeito Doppler Relativístico, perceptível entre 70% e 95% da velocidade da luz, é tratado no tópico “Quem corre tem visão infravermelha”.

[...] quanto mais alta a velocidade, mais a frequência dos fótons que se aproximam parece se deslocar para valores mais altos – a radiação térmica fica visível. O efeito exato da cor depende do espectro de emissão dos respectivos objetos na região infravermelha (RELATIVIDADE..., 2007, p. 14).

Destaca a correlação dos efeitos Doppler Relativístico e Searchlight, que segundo a revista, é originado em parte da aberração, segundo a qual, os raios de luz parecem aproximar-se do observador, frontalmente. Contextualiza o efeito Searchlight dizendo que “[...] a parte da imagem que está diretamente na frente do observador é significativamente mais clara que nos setores laterais” (RELATIVIDADE..., 2007, p. 16).

Confronta alguns pensamentos equivocados de Einstein no tocante ao movimento de corpos esféricos, como no caso de uma esfera que, se viajasse em altas velocidades, sofreria o efeito da Contração Espacial de Lorentz, moldando-se ao formato de um elipsoide. Contudo, em 1959, o astrônomo americano James Terrell e Roger Penrose descobriram que:

[...] o contorno de uma esfera sempre parecerá redondo, não importa de que perspectiva e com que velocidade ela seja observada...[...], mas a aparência não permanece totalmente inalterada a superfície da esfera aparece invertida e nitidamente deformada [...] (RELATIVIDADE..., 2007, p. 17).

Verifica-se preocupação por um detalhamento dos conhecimentos dos efeitos abordados, sendo utilizada uma imagem da situação virtual de como a esfera se transformaria, passando a sofrer distorções decorrentes do ângulo visual e da distância do observador da esfera.

Verifica-se a utilização do termo “arte psicodélica” (explosão de cores e elementos visuais bizarros, por conta da abstração, inspirados no surrealismo) para enfatizar as distorções provocadas e efeitos recriados pelos computadores.

Por fim, percebe-se que não apenas o espaço se distorce, mas alteram-se as cores e a luminosidade das imagens exibidas. Assim, os efeitos ocorrem mutualmente, só dependendo da velocidade na qual se encontra o observador ou os objetos em sua direção.

Conclui-se que essa edição especial da Revista Scientific American Brasil ilustra aspectos e características dos efeitos relativísticos de forma satisfatória, mas pouco didática, sendo necessário que os leitores possuam conhecimentos prévios para o delineamento dos conceitos abordados. Destacado-se, porém, a busca por comparações de conceitos espontâneos e científicos, já que existem tentativas de vinculação com o cotidiano e com o senso comum do leitor, o que fortalece ideias e avanços por pensamentos mais superiores. Segundo Vygotsky (2001), não podemos desvincular as comparações entre o espontâneo e o científico.

[...] não existe outro caminho a não ser a comparação dos conceitos científicos com os espontâneos, tão bem estudados em várias pesquisas, como caminho do conhecido ao desconhecido. Entretanto, a delimitação de ambos os grupos de conceitos e a condição prévia para esse estudo comparado dos conceitos científicos e espontâneos e o estabelecimento das suas verdadeiras relações (VYGOTSKY, 2001, p. 272).

2.2.2 A importância das ilustrações e da Realidade Virtual no ensino da Teoria da Relatividade Restrita

Agrupamos nesta seção os artigos relacionados ao emprego de metodologias e práticas que influenciam o ensino da TRR de modo a produzir a compreensão qualitativa dos efeitos relativísticos, além de publicações que exaltam a RV como um instrumento didático de relevância para a educação, de modo geral.

Rizzato e Nunes (2015) apresentam a RV como algo único e inovador para a Educação, dando ênfase às suas características, vantagens e limitações. Informam a diferença entre simulações no computador e do que trata a RV, deixando claro que ambos os conceitos, ao longo das décadas, já se desvincularam e se encontram bem definidos, além de destacar que as aplicações da RV podem oferecer meios para tornar a educação mais cativante e facilitadora no processo de ensino. De acordo com os autores:

A RV oferece aos professores e estudantes experiências únicas que são consistentes com uma estratégia educacional bem-sucedida: participação na experiência, projetos e discussão em grupo, simulações e o conceito de visualização (RIZZATO; NUNES, 2015, p. 1).

Os autores verificam também a viabilidade e limitações da utilização da RV na Educação e concluíram que:

Entre as razões para utilizar a RV na educação estão: motivação dos usuários, maior poder de ilustração, possibilidade de análise do objeto de estudo a partir de pontos de vista diversos e oportunidades para experiências Individuais - cada usuário pode seguir seu próprio ritmo de aprendizagem e estímulo à participação do estudante (RIZZATO; NUNES 2015, p.1).

Reforçam que a RV deve ser utilizada em temas abstratos que fogem do senso comum, e cria através dela uma outra realidade, trazendo o aluno a outro contexto de realidade e de motivação. De acordo com eles “[...] a RV pode ser bastante útil para auxiliar na educação, em especial para o ensino de disciplinas que tratam de temas abstratos e que não dispõem de meios físicos para demonstração” (RIZZATO; NUNES, p.5).

Araújo e outros (acesso 23 jun. 2019) apresentam um projeto que teve o propósito de demonstrar com o auxílio da Realidade Virtual que ambientes virtuais criam e potencializam o aprendizado de temas diversos de forma interativa e facilitadora, além de ressaltar a relevância da RV em inserir o aluno em um campo não perceptível no cotidiano. De acordo com os autores, “A Realidade Virtual nos permite entrar em um mundo em que jamais estaremos na vida real [...]” (ARAÚJO et al., acesso 23 jun. 2019, p. 2).

Tais autores verificam também a importância da criação de ambientes virtuais em 3D, pois muitos temas não podem ser totalmente explicados via imagens 2D, necessitando-se de uma imersão e interação com outra realidade, não habitual, destacando que se deve buscar outros meios de mediação entre o aluno e o tema a ser analisado. Concluem relatando que a RV é o instrumento capaz de melhorar e motivar os alunos, como os professores, no processo de ensino e aprendizagem de quaisquer conteúdos, por se tratar de método e tecnologia de fácil acesso, a exemplo dos *smartphones*.

[...] a dificuldade por parte dos mesmos em visualizar os processos físicos de uma maneira mais concreta, pois as imagens estáticas (imagens em livros, ou apostilas) as quais eles estão acostumados davam apenas uma visão parcial do evento, fazendo com que estes alunos tinham uma interação menor com o fenômeno fazendo com que o comprometimento dos mesmos em relação à imagem, e assim muitas vezes o entendimento do evento físico fica prejudicado, pois a participação acaba ocorrendo de forma não interativa (ARAÚJO et al., acesso em 23 jun. 2019, p. 3).

Riboldi e Studart (2015) apresentam a importância de ensinar a TRR no ensino médio, ressaltando que há limitações no ensino da Física Clássica, até mesmo em situações que envolvem o cotidiano do aluno, promovendo-se a importância na inserção da TRR, via meios de motivação e interação, que retratem os efeitos de modo imersivo e motivador. Foi utilizado um jogo intitulado “*A slower speed of light*”, que recria os efeitos relativísticos e cuja dinâmica consiste na coleta de alguns símbolos chamados “*orbs*”, produzindo, aos poucos, os efeitos holofote e Doppler Relativístico. Ao final da coleta tem-se o efeito Terrell. De acordo com o relato de Riboldi e Studart (2015), no jogo, apesar de ser informado que existe a visualização da Contração Espacial de Lorentz, isso não ocorre.

Queiroz, Tori e Nascimento (2017) informam o potencial de se trabalhar a RV na educação, contando que o tema vem sendo exaltado desde sua pré-história, quando nem mesmo tinha essa denominação. Afirmam que o artigo “*The Ultimate Display*”, de 1965, é considerado precursor da RV. Os autores também dizem da gama de aplicações da RV, principalmente em situações em que estar presente fisicamente seria “muito caro, perigoso ou impossível”, podendo o aluno ser estimulado e interagir em um ambiente mais contextualizado, que favorece práticas reflexivas.

As publicações e trabalhos apresentados aprofundam a importância da abordagem da TRR no EM de forma motivadora e visual, criando assim um ambiente virtual que possibilitaria o entendimento e compreensão de vários aspectos. Com a utilização dessa tecnologia, o professor promoveria um ambiente de discussões e mediações variados, favorecendo assim um paralelo de concepções.

2.2.2 A evolução dos pensamentos sobre a TRR

As publicações a seguir mostram como os conceitos da TRR evoluíram, desde os primeiros pensamentos sobre o tema, até Einstein.

Wolff e Mors (2005) verificam que muitos dos manuais didáticos conferem subjetivamente, a cada cientista, toda a credibilidade das teorias formuladas por eles, não esclarecendo que suas ideias possuem conexões com outras teorias, previamente existentes. Contextualizam a evolução da TRR por meio da descrição do movimento dos

corpos em relação a outros, tendo seu início com o filósofo grego Zenão, de Eléia (500 – 451 a.C.), estendendo-se até os trabalhos de Albert Einstein, em 1905, com a Teoria da Relatividade Especial.

Apresentam também a contribuição de Aristóteles, que procurou descrever o movimento dos corpos e suas ideias permaneceram aceitas, por mais de vinte séculos. Porém, a descrição era apenas filosófica, por não seguir o método científico. Posteriormente, o estudo dos movimentos passou a ser analisado de maneira matematicamente formal.

Assim, a dificuldade em entender o movimento dos corpos permaneceu até os séculos XVI e XVII com Giordano Bruno (1548 – 1600) e Galileu Galilei (1564 - 1642) que deram respostas ao paradoxo dos corpos em movimentos relativos (Zenão), utilizando relações matemáticas e não apenas respostas filosóficas. Com isso, Galileu conseguiu resolver o paradoxo de Zenão, mostrando que a trajetória e velocidades são dependentes do referencial de onde se observa o movimento (WOLFF; MORS, 2005, p. 12).

Discutem o conceito de “Referencial”, a partir do que o do filósofo John Locke escreveu.

[...] há duzentos anos, em seu grande tratado “Sobre o entendimento humano”, da importância do referencial: “Se encontrarmos as pedras do xadrez na mesma posição em que as deixamos, diremos que elas não foram movidas, ou permanecem imóveis, mesmo que o tabuleiro, nesse ínterim, tenha sido transportado para outro cômodo. Da mesma forma diremos que o tabuleiro não se moveu, se ele permanece no mesmo lugar em que se encontrava na cabina, embora o navio esteja andando (WOLFF; MORS, 2005, p. 13).

Rodrigues (2001) apresenta a Física newtoniana, que prevaleceu durante séculos de crescimento contínuo, embasando a Astrofísica, o Eletromagnetismo e a Termodinâmica. Todas estas teorias partilhavam os conceitos de base da concepção newtoniana. Dentre os preceitos mais importantes da Física newtoniana destacavam-se “[...] os referenciais inerciais que estariam ligados à ideia de espaço absoluto” (RODRIGUES, 2001 P. 29).

Santos (2012) destaca a influência da Física newtoniana, ao longo de vários anos, na defesa do modelo corpuscular, em que a luz era constituída de partículas pequenas, emitidas pela fonte luminosa, e que se propagam em linha reta e com altas veloci-

des, gerando, ao atingir os olhos a nossa visão. É informado que ao estudar o fenômeno da refração Newton percebeu que “[...] a velocidade da luz em um meio material era maior do que no ar.”

Após trabalhos experimentais realizados por L. Foucault, um cientista francês, verificou-se que “[...] a velocidade da luz na água era menor do que no ar, como a teoria corpuscular entrava em desacordo com a experimentação de Foucault, a comunidade científica abandonou dentre outros pontos a teoria corpuscular da luz” (SANTOS, 2012, p. 233).

Silva (2007) apresenta os experimentos de Young e Fresnel, entre outros, que foram os que estabeleceram a necessidade de uma teoria ondulatória, revelando tratar-se a luz de uma onda eletromagnética.

Moura e Boss (2015, p. 02) discutem como Young provavelmente despertou interesse no comportamento ondulatório da luz, ressaltando que “[...] foi despertado após seus estudos sobre a voz e a visão humanas, que o levou a repensar na analogia entre luz e som, um dos pilares sempre utilizados pelos defensores de uma teoria vibracional ou ondulatória para a luz”.

Segundo TORT (2011, p. 03), o nascimento da TRR é formalmente devido à “[...] assimetria aparente dos fenômenos eletromagnéticos e da incompatibilidade entre a teoria eletromagnética de Maxwell e as transformações de Galileu”.

Sabemos que a TRR trata apenas de referenciais inerciais (RI), com movimentos relativos retilíneos e uniformes. Por se tratar de um dos conceitos mais fundamentais da TRR (TORT, 2011, p. 04) define RI como “[...] o referencial em relação ao qual vale a lei da inércia, onde forças externas não atuam nele”.

Guerra, Braga e Reis (2007) destacam que Einstein, como um homem de seu tempo, confrontou-se com a ciência de sua época, defendendo que o princípio da relatividade estabelecido por Galileu deveria ser mais abrangente, ou melhor, válido para todas as leis da Física, e não apenas para as da mecânica. Informam ainda que ele rejeitou o

“éter” e que as leis de Maxwell eram aquelas que deveriam ser vistas como verdadeiras.

2.3 A DEFINIÇÃO DE AMBIENTE E REALIDADE VIRTUAIS

A RV surgiu, em 1963, nos Estados Unidos, quando Ivan Sutherland desenvolveu uma aplicação denominada Sketchpad que permitiu a manipulação de figuras tridimensionais no monitor de um computador, em tempo real (KIRNER; KIRNER, 2011, p. 14).

A definição do termo RV, de forma geral “[...] faz referência a uma imersiva e interativa experiência que se baseia em imagens gráficas 3D geradas por computador em tempo real, em outras palavras, é uma simulação de um mundo real, ou apenas imaginário gerada por computador” (RODRIGUES; PORTO, 2013, p. 99).

Não se deve confundir RV com Ambiente Virtual, que são “espaços eletrônicos construídos para permitir a veiculação e interação de conhecimentos e usuários [...] São softwares projetados para atuarem como salas de aula virtuais e têm como características o gerenciamento de integrantes, relatório de acesso e atividades, promoção da interação entre os participantes, publicação de conteúdo”. (BARROS; CARVALHO, 2011, p. 214).

e Realidade Virtual que trata de uma experiência com base em imagens geradas por computação gráfica. Como sugerido por Araújo e Kirner (1996, p. 2) RV é “o sentimento de ‘imersão’ e ‘presença’ do usuário dentro do sistema[...]”.

2.4 A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DA REALIDADE VIRTUAL NO CONTEXTO ESCOLAR

Nas aulas que necessitam proporcionar aos alunos imersão e interação, na qual os sentidos e capacidades possam ser ampliados de forma a possibilitar a visualização de efeitos que fogem da normalidade, é necessário criar um ambiente fazendo uso de recursos computacionais, que é o ambiente virtual. Nele, “[...] os sentidos e as capacidades das pessoas podem ser ampliados em intensidade, tempo e no espaço. É

possível ver, ouvir, sentir, acionar e viajar muito além das capacidades humanas [...]” (TORI; KIRNER, 2006, p. 3).

Por ter uma infinidade de possibilidades de realidades desejáveis e inimagináveis é que a RV se torna um imprescindível instrumento didático para a visualização dos efeitos relativísticos, já que não é possível recriar tal ambiente em sala ou mesmo em outros laboratórios didáticos. Pensando nessa expectativa é que a RV se apresenta como a única forma de inserção, no contexto da sala de aula, dos efeitos Penrose-Terrell e Doppler Relativístico, que são mais complexos de serem transmitidos aos discentes. Considerando estes contrastes de realidades didáticas é que se adota essa prática que se refere “[...] a uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens gráficas 3D geradas em tempo real por computador” (MACHADO, 1995, p. 5).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo dedica-se a explicar as teorias que embasaram esta pesquisa. Inicialmente, disserta-se um pouco a respeito dos preceitos e vertentes da Teoria Vigotskiana direcionadas à aprendizagem. Também verifica a relevância do parceiro mais capaz em sala de aula; a importância da busca por aprimorar as concepções espontâneas em concepções científicas; as diferentes estratégias de interação e mediação possíveis na relação aluno-professor; o papel do lúdico no processo de aprendizagem e finalmente a utilização de instrumentos e signos para temas abstratos.

3.1 A TEORIA VIGOTSKIANA

A teoria Vigotskiana tem como base fundamental a relação de interação para o desenvolvimento cognitivo. É a partir dessa interação entre os sujeitos que a aprendizagem se frutifica, precisando o ser humano socializar com os seus pares para a obtenção de novos conceitos. Segundo Mello e Teixeira (2012, p. 2):

Pode-se dizer que desde o nascimento, o homem já é um ser social em desenvolvimento e todas as suas manifestações acontecem porque existe um outro social. Mesmo, quando ainda não se utiliza da linguagem oral, o sujeito já está interagindo e se familiarizando com o ambiente em que vive.

Entende-se também que a aprendizagem conduz o ser humano ao desenvolvimento. Desta forma, a criança pode inicialmente adquirir concepções espontâneas, que posteriormente podem se transformar em conhecimentos científicos. Apesar dos conceitos de aprendizagem e desenvolvimentos estarem intimamente ligados, não são iguais, e podem ocorrer subjetivamente; todavia, fundamentalmente o sujeito necessita de “outros” para esses conhecimentos se tornarem mais proveitosos e satisfatórios, evoluindo para conhecimentos mais sistematizados, decorrentes da vivência social.

Conforme Moraes (acesso em 6 fev. 2019, p. 6), concebe-se que:

[...] o desenvolvimento e a aprendizagem são diferentes, porém articulados entre si, numa relação dialética. Entre outras palavras: a aprendizagem influ-

encia o desenvolvimento, assim como o desenvolvimento influencia a aprendizagem. Isto ocorre, não apenas em um espaço reservado e único, mas na vivência social.

Pode-se dizer que o aluno necessita de um elo de mediação para a transição entre as concepções, que pode partir do professor ou até mesmo de um sujeito mais capaz.

3.1.1 O papel da mediação

Segundo Vygotsky (1991), as relações não ocorrem de forma linear, coexistindo a necessidade de meios de interação, estabelecendo-se assim um elo que promove a mediação, com isso, verifica-se que nessa linha de pensamentos o homem utiliza, para esse processo de mediação, instrumentos e signos. De acordo com Souza e Rosso (2011, p. 4),

A mediação, efetivada pelo “outro” mais experiente, viabiliza uma ação mais significativa do sujeito sobre o objeto e, desse modo, o indivíduo passa a transformar, dominar e internalizar conceitos, papéis e funções sociais presentes na sua realidade. Assim, os processos de mediação viabilizam os processos de aprendizagem.

Nunes (2007, *apud* MATOS; LIMA, 2015, p. 5) ressalta que “[...] é necessário que ocorram atividades práticas e instrumentais em um contexto de interação grupal ou social. Desse modo, a presença e a participação ativa do outro interferem diretamente na aprendizagem”.

Percebe-se que por meio da elaboração de atividades práticas a interação pode ser estabelecida e projetada, gradativamente, para instaurar uma socialização mediada. O professor precisa estabelecer meios de mediação em suas práticas pedagógicas para buscar um diálogo maior com seus alunos e estes estarem mais atentos aos temas desenvolvidos em sala. Entende-se, também, que os mediadores são os sujeitos que direcionam ou estabelecem alternativas práticas para transmitir, de forma eficaz, a relação com o objeto a ser analisado. Conforme Souza e outros (2018, p. 13), “os mediadores são elos entre o sujeito e o objeto, funcionando como uma espécie de filtro através do qual o sujeito é capaz de ver o mundo e operar sobre ele”.

3.1.2 A distinção entre os conceitos espontâneos e científicos ou sistematizados

Os conceitos espontâneos e os científicos devem ser trabalhados de forma interligada. O professor, ou até mesmo os alunos que se destacam no grupo social, precisam entender essa correlação entre os conceitos, mas também devem separá-los no processo. Ângelo (2009, p. 3) compreende que embora se relacionem e se influenciem constantemente, os conceitos espontâneos são adquiridos no curso das interações cotidianas enquanto os conceitos científicos são adquiridos por meio do ensino sistemático, em sala de aula.

3.1.3 A importância dos instrumentos e dos signos

É imprescindível que se busque alternativas de interação com o mundo, sendo importante existirem meios mediáticos que sirvam como formas de socialização entre semelhantes. Para tanto, é necessário estabelecer uma linguagem que seja a base para essa socialização, além de ser uma forma de inserção em âmbito grupal. Portanto, os signos acabam se tornando ferramentas que auxiliam o ser humano nos processos que exigem interação e memorização. De acordo com Umbelino (2012, p. 9),

Os signos criados pelos homens permitiram a transformação ativa da natureza do homem, promovendo sua adaptação de maneira ativa, ou seja, ele se adapta, mas também transforma sua atividade, regula sua conduta. O homem é quem cria novas conexões, novos signos externos, que atuam de forma mais complexa na sua atividade psicológica, proporcionando sua mudança, a transformação de sua natureza.

Verifica-se ainda a relevância dos instrumentos criados pelos sujeitos. Tais recursos são alternativas para resolver situações porventura difíceis, diretamente, a exemplo da elaboração de manuscritos que necessitam de um lápis ou caneta, objetos que serviriam como instrumento. Sobre o conceito de instrumento, assim se manifestam Oliveira e Silva (2011, p. 78):

[...] permite ao homem saber que pode substituir seu esforço físico por um objeto (o instrumento), facilitando sua relação com o meio e também que poderá ser reutilizado sempre que precisar realizar tal esforço. Um exemplo de instrumento mediador seria o serrote usado pelo marceneiro.

3.1.4 Zona de desenvolvimento proximal

O ser humano é um sujeito que necessita interagir com outros, querendo que o que foi aprendido hoje, com ajuda, poderá ser feito de maneira independente, no futuro. Entende-se que o desenvolvimento e a aprendizagem são aspectos que dependem um do outro. Partindo dessa premissa, tem-se subsídios para entender o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), postulado por Vygotsky e entendido por Freitas (2001, p. 27) como

[...] a distância entre o nível de desenvolvimento real, que é determinado por problemas que o indivíduo soluciona independentemente, sem ajuda, e o nível de desenvolvimento potencial, que é determinado através da solução de problemas em atividades partilhadas. Ela caracteriza o desenvolvimento mental prospectivamente, ou seja, refere-se àquele desenvolvimento que ainda está em processo, que está por se consolidar.

3.1.5 O parceiro mais capaz

Constata-se que todos necessitam de outros sujeitos para adquirir o *status* de seres humanos, já que é quando se adquire a linguagem que, de fato, o sujeito passa a inserir-se no contexto social. Para isso, é preciso de outros para transmitir e socializar a constituição dessa linguagem, já que o convívio social é algo dinâmico e inevitável, e as intervenções inerentes a ele no decorrer da vida são necessárias para o aprendizado.

Entende-se que os processos de interações poderão potencializar a aprendizagem e que os colegas mais capazes que, inicialmente, assimilaram os conteúdos, poderão direcionar os demais a adquirirem aquele conhecimento. O papel de parceiro acontece, segundo Rezende, Ostermann e Lima (2009, p. 2) ressaltam que é

[...] por meio de iniciações e avaliações, o professor conduz a atividade dos estudantes. Assim, quando algum estudante consegue engajar seus colegas em uma interação do tipo Iniciação-Resposta-Avaliação (I-R-A), temos um indício de que ele está exercendo o papel de parceiro mais capaz.

No contexto educacional, é de extrema importância as relações com o adulto ou o sujeito mais capaz, no entanto, entende-se que nem sempre o parceiro mais capaz poderá exaltar seus conhecimentos para o menos capaz, já que estão sujeitos a falta

de confiança, gerando dúvidas e indagações que produzem uma falsa sensação da assimilação do conhecimento adquirido, como ressaltado por Zanella (1994):

[...] em seus estudos sobre a ZDP, Vygotsky (1984) aponta que tanto o adulto quanto o parceiro mais experiente exercem importante papel no desenvolvimento da criança, pois auxiliam na resolução de problemas que a criança não consegue, de forma autônoma, solucionar. Assim, para Vygotsky, há a concepção de que o sujeito menos experiente necessariamente aprende, seja na interação com um adulto, seja na interação com um parceiro mais experiente. [...] a situação se modifica na medida em que é possível que, nem sempre, o parceiro mais experiente seja, igualmente, o mais confiante e seguro de seus próprios conhecimentos.

3.1.6 Processo de internalização dos conteúdos

É fundamental que o processo de transição entre os conhecimentos espontâneos e científicos sejam eficazes e propiciem a internalização do conhecimento científico. Segundo Cavalcanti (2005, p. 188) a internalização é “[...] um processo de reconstrução interna, intrassubjetiva, de uma operação externa com objetos que o homem entra em interação”.

O conceito de internalização é amplo e pode variar de acordo com a teoria aplicada, por ter características particulares, como é salientado por Rossi e Rossi (2012, p. 2):

[...] esse termo apresenta muitos sentidos e alguma zona de estabilidade em torno de um significado que varia de acordo com a tradição teórica empregada. Pode aparecer como sinônimo de interiorização ou de apropriação e o corpo teórico-epistemológico de uso do termo designará ordens variadas de fenômenos, com características particulares.

3.2 A IMPORTÂNCIA DO LÚDICO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

Na atual conjuntura do ambiente escolar, os docentes precisam buscar alternativas metodológicas para estabelecer um elo de motivação e atenção, por parte dos alunos, aos objetos de estudo. Uma das alternativas mais eficazes no processo é o uso do lúdico, que, segundo Rolim, Guerra e Tassigny (2008 *apud* KIYA, 2014, p. 11), é “[...] uma proposta educacional para o enfrentamento das dificuldades no processo ensino-aprendizagem”.

3.3 SOFTWARE EDUCATIVO PARA O ENSINO

No atual cenário escolar os professores necessitam encontrar meios tecnológicos que sirvam de ferramentas de interação entre os sujeitos no processo de aprendizagem. Algumas dessas ferramentas são os aplicativos, encontrados na forma de simuladores de efeitos ou de fenômenos físicos que propiciam uma nova maneira de aprender, auxiliando nas explanações e na fixação dos conteúdos ministrados em sala de aula ou em laboratórios específicos. Sobre isso, Brun, Dotto e Olguin (2011, p. 1) afirmam que,

Atualmente, com o advento das tecnologias, o aluno tornou-se mais crítico e independente, visto que possui novas fontes de conhecimento à disposição. Esse processo fez com que alguns professores deixassem de lado a maneira tradicional de ensino e buscassem outras formas de cativar a atenção dos alunos e ensiná-los.

3.4 NOTAS SOBRE A APRENDIZAGEM ATRAVÉS DA REALIDADE VIRTUAL

Na atual conjuntura os profissionais de ensino não podem ser omissos em relação à elaboração de recursos e práticas de aprendizagem que envolvam os temas modernos, a exemplo da Relatividade, que exige instrumentos e signos específicos para a assimilação científica. Um dos meios mais eficazes de ensino é a exibição de vídeos e imagens, projetadas por meio da RV, que pressupõe, de acordo com França e Silva (acesso em 8 fev. 2019, p. 3) “a criação de objetos e mundos virtuais, onde a interação acontece por imersão e com auxílio de capacetes, óculos e outros aparatos”.

Pesquisas demonstram que da aplicação de recursos da RV emerge um aprendizado motivador, com certas limitações, mas que permite ao aluno uma variedade de possibilidades de aplicação prática para o estudo de temas científicos, tais como a TRR, que acaba tendo seus efeitos reproduzidos com precisão e clareza na visualização por meio deste recurso, facilitando a interpretação dos conceitos expostos. Dados relacionados a resultados de avaliação da utilização da RV na compreensão de conceitos científicos sugerem, de acordo com Araújo, Battaiol, e Goyos, 1999, p. 2) que,

[...] a RV aumenta a motivação de exploração do assunto, mas apresenta limitações quanto ao aprendizado cognitivo, se comparada à multimídia. Outros estudos sugerem que o grau de aprendizado depende do nível de imersão e até da complexidade do ambiente virtual. Mais ainda, a literatura discute modelos para auxiliar na decisão sobre quando e onde utilizar a RV em cursos; no entanto, estes modelos não especificam as aplicações educacionais que atendem.

3.5 AS ETAPAS DA SITUAÇÃO DE ESTUDO

A Situação de Estudo “[...] possibilita a articulação entre o conhecimento cotidiano do estudante e o conhecimento científico, pois parte de uma situação concreta, da vivência dos alunos, normalmente rica em aspectos conceituais para diversos campos da ciência” (VIANNA; RIBAS; MALDANER, acesso em 8 fev. 2019, p. 3). Pode-se também dizer, no entendimento de Maldaner e Zanon (acesso em 8 fev. 2019, p. 7), que numa Situação de Estudo,

[...] as aprendizagens enriquecem a teoria e a prática e se realimentam uma da outra, fazendo com que a prática não apenas seja descrita e narrada, mas compreendida e explicada, melhor organizando e aprofundando os saberes que nutrem ao deles nutrir-se.

Todavia, temas como a TRR, mais especificadamente os efeitos dela, não possuem correlação com o cotidiano do aluno. Ainda assim, o conhecimento científico pode ser adquirido por meio de práticas que podem fomentar outras, evoluindo assim os saberes, que servirão de embasamentos para outros.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados nas dinâmicas aplicadas em sala de aula foram embasados nos preceitos de Vygotsky (1991, 1998, 2001). Todo processo foi pautado na promoção de interações e mediações ao longo de todas as etapas de uma Sequência Didática (SD) elaborada para fins desta pesquisa, as quais seguem descritas a seguir, tendo o professor como mediador e parceiro mais capaz.

4.1 ETAPAS DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A pesquisa foi iniciada com a aplicação de um questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A), com o objetivo de conhecer as concepções prévias dos alunos sobre o que eles entendem sobre “o que é a luz”. Após analisar os conhecimentos prévios, o professor teve subsídios para delinear as possíveis dificuldades dos alunos, além de ter visualizado os conhecimentos espontâneos, adquiridos ao longo das relações vividas.

A SD foi dividida em 8 aulas de 50 minutos cada, e realizada por meio do uso de diversos instrumentos, com ênfase na utilização da RV que serviu como instrumento mediador no processo de aprendizagem dos efeitos relativísticos.

A seguir, descreve-se a sequência de aulas bem como os procedimentos adotados.

4.1.1 Aplicação da sequência didática

Com a intenção de inserir, de forma inovadora, os conceitos e práticas ligadas à TRR, no contexto do ensino médio – mais especificamente na 1ª série do Ensino Médio – e pensando nos desafios encontrados por professores de Física, elaborou-se e aplicou-se a SD que será apresentada a seguir. Ao todo, foram ministradas **8 (oito) aulas**, para que o conteúdo e os recursos pudessem ser explorados satisfatoriamente. As aulas aconteceram nas dependências da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio “Santo Antônio”, localizada na cidade de São Mateus no estado do Espírito Santo.

As aulas foram ministradas em uma única turma da **1ª série do EM**, formada por **28 alunos**, que tiveram os primeiros contatos com os conteúdos em pauta, já que o ensino fundamental, normalmente, não trata destes temas e quando o aborda não o faz de forma insatisfatória.

O conteúdo foi desenvolvido de maneira diferenciada para introduzir no ambiente escolar recursos tecnológicos de fácil acesso que estimulem a compreensão dos efeitos ligados à TRR, tema este que demanda de tais recursos para compreensão adequada, por se tratar de algo inimaginável no cotidiano dos discentes.

4.1.2 Definição de sequência didática e a sua relevância no processo

Para a inserção de recursos teóricos e práticos faz-se necessário elaborar uma SD que sirva como norteadora no processo de ensino e aprendizagem, em todos os aspectos, possibilitando assim uma organização no cronograma das atividades. Rojo e Gláis (2010, *apud* CABRAL, 2017, p. 32-33) definem SD como um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero oral ou escrito.

Entende-se que a SD, de modo geral, é um recurso metodológico para o ensino, cuja aplicação procura vários momentos de reflexão que promovem os diálogos e a construção de concepções de forma linear, modeladas ao longo do processo.

4.1.3 Aula 1 da SD

O objetivo da primeira aula era introduzir alguns conceitos básicos ligados às ondas eletromagnéticas, mais especificadamente a definição do que é a “**luz**”, em especial os pensamentos e aspectos inerentes à teoria “*corpúscular*” da luz. Para tanto, foi realizada a leitura do **texto 01** (ANEXO A), que versa sobre o tema, podendo os alunos conhecer e debater teoricamente os preceitos históricos e conceituais que envolvem a teoria. Durante a aula teórica foram incentivadas discussões sobre o assunto exposto, tentando utilizar linguagem diferenciada e acessível ao cotidiano dos alunos.

Foi então entregue o questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A), com duas questões a serem respondidas individualmente. Depois de respondê-lo, os alunos puderam refletir a respeito de suas respostas, as explanando durante os momentos de reflexões. As questões versaram sobre os conceitos pré-estabelecidos pelos discentes, no qual pudemos observar as primeiras impressões sobre o tema. Em seguida, as opiniões e respostas foram moldadas e direcionadas pelo professor e por alguns dos alunos que demonstraram um conhecimento mais sistematizado dos conceitos, auxiliando nos diálogos, como também tirando eventuais dúvidas remanescentes após mediações do professor.

Já na aula teórica, foram trabalhados “Os pensamentos do início do século XX”, quando foram expostos os pensamentos sobre os primeiros conceitos sobre a “luz”, partindo de postulados históricos. Posteriormente, discutiu-se “Os pensamentos de como enxergamos na antiguidade”. Neste tópico o aluno viu os conceitos iniciais de como os corpos são visualizados.

Em seguida, foram trabalhados os conhecimentos referentes aos “Pensamentos de como as cores são produzidas”. Neste tópico trabalhamos os conceitos de Aristóteles, Descartes, Charleton e Platão sobre as cores e suas particularidades que envolvem o tema e experimentos envolvidos.

Finalmente, foram abordados os “pensamentos corpusculares da luz a partir do surgimento do gênio”, a partir da bibliografia de Isaac Newton, que foi o protagonista desta discussão. Suas diferentes facetas foram reveladas e seus pensamentos e teorias conceituais e experimentais foram apresentadas de forma teórica e virtual, utilizando slides e vídeos que exibiram o experimento do prisma. Com o intuito de retratar este experimento, foi exibido o **vídeo 01** (FIGURA 2), intitulado “Experimento de Newton: o prisma”. Posteriormente, o professor fez uma explanação sobre assunto, a partir feitos pelos alunos, após a exibição.

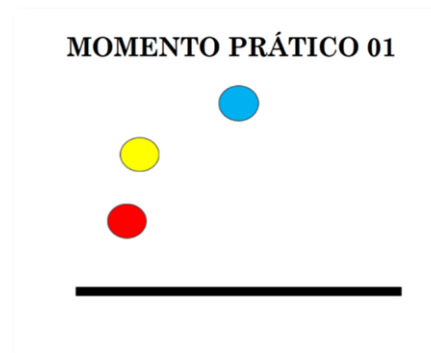
Figura 2 – Captura de tela de vídeo sobre experimento do prisma de Newton



Fonte: Prismas... (2016).

Para concluir, modelando ainda mais as concepções adquiridas ao longo desta aula, sucedeu-se o “**MOMENTO PRÁTICO 01**”, no qual os alunos fizeram uma analogia com algo do seu cotidiano para que entendessem um dos fenômenos da “reflexão”, que está ligado diretamente aos pensamentos corpusculares de Newton. O objetivo desta prática foi promover um momento lúdico, a partir da analogia entre “bolinhas” e os fótons (FIGURA 3). O professor instigou os alunos por meio de perguntas que direcionaram os debates, já que os movimentos decorrentes destas bolinhas são intuitivos e esperados, dando margem à sistematização dos conceitos esperados.

Figura 3 – Animação de uma analogia entre as bolinhas e os fótons



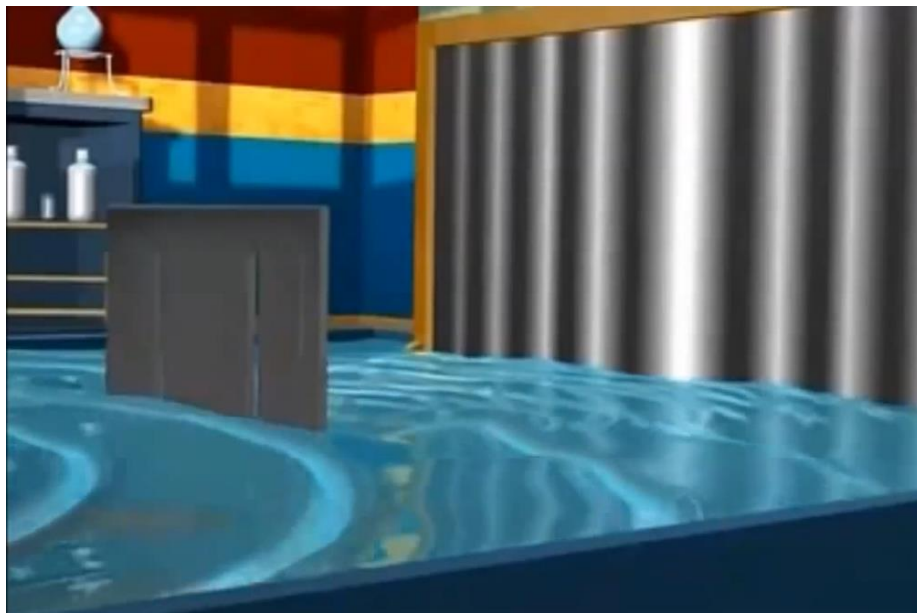
Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.4 Aula 2 da SD

Na segunda aula, inicialmente foi aplicado questionário (APÊNDICE B) que serviu como instrumento averiguador qualitativo sobre as concepções espontâneas e científicas adquiridas ao longo da primeira aula.

Após a aplicação do questionário os alunos receberam o **texto 02** (ANEXO B) para uma leitura prévia a respeito do caráter “ondulatório” da luz. Após isso, iniciou-se a aula teórica, norteadas pelo texto, e a exibição posterior do **vídeo 02** (FIGURA 4), que ilustra experimento de fenda dupla.

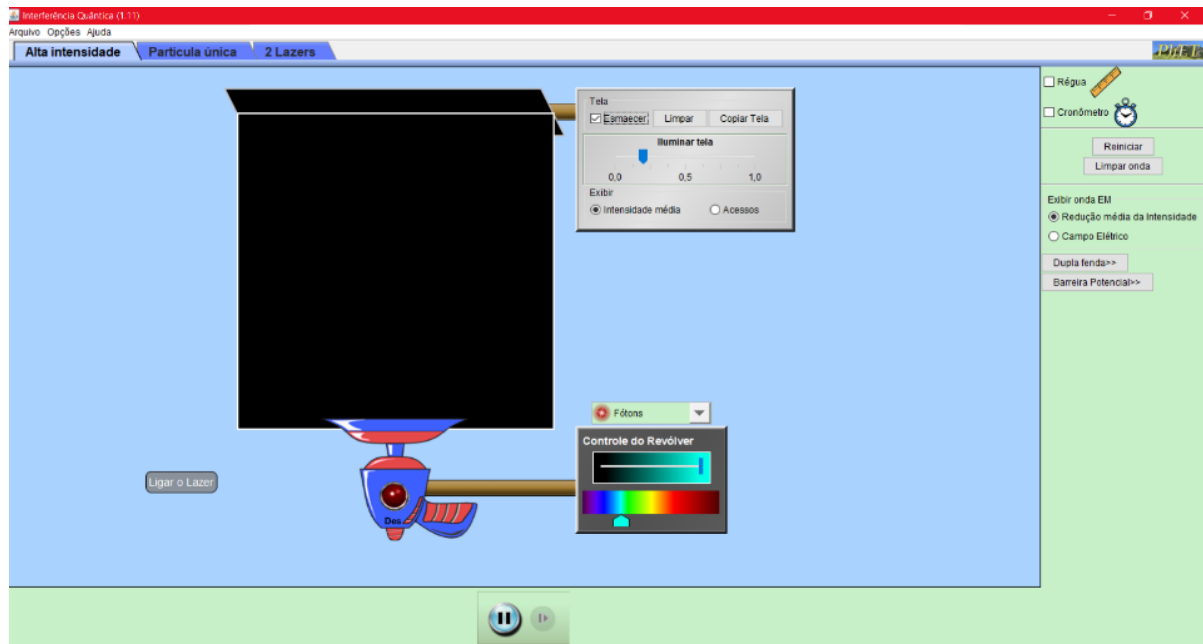
Figura 4 – Captura de tela de vídeo do Dr. Quantum que trabalha o experimento de fenda dupla



Fonte: Física... (2016).

Complementando o vídeo, trabalhou-se com o **simulador 01** (FIGURA 5) do experimento mencionado, da plataforma PHET da Universidade do Colorado. Esta ferramenta possibilitou que os alunos visualizassem que ao variar as frequências de incidência da luz, conseqüentemente variam as cores das luzes incidentes no anteparo, recriando o experimento de maneira virtual, em sala de aula. O *link* de acesso ao simulador foi disponibilizado para que os alunos acessassem em casa, proporcionando outros momentos de estudo.

Figura 5 – Captura de tela de simulador de experimento de fenda dupla



Fonte: University of Colorado (acesso em 10 fev. 2019).

A aula seguiu contexto teórico e prático, tendo como caráter complementar a exposição de experimento virtual (FIGURA 5) e do vídeo (FIGURA 4), que serviram como instrumentos de demonstração, promovendo-se a interação dos participantes com o assunto.

Os alunos conheceram os pensamentos que moldaram a Teoria Ondulatória da Luz, a partir de um breve relato bibliográfico sobre Young e outros cientistas relacionados a esta teoria. Após a explanação, promoveu-se diálogo a partir das conclusões a que chegaram os discentes.

Ao final, ocorreu momento de reflexão a partir da exibição de imagem que exibiu três fenômenos ondulatórios¹ (difração, interferência e refração) de fácil percepção, para que os alunos pudessem identificá-los ao visualizá-los. Logo em seguida, utilizando imagem lúdica (tirinha que ilustra um fóton em um consultório questionando se seria uma “onda” ou uma “partícula”), o professor mediador motivou os alunos a dialogarem sobre os conteúdos, considerando os instrumentos utilizados e a linguagem da tirinha exibida.

¹ Conferir slides 15 e 16, a Aula 2, disponíveis no Anexo B.

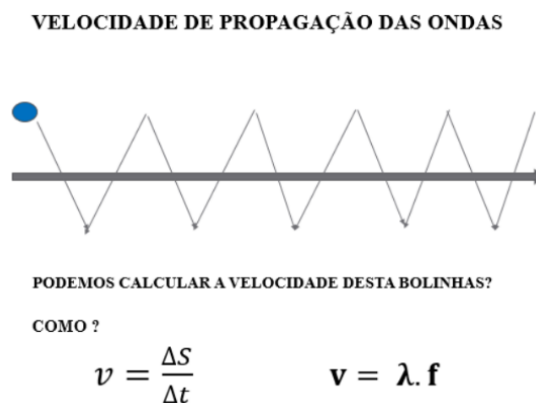
4.1.5 Aula 3 da SD

A terceira aula foi iniciada com aplicação de questionário individual (APÊNDICE C), no qual os alunos puderam expor, subjetivamente, algumas das concepções espontâneas e sistematizadas adquiridas nos momentos anteriores. Os diálogos posteriores ao questionário foram registrados por meio de gravações de áudio, com o uso de aplicativos do *smartphone* do professor, sendo disponibilizado um tempo desta aula para as interações e reflexões conduzidas pelo professor e incentivadas pelos alunos mais capazes.

Em seguida, os alunos conheceram, de forma teórica e prática, a dualidade onda-partícula. A aula partiu dos pensamentos de Max Planck, Albert Einstein e Louis de Broglie, cujos pensamentos conduziram à teoria atual, que sustenta uma natureza dual, não apenas da luz, como também de outras partículas quânticas, a exemplo dos elétrons. As discussões ocorreram de forma a lapidar conceitos ligados à “luz”, além das definições de ondas eletromagnéticas, velocidade de propagação das ondas e a energia dos fótons, juntamente às aplicações destes conteúdos no cotidiano. A aula foi norteada pelo texto 03 (ANEXO A).

Ao final, destinou-se um momento de reflexão, no qual os alunos puderam analisar o comportamento de uma “bolinha” para determinar sua velocidade, analisando os seus movimentos de forma lúdica (FIGURA 6).

Figura 6 – Animação do movimento de uma bolinha em movimento contínuo



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.6 Aula 4 da SD

A exemplo das aulas anteriores, os alunos inicialmente responderam questionário (APÊNDICE D), referente a aula anterior, com o intuito de verificar a aprendizagem adquirida e as conclusões a que chegaram os discentes a respeito do comportamento atual da luz e de outras partículas quânticas.

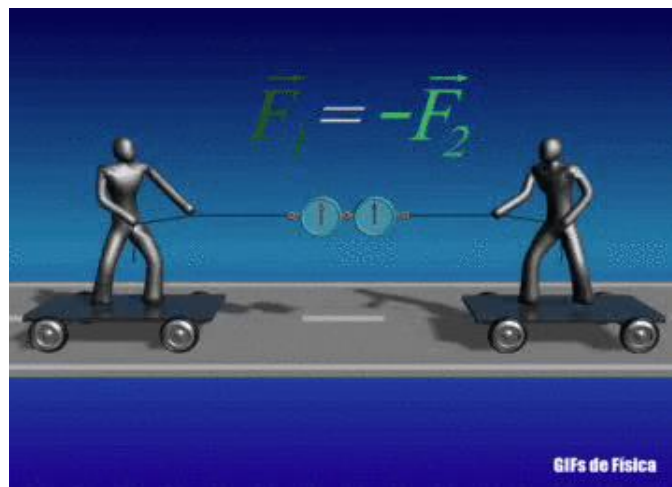
Após a devolução do questionário respondido, os alunos conheceram alguns dos conceitos mais relevantes ligados à TRR, o de referencial inercial e as Leis de Newton, com o objetivo de direcionar os alunos aos estudos a serem desenvolvidos posteriormente. Utilizou-se uma animação no formato GIF (Graphics Interchange Format) como instrumento mediador e lúdico de demonstração das primeiras (FIGURA 7) e terceira (FIGURA 8) leis de Newton, para maior compreensão destas definições, já que tais animações se aproximam da realidade.

Figura 7 – Animação de colisão entre carro e muro



Fonte: Mochila de Física (2012).

Figura 8 – Animação da terceira lei de Newton



Fonte: GIFs de Física (2018).

Ao final da aula, os alunos tiveram um momento de interação, no qual os analisaram tirinhas de situações-problemas sobre o tema (APÊNDICE E), redigindo suas conclusões e as expondo oralmente.

4.1.7 Aula 5 da SD

Na quinta aula, os alunos analisaram qualitativamente duas ilustrações (APÊNDICE F)². A aula foi conduzida a partir da contextualização bibliográfica dos cientistas envolvidos com o tema, e da importância de se estudar os conceitos ligados à “aberração da luz” e o seu papel no desenvolvimento das teorias da luz e da TRR.

Os estudos partiram das ideias do modelo heliocêntrico do sistema solar e das definições acerca da “aberração da luz”. Para tanto, foram expostas duas analogias do movimento do observador em relação à chuva e aos corpos celestes. O objetivo foi de apresentar um dos primeiros conceitos ligados à visualização dos corpos em relação ao movimento ou não do observador.

Ao final, promoveu-se momento de reflexão utilizando duas ilustrações (APÊNDICE G), com registro individual em folha de respostas, as quais foram discutidas em diálogos conduzidos e incentivados pelos alunos mais capazes. O professor mediador, com base em perguntas pré-estabelecidas, fomentou as discussões entre os alunos.

4.1.8 Aula 6 da SD

A sexta aula foi norteada pelo **texto 06** (ANEXO G), partindo de pressupostos teóricos relevantes ao entendimento dos efeitos ligados à visualização dos corpos a altas velocidades. Enunciou-se o significado do adjetivo “restrita” na TRR, além de analisar teoricamente os postulados de Albert Einstein.

Os efeitos estudados foram a contração dos espaços, Rotação de Terrell e o movimento de uma esfera através de um pequeno ângulo visual, estudada por Penrose.

² Conferir slides da Aula 5, no Anexo B.

Em seguida, ocorreu o momento de reflexão, utilizando uma ilustração que exibe distintas possibilidades de como seriam vistas determinadas situações por um observador inercial³. Após os diálogos foi trabalhada a visualização da TRR, que versou sobre os efeitos relativísticos. Inicialmente analisou-se o Efeito da Contração de Lorentz, de forma teórica e ilustrativa, e as contribuições de Roger Penrose e de Terrell.

Ao final da aula teórica, ocorreu outro momento de reflexão, a partir da exibição de duas ilustrações clássicas do físico George Gamow retiradas de sua obra “As Aventuras do Sr. Tompkins”⁴, retratando ludicamente o efeito relativístico da Contração de Lorentz de diferentes observadores inerciais.

Em seguida, aplicou-se a **atividade prática 1**, que consistiu na exibição de vídeos de curta duração que ilustravam imagens vistas por um observador inercial em alta velocidade, a qual progredia aos poucos aproximando-se da velocidade da luz (FIGURAS 9 e 10). Fora utilizados óculos de RV e os vídeos editados de forma a serem exibidos sem interrupções, ao longo de poucos minutos, para que todos os envolvidos tivessem a oportunidade de experimentar o instrumento, que recriava a sensação visual de como seria se cada participante estivesse, de fato, se locomovendo em altas velocidades. Os diálogos e explanações ocorridos nos momentos das utilizações foram registrados em áudio para análises posteriores.

Figura 9 – Captura de tela de vídeo de um passeio a 72% da velocidade da luz



Fonte: Doolin (2011).

³ Conferir slides 17 e 18 da Aula 6, no Anexo B.

⁴ Conferir slides 17 e 18 da Aula 6, no Anexo B.

Figura 10 – Captura de tela de vídeo de um passeio a 97% da velocidade da luz



Fonte: Doolin (2011).

Verificou-se a relevância desta prática, já que sem a utilização do instrumento mediador mencionado, não se poderia perceber visualmente os efeitos, que só podem ser recriados de forma gráfica utilizando *softwares* computacionais específicos.

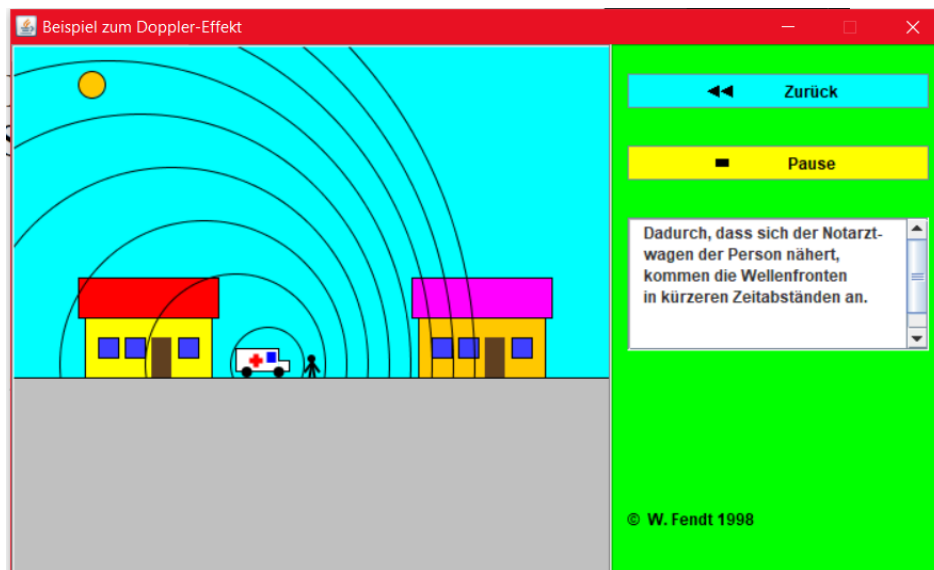
4.1.9 Aula 7 da SD

Na sétima aula, o conteúdo foi trabalhado de forma prática e teórica, com o auxílio do texto 07 (ANEXO H), instrumento norteador e consultivo disponibilizado para os alunos, que puderam conhecer o fenômeno denominado “Efeito Doppler Relativístico”.

Inicialmente, partiu-se dos preceitos históricos dos cientistas envolvidos. Em seguida, realizou-se atividade prática que se utilizou do instrumento do **simulador 02** (FIGURA 11), que permitiu aos alunos visualizar o movimento das frentes de ondas que chegavam e se afastavam do observador, estabelecendo-se assim uma analogia do Efeito Doppler Relativístico com a utilização de uma ilustração que exibiu a oscilação de frequências de aproximação e afastamento⁵.

⁵ Conferir slide 10 da aula 7, no Anexo B.

Figura 11 – Captura de tela de simulação de efeitos das ondas mecânicas



Fonte: University of Colorado (acesso em 10 fev. 2019).

Em seguida, aplicou-se a **Atividade Prática 02** que novamente utilizou-se dos óculos de RV, no qual os alunos tiveram a oportunidade de visualizar vídeos (FIGURAS 12, 13, 14 e 15) editados e contínuos de curta duração como os outros já trabalhados, acrescentando-se ao final, a exibição complementar de imagens relacionadas de forma a promover a um momento mais minucioso sem o movimento, no qual o aluno pudesse analisar todo o panorama visual do efeito. Os alunos assim puderam confrontar os conhecimentos adquiridos ao longo das aulas de modo geral.

Figura 12 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Doolin (2011).

Figura 13 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Doolin (2011)

Figura 14 – Captura de tela de vídeo que exhibe o Efeito Doppler Relativístico e o da aberração da luz



Fonte: Vídeo... (2011).

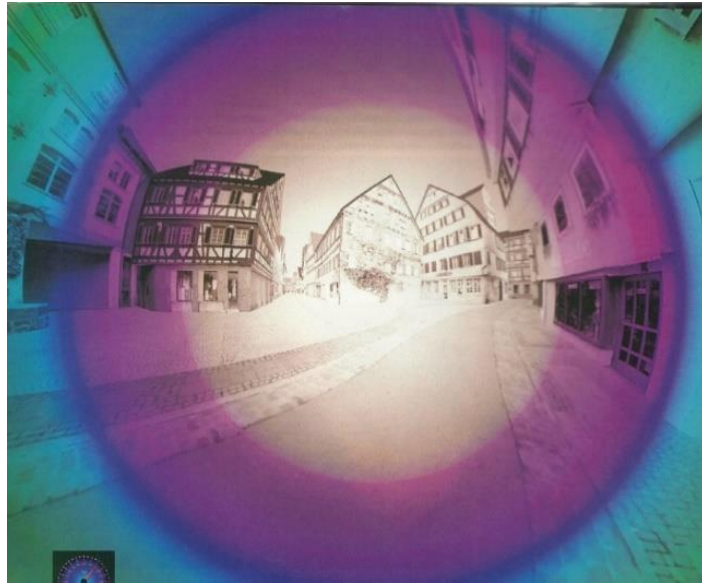
Figura 15 – Captura de tela de vídeo que exhibe a Rotação de Terrell



Fonte: Vídeo... (2011).

Para reforçar o entendimento dos efeitos estudados, foram utilizadas as Figuras 16 e 17, que retratam o efeito Doppler Relativístico de forma estática, dando margem ao aluno para analisar mais detalhadamente pontos não observados durante a imagem em movimento.

Figura 16 – Ilustração do Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Relatividade... (2007).

Figura 17 – Ilustração do Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Relatividade... (2007).

As aulas nas quais foram disponibilizados os óculos de RV (FIGURA 18) acabaram se tornando momentos de descobertas e inovação, quando os alunos tiveram a oportunidade de constatar todos os conceitos trabalhados de forma teórica, exibidos virtualmente. As sensações transmitidas e expostas por eles foram de curiosidade, ao longo da sequência de vídeos exibidos, e de fuga da realidade, por mexer com o cognitivo deles naquele momento, já que se produziram situações surreais e inesperadas.

Figura 18 – Fotos de alunos utilizando óculos de RV



Fonte: acervo do autor.

No âmbito da pesquisa, as finalidades eram investigar as potencialidades deste instrumento de mediação de proporcionar uma interação dialógica entre os alunos e o objeto de estudo, que foram os efeitos relativísticos. Observou-se motivação dos estudantes em compreender os fenômenos exibidos via óculos de RV.

Com o intuito de induzir os diálogos, foram utilizadas perguntas norteadoras pré-estabelecidas pelo professor mediador, contando com a intervenção dos alunos mais capazes com outros questionamentos, criando-se um ambiente de reflexões e sistematização de conhecimentos científicos, de forma qualitativa. O professor quem promoveu o ambiente de interação por meio de indagações que ocorriam no aproveitamento das respostas e dúvidas que surgiram ao longo do processo.

Concluiu-se com a entrega de questionário (APÊNDICE H), no qual os alunos puderam, de forma objetiva e subjetiva, expor os conhecimentos adquiridos ao longo do processo ora descrito.

4.1.10 Aula 8 da SD

Nesta última aula, os alunos conheceram um dos aplicativos mais utilizados e disponibilizados para os *smartphones*, com a funcionalidade similar à dos luxímetros (equipamento não disponível na escola), e outro que auxiliou na conversão das unidades ligadas a iluminação, mais especificadamente, a conversão de “lux” para “watts”, com base em alguns parâmetros específicos. Os aplicativos foram baixados anteriormente, para não interferir no andamento da aula. Os alunos passaram a entender que os aparelhos celulares (*smartphones*), podem ser grandes aliados no aprendizado de diversas temáticas, sem grandes gastos e com diversas aplicabilidades.

O objetivo desta prática foi mostrar a relação entre a potência das lâmpadas e o número de fótons emitidos por elas. Com isso, os alunos puderam confrontar as potências oferecidas e a luminosidade que de fato é oferecida através da emissão de fótons. Inicialmente, os alunos foram divididos em grupos com o **máximo 5 componentes**, e cada grupo utilizou o aplicativo “**Medidor de luz O2 LED**” (Imagem 17), que atualmente está entre os mais bem avaliados na plataforma **PlayStore** encontrado nos smartphones que possuem o sistema operacional Android.

Figura 19 – Captura de tela do aplicativo Medido de Luz O2 LED



Fonte: acervo do autor.

O aplicativo possui a tecnologia de registrar a **iluminância (ou iluminamento)**, e os valores obtidos são informados na unidade “lux”.

Em seguida, ocorreu uma breve aula teórica, norteada pelo **texto 8** (ANEXO I), o qual serviu para que os alunos conhecessem algumas definições relevantes sobre a luz, como: iluminância, luminância, potências, número de fótons emitidos por lâmpadas de diferentes potências.

O aplicativo que serviu para a conversão das unidades “lux” para “watts” foi o **“Cálculo de Iluminação v4.0.0** (FIGURA 20), criado por Ettore Gallina e disponibilizado gratuitamente na plataforma PlayStore, para os *smartphones* com a tecnologia Android. O uso dele foi motivado pela inexistência de equipamentos que simplesmente registrem a emissividade de luz no tocante ao comprimento de onda, já que é praticamente impossível se prever a emissividade de luz.

Figura 20 – Captura de tela do aplicativo Cálculo de Iluminação v4.0.0



Fonte: acervo do autor.

Portanto, a prática foi de extrema relevância, já que, por meio dela, os alunos puderam analisar quantitativamente outros aspectos da luz e demais conceitos ligados ao cotidiano.

4.1.10.1 Observâncias almeçadas e internalizadas durante a prática

- Verificou-se que as potências não estão ligadas à intensidade luminosa, mas ao consumo de energia;
- Constatou-se a relação entre as necessidades luminosas em alguns ambientes, com as lâmpadas minimamente recomendadas para cada necessidade luminosa, remetendo à economia no consumo de energia elétrica;
- Quantificou-se a relação entre número de fótons emitidos e as energias relacionadas a cada lâmpada.

4.1.10.2 Roteiro da atividade experimental

Os alunos fizeram as medições e preencheram **tabelas** elaboradas para atividade, sendo utilizadas diferentes lâmpadas com **potências distintas**. O objetivo desta prática foi encontrar o número aproximado de fótons emitidos por cada uma das lâmpadas e verificar os fatores que influenciaram os resultados. Com isso, os alunos puderam analisar os diferentes aspectos da luz emitida por cada uma das lâmpadas. As etapas da atividade foram as seguintes:

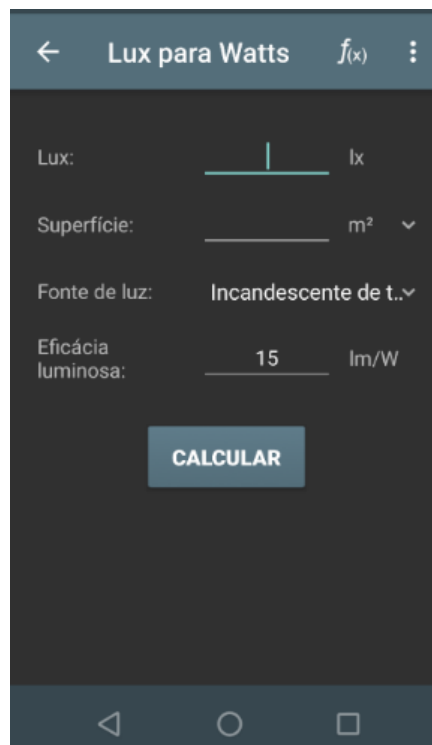
- a) **Etapa 1:** os grupos registraram na **tabela 1**, na coluna “**MODELO DE APARELHO UTILIZADO**”, da tabela mencionada, as informações sobre o *smartphones* utilizados por eles nesta aula. Também foram verificadas as especificações das lâmpadas analisadas, que normalmente encontram-se em destaque na embalagem ou na própria lâmpada, sendo as respectivas potências nominais registradas na coluna “**POTÊNCIA DA LÂMPADA REGISTRADA (nominal)**”.
- b) **Etapa 2:** os aparelhos com o sensor **RGB**, também “[...] chamado de sensor de luminosidade, que mede a intensidade da luz do ambiente” (MEYER, 2015), sobre a base do experimento, sem vibrações e evitando-se sombras no sensor, lembrando que o ambiente precisou estar o menos iluminado possível, para que não influenciasse os resultados. Em seguida, os registros da “iluminância” registrada pelo aplicativo foram registrados na **tabela 1**, na coluna “**ILUMINÂNCIA REGISTRADA PELO APLICATIVO (lux)**”. Cada aparelho poderia possuir um posicionamento diferente do sensor, mas a maioria possuía as mesmas especificações.
- c) **Etapa 3:** os alunos analisaram quantitativamente as informações registradas na tabela, na coluna “**POTÊNCIA DA LÂMPADA REGISTRADA (Nominal)**”. Após a verificação nominal, os alunos utilizaram a Equação 1 para a obtenção de forma diretamente proporcional à Energia (E_n) que é produzida, registrando na **tabela 2**, na coluna “**ENERGIA PRODUZIDA (Nominal)**”.

Equação 1

$$P = \frac{E_n}{t}$$

- d) **Etapa 4:** Com os registros da coluna “**ILUMINÂNCIA REGISTRADA PELO APLICATIVO (lux)**”, os alunos fizeram as conversões das medidas de “lux” para “watts”, com o auxílio do aplicativo “**Cálculo da iluminação**” (FIGURA 20), baixado anteriormente. Os resultados convertidos em watts foram registrados na **tabela 2**, na coluna “**ENERGIA DO FÓTON (E_R)**”.

Figura 20 – Captura de tela do aplicativo Medido de Luz para conversão de “lux” para “watts”



Fonte: acervo do autor.

- e) **Etapa 5:** finalmente, com os respectivos valores da Energia Nominal (E_n), divididos pela Energia do Fóton (E_R), os alunos descobriram o quantitativo do número de fótons que as lâmpadas emitiram por segundo, aplicando a **Equação 2**, registrando em seguida na **Tabela 2**, na coluna “**NÚMERO DE FÓTONS EMITIDOS POR SEGUNDO (n)**”.

Equação 2

$$n = \frac{E_n}{E_R}$$

4.2 OS INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS UTILIZADOS

Os dados foram coletados por intermédio dos questionários aplicados ao longo da SD, dos registros de áudios feitos durante os momentos de diálogos incentivados e espontâneos, e dos resultados das práticas experimentais, durante as quais os alunos tiveram que inserir e calcular quantitativamente variáveis. A maioria dos instrumentos utilizados foram elaborados pelo professor mediador, e outros foram colhidos e pesquisados em livros, revistas e exames nacionais.

4.2.1 Questionário diagnóstico inicial

O questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A) foi aplicado antes da primeira aula (FIGURA 21), com o objetivo de direcionar os trabalhos e conhecer os conceitos prévios dos alunos a respeito do entendimento sobre a luz. Com isso, identificou-se quais aspectos deveriam ser estimulados e delineados de forma qualitativa para a inserção dos conhecimentos científicos relacionados ao tema. Também foi possível pensar na linguagem adequada o entendimento da TRR.

Limitou-se o quantitativo de perguntas a apenas duas, diretas e subjetivas, que permitiram perceber, individualmente, algumas peculiaridades na dificuldade no entendimento do conceito em questão.

Figura 21 – Foto de aplicação do questionário prévio ao início da SD



Fonte: acervo do autor.

4.2.2 Simuladores como ferramentas de ensino

Os simuladores, como instrumentos de mediação nas práticas desenvolvidas na SD, serviram como complementação das aulas teóricas, favorecendo a internalização sistemática dos conhecimentos. Foram utilizados experimentais virtuais⁶ que evidenciaram a teoria ondulatória de Young, com a simulação de seu experimento da “dupla fenda”, e outro que recriava visualmente as frentes de ondas mecânicas, simulando as oscilações de frequências do efeito Doppler do Som, que não poderia ter sido reproduzido fisicamente sem o auxílio ilustrativo deste, por se tratar de algo imperceptível visualmente, mas notável na sensação audível.

Na simulação da “fenda dupla”, os alunos puderam verificar o comportamento das frentes de onda. O professor mediador variava o quantitativo de fendas, com apenas uma fenda exibindo apenas um ponto de luz mais intenso, enquanto em duas ocorria o fenômeno chamado de interferência de onda, que consistia no encontro de frentes de ondas. Na região que ocorria o encontro, a intensidade de luz era maior, e na região onde não ocorria, a interferência ficava escura. Poderia ser aumentada ou diminuída a largura da fenda, como também trocado o feixe por partículas como elétrons, verificando-se assim o comportamento corpuscular da luz.

O outro simulador exibia virtualmente, de forma prática e ilustrativa, as frentes de ondas mecânicas, dando para entender intuitivamente a variação das frequências e, conseqüentemente, os comprimentos de onda no afastamento e na aproximação da fonte sonora.

4.2.3 O uso de GIFs na prática pedagógica como alternativa lúdica

A utilização de GIFs na prática pedagógica se tornou uma excelente alternativa, os quais, de acordo com Guinski (2017, p. 3), consiste em

[...] arquivos animados que comportam várias imagens executadas automaticamente em sequência por navegadores de Internet ou outros programas.

⁶ Ambos experimentos (Fenda Dupla e Efeito Doppler do Som) foram encontrados gratuitamente na plataforma do PHET da Universidade do Colorado, através do link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/quantum-wave-interference.

Criado pela CompuServe em 1987 [...] Uma das características do GIF animado é que ele pode ser executado em loop com um número definido de repetições ou para sempre, como no caso de Bol. Em que [...] Loop é a repetição de uma sequência de imagens ou sons, sem interrupção ou variação.

Já o GIF animado, segundo Coelho e Matos (acesso em 8 ago. 2018) é:

[...] é a consequência do armazenamento de uma série de animação em um único arquivo com a possibilidade de se alternar entre elas uma determinada velocidade; após ser carregada, a animação é executada direto do cache; o esforço para o browser é bem menor e não há esforço extra para o servidor uma vez que o arquivo é tratado como qualquer outro arquivo gráfico.

Percebeu-se que, como instrumento voltado à sistematização de conceitos, os simuladores se tornaram uma ferramenta valiosa e imprescindível, já que sua utilização facilitou a assimilação da teoria e demonstrou eficácia na internalização dos conhecimentos, por se tratar de um recurso que recria situações e exemplifica conceitos, teorias e fenômenos de modo intuitivo e ilustrativo, principalmente os ligados ao cotidiano dos discentes.

4.2.4 Processo de análise da SD

A aplicação da SD foi avaliada a partir dos registros de áudios gravados das discussões ocorridas ao longo dos momentos de aula e das respostas manuscritas dos questionários aplicados, com o objetivo foi averiguar de forma qualitativa o entendimento dos alunos e a evolução deles para intervir mais especificadamente ou não nos momentos de diálogo, modelando-se os conceitos espontâneos em conhecimentos sistematizados.

4.2.5 A gravação das aulas

Para garantir os registros de todas as informações relevantes à pesquisa, todas as aulas da SD foram gravadas em áudio. Como a turma era composta por menores de idade, antes do início da atividade, foi solicitada autorização dos responsáveis legais pelos alunos, por meio da assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO C).

Esses registros foram analisados, no tocante às explicações e discussões ocorridas durante a SD. Eles foram importantes na identificação dos alunos mais capazes, que demonstraram maior poder de assimilação dos conceitos ao longo do processo, surgindo, assim, os parceiros que auxiliavam o professor no processo de ensino e aprendizagem.

4.2.6 A utilização da RV em sala de aula

Nas aulas 6 e 7, houve a intervenção mediada pelo uso óculos de RV, utilizados para a visualização de vídeos que retratavam a TRR⁷, que serviram como único instrumento prático para recriar as condições e atributos ideias que evidenciam os efeitos relativísticos, tais como: a contração dos espaços, o efeito Penrose, efeito Terrell e o efeito Doppler da luz.

A RV é, nesse contexto da Física Moderna, um instrumento eficaz e metodológico de suma importância para abordagens que exijam recriar situações não perceptíveis aos olhos humano, já que temas como a TRR fogem do habitual, não podendo ser apresentados em laboratórios tradicionais. Dessa forma, temos na RV um “[...] conjunto que reúne especificidades e atributos que a tornam a ferramenta ideal para as múltiplas situações e contextos de pesquisa e aprendizagem” (BRAGA, 2001, p. 4).

4.2.7 A aplicação de situações-problema no processo

No processo pedagógico foi de fundamental importância a elaboração de situações, em que o aluno pudesse opinar, questionar e refletir. Elas favoreceram a identificação dos colegas mais capazes, já que promoveram inúmeros momentos de discussões mediadas, que por muitas das vezes estavam ligadas ao cotidiano do aluno, dando oportunidades aos alunos de exporem suas conclusões e estas serem confrontadas ou delineadas ao longo do processo.

⁷ O vídeo utilizado para visualização dos efeitos da aberração da luz, rotação de Terrell e Doppler da Luz foram baixados gratuitamente através do *link*: <http://spacetoday.com.br/video-mostra-quais-seriam-os-efeitos-de-se-viajar-proximo-a-velocidade-da-luz/>. Outro vídeo utilizado para visualização do efeito Terrell, que consistia na visualização de “dados” que viajam a 0,9.c, foram baixados gratuitamente através do *link*: <https://www.spacetime travel.org/filme/wuerfelketten/wuerfelketten-xe-320x240.mp4>.

De acordo com Ferreira (2014, p. 3) “[...] as situações problema são fundamentais para levar o aluno a pensar por si próprio, possibilitando o exercício do raciocínio lógico e não apenas o uso padronizado de regras”.

4.2.8 A valorização do parceiro mais capaz na sala de aula

Constata-se que todos necessitam de outros sujeitos para adquirir o *status* de seres humanos, já que é quando se adquire a linguagem que, de fato o, sujeito passa a estar inserido no contexto social. Para isso, é preciso de outros para transmitir e socializar na construção dessa linguagem, já que o convívio social é algo dinâmico e inevitável, e, a partir desse convívio, intervenções em prol do aprendizado ocorrem, ao longo da vida.

Entende-se que os processos de interação poderão potencializar a aprendizagem e que os colegas mais capazes que, inicialmente assimilaram os conteúdos, podem direcionar os menos capazes a adquirirem aquele conhecimento. O papel de parceiro acontece, segundo Rezende, Ostermann e Lima (2009, p. 2),

[...] por meio de iniciações e avaliações, o professor conduz a atividade dos estudantes. Assim, quando algum estudante consegue engajar seus colegas em uma interação do tipo Iniciação-Resposta-Avaliação (I-R-A), temos um indício de que ele está exercendo o papel de parceiro mais capaz.

No contexto educacional, as relações com o sujeito mais capaz são de extrema importância, como exposto por Zanella (1994, p. 105) ressalta:

[...] em seus estudos sobre a ZDP, Vygotsky (1984) aponta que tanto o adulto quanto o parceiro mais experiente exercem importante papel no desenvolvimento da criança, pois auxiliam na resolução de problemas que a criança não consegue, de forma autônoma, solucionar. Assim, para Vygotsky, há a concepção de que o sujeito menos experiente necessariamente aprende, seja na interação com um adulto, seja na interação com um parceiro mais experiente. [...] a situação se modifica na medida em que é possível que, nem sempre, o parceiro mais experiente seja, igualmente, o mais confiante e seguro de seus próprios conhecimentos.

Verificou-se como fundamentais e imprescindíveis as intervenções dos alunos que, ao longo das aulas, manifestaram dúvidas ou explanaram seus “pontos de vista”, a

partir dos momentos reflexivos, destinados aos diálogos entre os participantes, quando os envolvidos no processo auxiliavam o professor mediador. Contudo, houve momentos nos quais o professor precisou intervir, mesmo junto àqueles que demonstravam maior capacidade na assimilação, tendo que delinear seus posicionamentos ainda não sistematizados. Como sugere Magalhães (1996 apud BERNI, acesso em 8 ago 2018, p. 8),

[...] A instrução efetiva, isto é, a que resulta em aprendizagem, pressupõe que o professor tenha avaliado os dois níveis de desenvolvimento de seus alunos, isto é, as atividades em que agem independentemente e as em que necessita da participação do outro para agir e que é onde deve situar a instrução.

A figura dos alunos mais capazes é de auxiliar no processo de instrução. Nos momentos que o professor mediador auxiliava um determinado aluno, os mais capazes passavam os seus entendimentos para os menos capazes e assim ocorreu ao longo do processo.

Ocorreram maiores dificuldades nas aulas iniciais, que priorizavam práticas teóricas tradicionais, momento nos quais os mais capazes atuavam nas intervenções, com a utilização de outras linguagens, que conduziam os menos capazes ao conhecimento sistematizado.

4.2.9 A aplicação do lúdico no processo de aprendizagem

Percebeu-se que, ao longo do processo de internalização dos conhecimentos, situações que envolviam o uso de ilustrações, como GIFs, figuras, imagens e demais instrumentos lúdicos de intervenções, tornavam o ambiente favorável a discussões.

Como toda esta transformação não ocorre de uma só vez, será necessário investir muito no campo lúdico para desenharmos um ambiente favorável ao desenvolvimento, até porque “o brinquedo cria uma zona de desenvolvimento proximal da criança. No brinquedo, a criança sempre se comporta além do comportamento habitual de sua idade, além de seu comportamento diário; no brinquedo é como se ela fosse maior do que é na realidade. Como no foco de uma lente de aumento, o brinquedo contém todas as tendências do desenvolvimento sob a forma condensada, sendo, ele mesmo, uma grande fonte de desenvolvimento (BERNI, acesso em 8 ago. 2018, p. 8).

O objetivo de criar questões nesse contexto foi promover motivação por meio de signos internos. De acordo com Kaulfuss 2015, p. 9-10),

[...] signos internos [são] representações mentais que substituem os objetos do mundo real. A capacidade de lidar com representações que substituem o próprio real é que possibilita ao homem libertar-se do espaço e do tempo presentes, fazer relações mentais na ausência das próprias coisas, imaginar, fazer planos e ter intenções.

5 ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo descreve-se a análise dos dados que foram coletados por meio da aplicação dos instrumentos mencionados na seção 4.2.

Na seção 5.1 são apresentados os dados inerentes às respostas subjetivas do **questionário diagnóstico inicial**, aplicado antes da SD. Em seguida, na seção 5.2, são descritos os resultados das análises dos **questionários aplicados nas aulas 1 a 3**, momentos nos quais os alunos aprimoravam seus conhecimentos sobre a natureza da luz e elaboravam suas conclusões na sistematização desses conceitos.

Na seção 5.3, verifica-se as respostas dos **questionários referentes às aulas 4 e 5**, nas quais os sujeitos da pesquisa passaram a conhecer os conceitos e teorias relacionadas aos movimentos dos corpos em altas velocidades. Já na seção 5.4, são analisadas as perguntas destinadas à verificação qualitativa acerca da opinião dos alunos sobre alguns pontos da pesquisa, além da aplicação do **questionário final**, referente a todas as aulas, com perguntas subjetivas e objetivas, que retrataram conceitos espontâneos e científicos adquiridos ao longo do processo.

Na seção 5.5, são analisados os momentos de intervenções e discussões instigadas pelo professor e pelos alunos durante toda a SD, com base nos registros das gravações de **áudio**. Posteriormente, na seção 5.6, discorre-se sobre os registros manuscritos, feitos pelo professor, decorrentes da **aplicação de instrumentos lúdicos e animados durante as aulas**, instrumentos estes que complementaram e delineararam os conceitos ao longo das aulas.

A seção 5.7 traz a análise dos **simuladores de experimentos virtuais**, que consistiram na demonstração de experimentos reais e inimagináveis aos olhos humanos, estabelecendo relação entre teorias e práticas. Finalmente, na seção 5.8, consta a análise dos resultados obtidos com a **aplicação dos óculos de RV e suas implicações para o ensino da TRR**.

5.1 ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO INICIAL

O questionário diagnóstico inicial (APÊNDICE A) foi aplicado antes do início da aula, para alunos do 1º ano do ensino médio, sujeitos desta pesquisa. Objetivando praticidade e objetividade na análise, foram entregues apenas duas questões, com respostas subjetivas, para cada sujeito.

A primeira questão (Q1) versou sobre o que os alunos pensam sobre “o que é a luz”, por ser fundamental para esta pesquisa conhecer as concepções iniciais de cada um, de modo a delinear os demais trabalhos.

Aproximadamente 48% dos alunos relacionaram suas respostas ao cotidiano, citando “lâmpadas” e o “Sol” como fontes luminosas, ou seja, a concepção inicial sobre o que é “luz” é algo visual, que sempre podemos enxergar. Cerca de 39% dos respondentes afirmaram ser uma forma de “energia” ligada à natureza ou algo artificial. O restante, 13%, relacionou o conceito a um tipo de “radiação”, “reação química” e o definiu como “um tipo de matéria”. Percebeu-se que os alunos entendem a importância da luz para a vida, não apenas como meio de “iluminação”, mas também como recurso que ajuda na “produção de vitaminas”.

Destaca-se que a maioria dos sujeitos atribui ao conceito a característica de algo que pode ser visualizado, e que nenhum aluno manifestou a possibilidade de existência de outros tipos de “luz”.

Com a segunda questão (Q2), intencionou-se verificar os conhecimentos dos alunos a respeito do célebre cientista Isaac Newton, ao querer saber se em algum momento de suas vidas, já teriam “ouvido falar” ou “estudado” algo sobre ele. Todos os alunos indicaram que já estudaram e que também ouviram falar sobre o cientista. Porém isso ocorreu, exclusivamente, no ambiente escolar. De acordo com eles, nas séries anteriores foram abordados conceitos ligados à mecânica e à gravitação, que guardariam relação com os estudos de Newton.

Conclui-se que os conceitos adquiridos ao longo das vidas dos sujeitos da pesquisa não foram internalizados, já que muitos confundiram feitos de outros cientistas com

os de Newton, e vice-versa, a exemplo da confusão entre as teorias de “Dalton”, ligadas a atomística, o que pode estar relacionado à semelhança entre os sufixos dos nomes, passando a ideia de que eles decoraram os conceitos, que ao longo dos anos, se dissolveram.

5.2 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS APLICADOS NAS AULAS 1 A 3

Logo após a aula 1 foi aplicado questionário (APÊNDICE B), composto por duas questões, no qual os sujeitos da pesquisa puderam reavaliar ou não os seus conceitos sobre a “luz”.

Na primeira questão (Q1) procurou-se saber se ocorreram mudanças sobre suas concepções iniciais sobre a “luz”. Verificou-se que 58% dos alunos mudaram de opinião sobre seus conhecimentos prévios, já que responderam que “sim”, indicando reformulando suas concepções adquiridas previamente.

Um dos conceitos que sofreu alterações foi o pensamento que a “luz” seria “matéria”, passando a entender que é “energia” e que pode ser transferida. Como também passaram a compreender que existem outros tipos de “luzes”, que não podemos enxergar, assim foram apresentados ao espectro eletromagnético. Um dos exemplos que se mostrou eficaz para essa alteração de conceitual foi o do “ferro de passar roupas”, que no escuro possibilita a visualização de uma luminosidade na tonalidade verde, em decorrência da emissão da onda infravermelha.

Perceberam também a importância da prática experimental, a partir de experimento proposto por Newton que proporcionou entendimento e reflexão sobre os pensamentos corpusculares da luz.

Conclui-se que alguns dos alunos passaram a compreender “luz” de outra maneira. Porém, um grupo menor não aceitou a existência de outros tipos, acreditando ainda ser algo “visível” aos seres humanos.

Nas respostas da segunda questão (Q2), sobre os pensamentos corpusculares da luz, verificou-se que todos os sujeitos concordam com Newton sobre o comportamento corpuscular da luz. Porém percebe-se que essa afirmação está ligada diretamente à bibliografia de Newton, passada na aula, dando a ideia de que todos os seus pensamentos são solenes e plenos, sem objeções aos seus conhecimentos. Verificou-se que seu “experimento do prisma” foi algo único e revelador, consolidando os pensamentos corpusculares. A exibição do vídeo que recriou o experimento realizado por Newton serviu como instrumento facilitador na sistematização das concepções.

Na utilização da animação das “bolinhas”, o professor mediador do processo pode inserir de forma lúdica o fenômeno da reflexão da luz, no qual as bolinhas se movimentavam de forma análoga a bolas de esportes conhecidos, facilitando a sistematização deste conceito, por lidar com uma situação do cotidiano do aluno.

Sobre esta questão, conclui-se que a representatividade histórica de Newton fez com que os sujeitos da pesquisa entendessem que a teoria corpuscular seria única e definitiva, não sendo suscetível a alterações.

Após a aula 2, foi aplicado questionário (APÊNDICE C) que versou sobre os pensamentos ondulatórios da luz. Em sua primeira questão (Q1) faz um comparativo entre a “luz” e uma “bolinha de gude” e pergunta se, nesse caso, o efeito ondulatório ocorreria. Houve cerca de 64% de alunos que responderam “não”, o efeito ondulatório não seria o mesmo, demonstrando que sistematizaram os conceitos, já que perceberam que, dependendo de como fosse feita a observação dessas partículas o efeito poderia ocorrer de maneira diferente.

Essas mudanças de concepções tiveram como instrumento modificador a exibição do vídeo 2 (FIGURA 4), que promoveu um momento lúdico que ilustrou fielmente o experimento da Fenda Dupla de Young. Este recurso veio a fomentar o aprendizado qualitativo gerando um ambiente de discussão e questionamentos que acabaram desconstruindo os conhecimentos corpusculares já sistematizados e internalizados nos sujeitos, que perceberam que a fortuna crítica que leva ao entendimento atual de como a luz se comporta é mais complexa.

Os alunos demonstraram ter percebido que o comportamento da “luz” dependeria do “experimento” utilizado para a observação, o que os instigou a outros direcionamentos de pensamentos, ou seja, passaram a acreditar que muitas outras teorias poderiam surgir.

Cerca de 84% dos respondentes acreditam que o comportamento ondulatório promove um “espalhamento” da “luz”, caracterizando o fenômeno da interferência, evidenciando que entenderam o fenômeno e que este só ocorre quando o comportamento é ondulatório.

No que se refere à exibição do vídeo 2, utilizando como instrumento de mediação, percebeu-se que os alunos se mantiveram atentos a ele e acabaram estabelecendo maior interação entre seus pares. Contudo, aproximadamente 10% dos sujeitos, ainda permaneceram confundindo os conhecimentos corpusculares e ondulatórios.

Já na utilização da animação observou-se a desconstrução de conceitos, pois a partir da analogia com as “bolinhas de gude” os sujeitos passaram a acreditar que a “luz” é um tipo de matéria, afetando a sistematização dos conceitos delineados anteriormente. Outro ponto negativo na utilização da animação em questão foi que a analogia transmitiu a alguns deles a ideia de que os fótons se assemelhariam a “bolinhas”, tendo “formato” esférico, quando, na verdade eles teriam formato de “raios” e “bastões”. Com isso conclui-se que determinadas analogias e comparações podem distorcer concepções em fases evolutivas.

A segunda questão (Q2) procurou saber se os sujeitos concordavam com os pensamentos ondulatórios de Young. Cerca de 96% dos respondentes mudaram suas concepções adquiridas anteriormente. Acredita-se que a expressiva mudança de concepções foi decorrente da complexidade dos instrumentos utilizados na aula, tais como as animações e os simuladores virtuais, que passaram a ideia de “evolução” dos saberes. Porém, aproximadamente 4% dos alunos manteve os pensamentos sobre a teoria corpuscular de Young.

Com base nas respostas do questionário aplicado ao final da aula 2, conclui-se que a utilização de ilustrações, simuladores e animações, como quaisquer outros instrumentos lúdicos ou não, mas principalmente aqueles que estabeleçam relação com situações do cotidiano do aluno, podem conduzir significativamente à sistematização de conceitos.

Após a aula 3, foi aplicado questionário (APÊNDICE D) com o intuito de verificar o entendimento adquirido sobre a dualidade onda-partícula, com duas questões diretas e investigativas.

A primeira questão (Q1) trouxe, de forma objetiva, a análise de duas proposições julgando-as como verdadeiras ou falsas. A primeira proposição (P1) indagou se quando a luz se apresenta, em determinados fenômenos, de forma ondulatória, e em outros, corpuscular, se tal comportamento revela o caráter dual da “luz”. Todos responderam como verdadeira, verificando-se que houve compreensão dessa associação entre os pensamentos.

Já a segunda proposição (P2) indagou se outras partículas quânticas, como os elétrons, possuíam propriedades ondulatórias, ao que cerca de 71% respondeu como verdadeiro. Tal levantamento demonstra que a inserção de recursos virtuais gera mudanças de concepções acontece mais rapidamente, por promover uma relação entre a teoria e a prática de forma dinâmica e inovadora, favorecendo a reconstrução de saberes de modo a conduzir ao entendimento científico dos conceitos.

Na segunda questão (Q2), solicitou-se explicação subjetiva do que eles entendiam sobre o comportamento dual da “luz”. A maioria dos respondentes disse que “dependia do experimento aplicado” e que cada “observação revelaria um comportamento diferenciado”, e complementaram dizendo que “os comportamentos não ocorreriam de forma simultâneas”, evidenciando que, após a aula, ocorreu uma sistematização dos conceitos e concepções adquiridas.

5.3 ANÁLISE DOS QUESTIONÁRIOS REFERENTES ÀS AULAS 4 E 5

As aulas 4 e 5 serviram para fornecer fundamentação teórica de conceitos fundamentais para sistematização dos efeitos relativísticos. Ao final delas foram aplicados questionários, cujos dados seguem analisados.

Na aula 4 procurou-se apresentar de forma lúdica os conceitos de “Referência inercial” e as “leis de Newton”, dando base teórica para os assuntos futuros. O questionário (APÊNDICE E) aplicado ao final desta aula apresentou duas questões.

A primeira questão (Q1) trouxe-se de forma ilustrativa e lúdica uma tirinha de história em quadrinhos, com dois personagens da “Turma da Mônica”, Cascão e Cebolinha, numa situação cotidiana (FIGURA 22). Ambos se encontram em uma situação cotidiana com a qual os alunos poderiam se relacionar. Questionou-se sobre o Cascão estar ou não em movimento em relação ao skate. Todos responderam que em relação ao skate não estava em movimento, mas sim em relação ao amigo Cebolinha. Com essas afirmações percebeu-se que todos os presentes na aula assimilaram os conceitos de referencial, sistematizando esse conhecimento, já que os sujeitos mais capazes acabaram incentivando discussões que promoveram vários exemplos, além do exposto na questão.

Figura 22 – Cascão andando de skate e Cebolinha o observando



Fonte: Brainly.com (acesso em 10 fev. 2019).

A segunda questão (Q2) apresenta múltiplas escolhas para completar a afirmação que trata se “todo movimento é relativo”. Cerca de 86% dos sujeitos marcaram a alternativa “a descrição de qualquer movimento requer um referencial”, demonstrando que

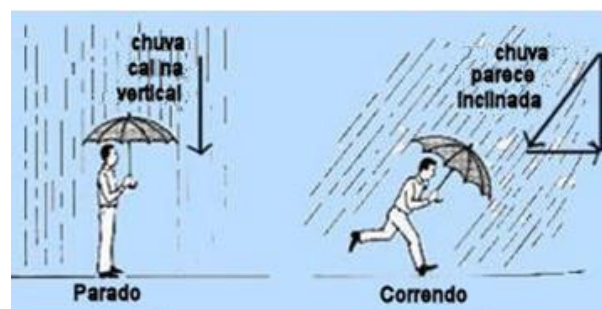
os trabalhos de sistematização dos conhecimentos tiveram expressiva representatividade nas utilizações destes instrumentos aplicados nesta aula.

Entende-se que a utilização dos GIFs foi eficaz nas demonstrações dos conceitos das leis de Newton, já que ambos retrataram temáticas do cotidiano. Verificou-se que temas relacionados ao cotidiano dos alunos contribuem para eles os aceitem mais facilmente, com poucos questionamentos. Também colaboram para sistematização mais facilitada dos conhecimentos, com maior tendência de internalização dos conceitos. E conceitos que são direcionados de forma lúdica, a exemplo da utilização das tirinhas da “Turma da Monica” para a sistematização do conceito de “referencial”, tendem a criar uma maior interação entre os sujeitos, tornando o ambiente da sala de aula mais participativo e motivacional.

Logo no início da aula 5 foi aplicado questionário (APÊNDICE F) que fazia alusão a um momento de reflexão sobre as ilustrações exibidas na apresentação feita em sala, de forma a conhecer as concepções acerca destas ilustrações.

A primeira questão (Q1) é baseada na exibição da Figura 23, que retrata um momento inerente ao cotidiano dos alunos, mostrando um homem parado com a chuva direcionada de forma vertical e, quando ele entrava em movimento, a chuva direcionava-se na diagonal. Questionou-se quais os motivos das diferentes visualizações. A maioria dos sujeitos informou, em resposta ao questionário, que era em virtude do “vento”; outros achavam que dependia do “ponto de vista” ou do “movimento realizado”, provocando a inclinação.

Figura 23 – Ilustração do movimento de alguém na chuva, correndo e andando



Fonte: Astronomia (2018).

A situação ilustrada pela Figura 23 promoveu momentos de discussões que foram além dos objetivos iniciais, sendo que os alunos questionaram também se “correndo” ou “andando” eles se molhariam mais ou menos. Em decorrência disso, o professor teve que intervir, dando margem a outros questionamentos e esclarecendo os fatos fisicamente. O professor informou que as questões são complexas e dependem de vários fatores, dentre os citados como exemplos estão: o “tipo de chuva”, a “densidade das gotas”, “se existia ou não vento” e outros que podem influenciar até mesmo a absorção das gotas, como o “corpo” ou as “roupas” utilizadas.

Assim, quando forem utilizadas situações ligadas ao cotidiano, o professor tem que se preparar para eventuais intervenções e questionamentos que podem fugir do contexto específico da aula, tendo que procurar meios de retomar à temática, não deixando de tentar prestar o máximo de esclarecimentos, de modo a não desmotivar as relações de interações mútuas.

A segunda questão (Q2) analisou-se a Figura 24, que faz alusão ao fenômeno da aberração da luz, o qual tem influência no movimento aparente do planeta. A maioria dos alunos atribuíram ao fato de o telescópio não ficar diretamente posicionado na direção da estrela, a necessidade de existir uma correção, estabelecendo-se um ângulo de $20,5^\circ$, situação inerente aos movimentos de rotação e translação do planeta. Percebe-se que todos analisaram o exemplo de forma intuitiva, remetendo a conclusões óbvias, mas sem nenhuma fundamentação teórica para suas afirmações.

Figura 24 – Situação de observação de uma estrela



Fonte: Astronomia (2018).

Ao final da aula 5 outro questionário (APÊNDICE G) foi aplicado, de modo a verificar as concepções adquiridas ao longo daquele momento. Para melhor aproveitamento dos trabalhos, o questionário aplicado teve apenas duas questões intuitivas e diretas, que demandaram dos alunos menos de 8 (oito) minutos para a resolução e devolução ao professor.

A primeira questão (Q1) retomou a Figura 24 para analisar as possíveis mudanças de concepções acerca do fenômeno da aberração da luz. Todos os alunos atribuíram a ele a diferença de ângulo de um raio de luz em diferentes referenciais inerciais, como também ao movimento do planeta. Percebeu-se que todos os sujeitos envolvidos neste momento assimilaram de forma satisfatória o entendimento do efeito visual mencionado.

Verificou-se que, ao se trabalhar com imagens que remetem a situações problema que envolvem desafios para os alunos, cria-se um ambiente favorável a intervenções e mediações no processo, aumentando a possibilidade de delineamento dos conteúdos e conseqüente internalização deles.

A segunda questão (Q2) suscita a análise de uma situação problema que trata de algo que foge do senso comum, a partir de questionamento baseado na Figura 25: “Se um observador está viajando no espaço sideral a uma velocidade muito alta, próxima à da luz, seria esta a visualização? Isso ocorreria por quê?”. Houve alunos que disseram que o que ocorre na imagem seria decorrente do “movimento dos planetas”, do “movimento do observador em relação as estrelas” e da “aproximação com a luz que está vindo em direção ao observador”.

Figura 25 – Aberração da luz



Fonte: Astronoo (2013).

Com isso, verificou-se que os sujeitos tiveram dificuldades para a sistematização dos conteúdos que fugiam do senso comum. Em decorrência disso o professor necessitou intervir, delineando os conceitos. Nos momentos de intervenção, o papel dos sujeitos mais capazes mostrou-se de extrema importância, já que eles ajudaram nas indagações e complementações das falas do professor, contribuindo para o entendimento dos conhecimentos passados na aula.

Os sujeitos mais capazes foram os alunos que se destacaram ao longo do processo da aplicação da SD, e aqueles que o professor tinha como “mais capazes” por já terem demonstrado anteriormente suas competências, e por se tratarem de alunos que, apesar de nunca terem estudado o tema, se preocuparam em estudar, pesquisar, conhecer e se envolver de modo geral com vários conteúdos, não somente o ministrado pelo professor, nas diversas áreas do conhecimento.

De modo geral, as dificuldades apresentadas acabaram promovendo diálogos e indagações que favoreceram a assimilação dos conhecimentos. Verificou-se que a simples utilização de instrumentos, tais como imagens estáticas ou mesmo a apresentação oral dos conceitos, não produziram a compreensão desejada dos efeitos da Rotação de Terrell, movimento dos corpos esféricos de Penrose e Doppler Relativístico, necessitando-se de outros recursos, com maiores possibilidades de imersão e interação visual, como os óculos de RV.

5.4 ANÁLISE DAS PERGUNTAS DE OPINIÕES E DO QUESTIONÁRIO FINAL

Decorridos **30 dias** das aulas da SD, foi aplicado questionário (APÊNDICE H) constituído de 6 (seis) perguntas objetivas, com o intuito tanto de verificar se de fato ocorreu internalização de alguns conceitos mais expressivos na pesquisa, quanto de coletar percepções a respeito do trabalho que foi desenvolvido com a turma.

A primeira pergunta (P1), verificou se, de modo geral, a utilização dos óculos de RV ajudou na compreensão dos efeitos da “Contração do comprimento”, “Rotação de Terrell” e “Doppler relativístico”. Todos os alunos responderam que sim, ratificando que o instrumento em questão foi significado no processo de ensino.

Com a segunda pergunta (P2), intencionou-se averiguar qual metodologia foi mais efetiva na explicação do efeito da “Contração dos Espaços”: a explicação teórica, a demonstração na lousa ou a visualização via óculos de RV. Cerca de 85% dos alunos assinalaram as opções de demonstração na lousa e explicação teórica, o que leva à conclusão de que este efeito não é notado de forma satisfatória nas exposições com os óculos de RV, já que, de fato, ele é quase imperceptível, mesmo com o uso do instrumento mencionado, pois envolve todos os efeitos relativísticos, acabando por não se destacar.

A terceira pergunta (P3) quis verificar qual metodologia favoreceu a compreensão do efeito da “Rotação de Terrell”, novamente trazendo como opções: a explicação teórica, a demonstração na lousa ou a visualização via óculos de RV. Aproximadamente 78% dos respondentes atribuíram à utilização dos óculos o entendimento dos conceitos; cerca de 18% acreditaram que a assimilação foi favorecida pela explicação teórica e 4% deles acreditaram que foi a demonstração visual na lousa.

Durante a utilização dos óculos de RV para abordagem do efeito da Rotação Terrell, foram registrados alguns questionamentos: “Professor, isso existe? ”; “Como ferro pode se envergar, sem ninguém fazer nada? ”; “Mas tudo se distorce assim? ”; “Mas volta ao normal, depois?”. Com base nesses registros das falas feitas durante a aula e nas respostas dadas ao questionário de coleta de opiniões, conclui-se que a transmissão desses conhecimentos de maneira teórica ou por meio de ilustrações estáticas, acabam não contribuindo para a sistematização do aprendizado, pois trata-se de fenômeno visual cuja abordagem necessita de ilustrações dinâmicas, já que os efeitos relativísticos fogem da perspectiva de normalidade visual humana. Nessa perspectiva, acredita-se que foi com os óculos de RV que se obteve maior sistematização de conhecimentos.

A quarta pergunta (P4) procurou verificar se o entendimento do efeito “Doppler Relativístico” se tornou mais sistematizado por meio da explicação teórica, da visualização de figuras na lousa ou com o uso dos óculos de RV. Cerca de 67% elegeram a visualização das ilustrações na lousa como metodologia favorável a maior compreensão do tema. Outros 29% optaram pela explicação teórica dos conceitos, e apenas 4% atribuíram a sistematização dos conhecimentos aos óculos de RV. As respostas foram

ao encontro das expectativas, pois as explicações teóricas já sistematizavam os conceitos, fato verificado pelo professor durante os diálogos decorrentes da utilização dos instrumentos de ensino. Porém, o uso dos óculos acabou complementando os conceitos já internalizados, anteriormente.

Dessa forma, conclui-se que a compreensão do efeito “Doppler Relativístico”, por parte da maioria dos sujeitos, foi decorrente da utilização das “ilustrações estáticas”; contudo, os demais instrumentos, como as animações e os óculos de RV, ajudaram no delineamento desse tema. Também houve momentos de objeções aos conceitos, já que muitos recordaram-se de personagens da ficção, tais como o Flash e o Superman, que têm suas performances ilustradas em cores, quando se movem em altas velocidades, o que não condiz com os efeitos relativísticos específicos. O professor pôde, então, aproveitar tal “erro” para tecer considerações que motivaram diálogos diversos, contribuindo satisfatoriamente para o entendimento dos conceitos.

A quinta pergunta (P5) buscou avaliar o quanto a utilização dos simuladores de experimentos virtuais ajudou na compreensão dos efeitos. Os sujeitos puderam expor, de forma qualitativa, se foi pouco, moderadamente ou muito. 54% disseram que os simuladores ajudaram moderadamente, e os 46% restantes disseram que muito, o que leva a crer na relevância da inserção de instrumentos que recriam experimentos práticos como meios de interação no processo de delineamento dos conhecimentos.

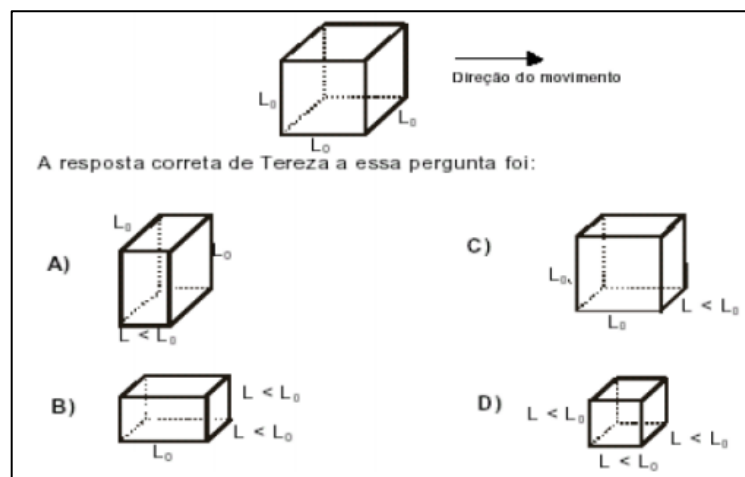
Na sexta pergunta (P6) questionou-se em quais aspectos os momentos de diálogos mediados pelo professor foram importantes, disponibilizando-se as opções: para tirar dúvidas, para troca de ideias, para avançar no conteúdo ou para todas as situações citadas anteriormente. A maioria dos alunos (72%) respondeu que a mediação serviu para todas as situações citadas, 20% usaram para tirar dúvidas e apenas 8% assinaram a opção troca de ideias. Percebeu-se que os alunos aproveitaram bem os momentos de reflexão para interagir com seus pares e explanar seus conhecimentos. Nesses momentos, foi possível identificar os sujeitos mais capazes, que se destacaram com argumentações mais plausíveis.

Em seguida, aplicou-se um questionário final (APÊNDICE I), com o objetivo de avaliar qualitativamente alguns dos conceitos mais relevantes da SD proposta, por meio de

questões objetivas e subjetivas, comparado os resultados com o quadro apresentado antes do início da proposta e ao término das aulas teóricas e práticas.

A primeira questão (Q1) discorre sobre o entendimento de como seria visualizada a situação da Figura 26, em relação as dimensões de um cubo quando este se movesse em altas velocidades. Todos os alunos responderam a alternativa “a”, que corresponde à opção correta, demonstrando-se assim que o efeito da “Contração dos Comprimentos” foi compreendido. Assim, afirma-se que os trabalhos teóricos e as ilustrações estáticas são eficazes na busca pelos conhecimentos científicos.

Figura 26 – Movimento de um cubo em alta velocidade



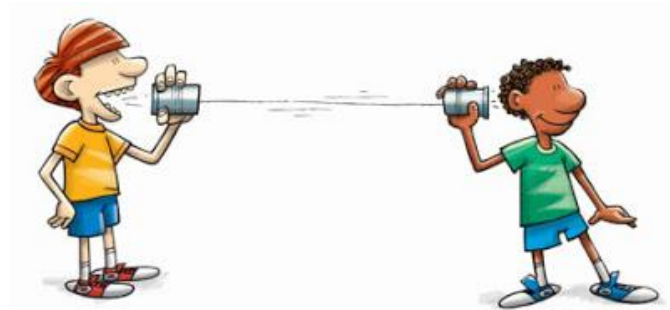
Fonte: Questões Online (acesso em 8 ago. 2018).

A segunda questão (Q2), a partir de texto base sobre o fenômeno da “Aberração da Luz”, quis verificar se houve internalização da autoria do conceito, trazendo uma explicação clássica de James Bradley, embora considerações mais definitivas sobre o fenômeno tenham sido elaboradas por meio da TRR de Einstein. Cerca de 37% dos alunos atribuíram a Isaac Newton a explicação deste fenômeno; 30% marcaram como sendo James Bradley, a resposta correta; 18% atribuíram a Max Planck e o restante (15%) marcou a opção Albert Einstein, que, de fato, formulou conclusões definitivas sobre a temática. Conclui-se que os alunos não se sentiram motivados a partir da simples apresentação dos conceitos, exposto de forma teórica, precisando eles de instrumentos que complementem e incentivem diálogos, promovendo interações.

A terceira questão (Q3) utilizou uma ilustração (FIGURA 27) com situação que vai ao encontro do cotidiano dos alunos, retratando um experimento simples e prático que

consiste na utilização de duas latas ligadas por um barbante como se fosse um telefone. Solicitou-se aos sujeitos que expressassem o que acontecia no brinquedo criado pelas crianças da tirinha, na concepção deles. A maioria identificou ser um fenômeno ligado às “ondas mecânicas”, complementando com a sistematização dos conceitos ligados à ilustração, afirmando que tais ondas “necessitam de um meio material para se propagar”, “o meio de propagação dessas ondas é a corda que é matéria”, demonstrando que os conceitos foram compreendidos de modo sistematizado.

Figura 27 – Representação do experimento do telefone feito dos copos ligados por um barbante



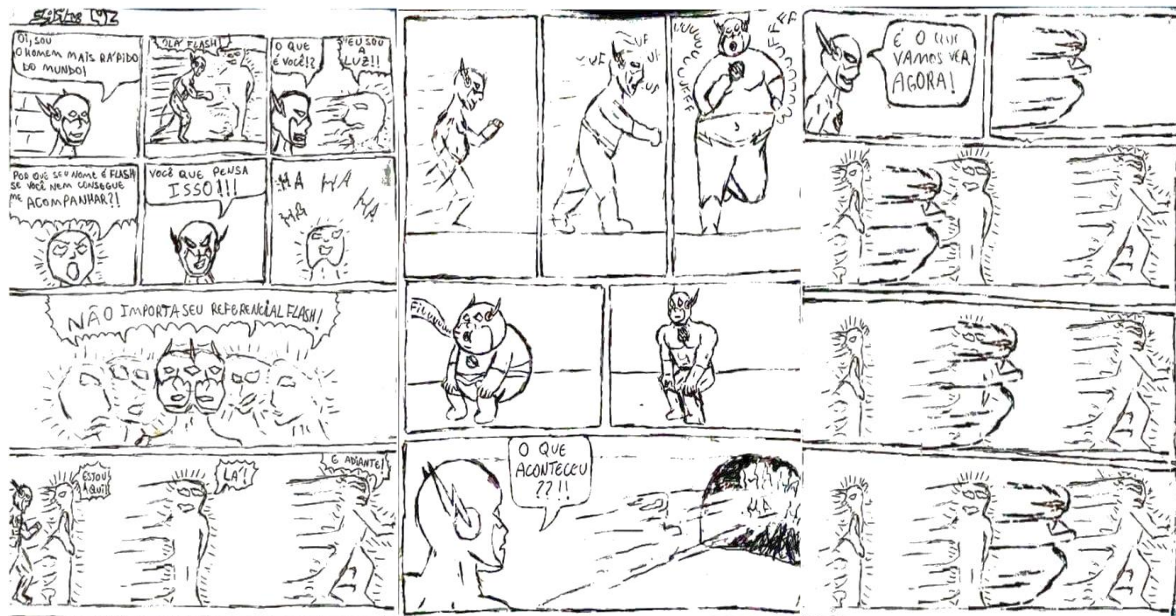
Fonte: Telefone... (acesso em 23 jun. 2019).

A quarta questão (Q4), tendo como referência tirinhas (FIGURA 28) que ilustram alguns dos efeitos ligados à TRR, solicita que se explique o motivo do Flash não conseguir ultrapassar a “luz”. Muitas respostas tiveram os mesmos contextos e linhas de pensamentos, como: “Segundo postulado de Einstein...”, “Ninguém pode ultrapassar a luz”, “Impossível isso acontecer na vida real”, “Se o Flash correr sumiria virando luz”. Como a maioria associou a resposta ao segundo postulado de Einstein, o descrevendo de forma concisa, conclui-se que a maioria dos alunos compreendeu o pensamento científico abordado.

A quinta questão (Q5) também explora a tirinha do Flash, querendo verificar o entendimento dos sujeitos no tocante aos postulados de Einstein, mais especificadamente o primeiro incitado através da situação-problema por meio da frase: “Não importa seu referencial Flash!”. Durante as discussões, alguns alunos lembraram do experimento de Michelson e Morley. Nas respostas subjetivas, houve explicações como: “A luz terá o mesmo valor independentemente da posição do observador”; “A luz alcançaria todos

os pontos onde ele estivesse”; “A luz vai estar em todo lugar...”; “Não importa o ponto de vista do Flash, a luz sempre será mais rápida”. Diante do exposto, verifica-se que os alunos sistematizaram os conceitos trabalhados no decorrer da SD, e mesmo não lembrando de definição na íntegra, mas de forma indireta, delinearam os conhecimentos de modo satisfatório

Figura 28 – Tirinhas do Flash em ação



Fonte: Questões... (2016).

A sexta questão (Q6) verificou se os sujeitos da pesquisa identificariam em uma contextualização bibliográfica e conceitual, os físicos relacionados ao que trata o texto a seguir:

Uma das consequências da Teoria da Relatividade Especial, proposta por Einstein em 1905, é o fato do comprimento de um objeto físico não ser um conceito absoluto. Mais precisamente, o comprimento de um objeto medido por observadores em movimento em relação a esse objeto será menor do que o comprimento medido por observadores em repouso em relação ao objeto -- é a chamada Contração de Lorentz. Um questionamento natural é se esse efeito pode ser visualizado, por exemplo, através de um registro fotográfico (isto é, pelo conjunto de raios de luz que atingem um filme fotográfico no mesmo instante de tempo). Na Relatividade Especial, o conceito de tempo, assim como as distâncias, não é um conceito absoluto e, portanto, a resposta para a pergunta anterior não parece ser tão simples (RICHARTZ; SILVA, 2014).

Eram opções de resposta: a) Einstein e Newton, b) Einstein e Galileu, c) Penrose e Terrell, d) Penrose e Einstein, e) Terrell e Newton. 67% dos respondentes assinalaram a alternativa correta (letra “c”), 25% atribuíram os conceitos a Penrose e Einstein e os 8% restantes a Einstein e Newton. Os resultados demonstraram que a maioria dos alunos compreendeu a contextualização, tendo assimilado os conceitos e teorias trabalhados na aula 7.

Ainda com base no texto utilizado na pergunta anterior, a sétima questão (Q7) do questionário pergunta: O que é visto na fotografia? E como é conhecida? A maioria dos alunos disse que seria vista “a mesma imagem”; porém, outros afirmaram que seria visualizada “uma distorção da imagem” e “uma rotação”, o que contribuiu para o pensamento de que poucos assimilaram os conhecimentos atinentes ao tema, já que a interpretação não aconteceu de modo satisfatório. Contudo, houve aqueles que logo remeteram o exemplo a um evento rotacional, associando-o à Rotação de Penrose-Terrell. Considerando a análise das repostas, percebe-se que os conhecimentos foram sistematizados quando as imagens eram apresentadas virtualmente aos sujeitos, mas, teoricamente, foram identificadas lacunas no entendimento do teórico tema, não sendo possível aos sujeitos relacionarem os conceitos apresentados teoricamente à exibição virtual.

As questões a seguir (Q 8 e Q9) remetem a situações de análise de imagens (FIGURAS 29, 30 e 31) que ilustram efeitos relativísticos.

Figura 29 – Captura de tela de vídeo que retrata o Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Vídeo... (2011).

Figura 30 – Captura de tela de vídeo que retrata o Efeito Doppler Relativístico



Fonte: Vídeo... (2011).

Figura 31 – Captura de tela vídeo que retrata o Efeito da Rotação Terrell



Fonte: Vídeo... (2011).

A oitava questão (Q8) solicitou aos alunos que identificassem os efeitos relativísticos ilustrados pelas Figuras 29, 30 e 31). A maioria dos sujeitos identificou, respectivamente: “Doppler Relativístico com rotação de Penrose-Terrell”, “Aberração da Luz e Rotação de Terrell” e “Contração dos Comprimentos e Rotação de Terrell”. Poucos identificaram somente o “Efeito Doppler relativístico” ou a “Contração dos Comprimentos”, não identificando a “Rotação de Terrell”. Verificou-se, assim, que a maioria dos alunos acabou associando a visualização dos efeitos apresentados através dos óculos de RV, podendo identificá-los de forma sistematizada, pois internalizaram os conhecimentos.

A nona questão (Q9) perguntou quais grandezas físicas eram indicadas nas imagens, sendo registradas as seguintes respostas: “grau e luz”, “a luz”, “velocidade da luz”, “medida de grau e altura”, “espaço e tempo”, “a velocidade e a posição de onde foi feito”, “velocidade da luz e constante de Lorentz”, “velocidade da luz e a dimensão da imagem” e “massa, velocidade e distância”. Poucos conseguiram associar o símbolo à “constante de Lorentz”, mas está dentro das expectativas, já que os trabalhos foram conduzidos de forma teórica na maioria das aulas.

5.5 ANÁLISE DOS ÁUDIOS GRAVADOS

Os áudios foram gravados durante os momentos de reflexão, quando os alunos puderam manifestar suas dúvidas e expor suas conclusões acerca dos seus entendimentos. Na medida em que os conceitos eram apresentados, ocorriam os delineamentos por parte do professor mediador. Alguns alunos também interviam, já tendo sistematizado os conceitos, sentindo-se confiantes para explicar seus conhecimentos e pensamentos.

Em alguns momentos de reflexão e diálogo, os alunos se sentavam em círculo, e em outros, eram dispostos em grupos menores.

As gravações foram feitas com o *smartphone* do professor, por falta de outro equipamento mais compatível. Isso fez com houvesse problemas na qualidade da maior parte dos registros. Dentre os problemas encontrados, destacam-se: os áudios apresentavam muito ruído; havia várias pessoas falando ao mesmo tempo, em voz alta, com interposição de vozes, o que não contribuiu para entendimento das falas; além dos diálogos em sala, havia muito barulho externo. Ao fim, foi possível transcrever e analisar os registros do final da aula 7, depois da utilização dos óculos de RV.

5.5.1 Registro de alguns diálogos gravados em áudio durante a aula 7

Professor: “agora que vocês utilizaram os óculos, deu para entender os efeitos relativísticos que trabalhamos?”

A1: “fiquei tonto professor”.

A2: “... apareceu tudo ao mesmo tempo e não vi o encolhimento das casas!”

Professor: “encolhimento...O que trabalhamos?”

A3: “é a contração do comprimento Cara...”

A2: “..., mas ficaram mais baixas sim...”

A3: “... na direção que estamos indo é que é para reduzir...”

Professor: “isso gente, mas porque será que vocês não perceberam?”

A1: “... dava para ver, mas estava rápido demais, não tinham como parar não professor?”

Professor: “daria sim, mas a ideia era visualizar em movimento”.

A3: “mas o professor disse que via pouco”

A2: “Mas quando vai direto era para ver a contração, mas não vi”

A2: “ah... esse é o efeito que não dá para ver direito?”.

Professor: “isso parabéns, na verdade todos são evidenciados, uns mais que outros, e a contração dos espaços é pouco destacada”

A3: “está girando tudo, aí ‘embola”, né professor?”

A4: “era só quando virava que dava para visualizar a rotação”.

Professor: “gostei... esse giro que você citou é o efeito?...”

A3: “...Rotação de Terrell?”

A1: “não... é o de Terrell né, prof.?”

Professor: “sim, isso aí!”

Foi possível observar que, nos momentos de discussão e intervenções mediadas pelo professor e ao longo das aplicações dos questionários, a maioria dos sujeitos não mais utilizava a nomenclatura “luz”, mas “radiação” e “ondas eletromagnéticas”. Outros poucos chamavam de “fótons”. Esta mudança de vocabulário é inerente à alteração de concepções, pois os alunos, agora, compreendem que existem variações de acordo com algumas peculiaridades, e não mais referem-se à “luz” no mérito apenas do que é visível.

Destacaram-se alguns sujeitos (A3 e A4), que demonstraram maior sistematização nos conhecimentos adquiridos e interviam, quando incentivados, ao longo dos debates mediados pelo professor, o que favorece a compreensão de que o professor mediador deve incentivar os diálogos e delinear pensamentos, e a partir de questionamentos ou respostas sistematizar os conhecimentos ao longo de aprendizagem. Além de buscar alternativas que promovam a interação entre as teorias e práticas.

5.6 ANÁLISE DOS INSTRUMENTOS LÚDICOS E ANIMAÇÕES

Todos os instrumentos criados pelo professor, para serem usados de forma lúdica, tiveram um papel crucial no estabelecimento de analogias, a exemplo da animação entre “bolas” e o comportamento corpuscular, que possibilitaram associações com o cotidiano dos alunos, como jogos que envolvam bolas (basquete, futebol, vôlei, etc.).

Com isso, o professor mediador pode trabalhar o fenômeno da reflexão, facilitando a sistematização dos conceitos.

Foram utilizadas outras ilustrações que exibiram os fenômenos da difração, da interferência e da refração, de modo simples, que os alunos assimilaram graças ao comparativo de forma, não manifestando eventuais dúvidas, já que o entendimento é bem intuitivo.

Uma tirinha de história em quadrinhos (FIGURA 32) foi utilizada de forma lúdica para abordar o questionamento se a luz seria “onda” ou “partícula”, o que demonstrou ser uma excelente alternativa metodológica de promoção de interações, por gerar “ironias” e “brincadeiras” que extrapolaram o exemplo e produziram outros questionamentos.

Figura 32 – Tirinha sobre a luz – partícula ou onda?



Fonte: Oficina EDUHQ (2004).

Os GIFs utilizados serviram para ilustrar situações, de forma bastante direta e qualitativa, propiciando momentos lúdicos e motivacionais nas internalizações dos conhecimentos. Um exemplo de uso dessa mídia foi a representação do espectro eletromagnético, no qual os campos magnético e elétrico foram ilustrados. Além das leis de Newton que puderam ser evidenciadas, direcionando os trabalhos desenvolvidos pelo professor.

A animação aplicada para determinar a velocidade de propagação de uma “bolinha”, de forma qualitativa, revelou-se bem proveitosa e incentivadora, já que os alunos puderam comparar as duas equações, uma que verificava a distância percorrida e o intervalo de tempo gasto e outra que envolvia o comprimento de onda e sua frequência. Foi por meio das animações que o professor pode introduzir novos conceitos, atribuindo valores e resultados de forma simples. Com as comparações, a construção dos conceitos passou a ser mais eficiente.

Assim, as abordagens de temas que fizeram uso das animações e das imagens estáticas obtiveram melhores resultados, pois na medida em que os alunos as visualizavam, interviam com questionamentos que serviram como complementação do aprendizado, na maioria das vezes. Essas animações e imagens se tornaram elementos motivadores das interações em sala.

5.7 ANÁLISE DOS SIMULADORES DE EXPERIMENTOS VIRTUAIS

Os simuladores de experimentos virtuais possibilitaram uma abordagem mais efetiva e diferenciada dos conhecimentos científicos, pois promoveram uma experiência visual que recriava um ambiente de um laboratório real. Esses instrumentos se mostraram eficientes, já que possibilitaram a observação de modo lúdico, pois os sujeitos poderiam interagir, solicitando ao professor a variação de algumas grandezas.

Percebeu-se também que os alunos puderam compreender a aplicabilidade de cada Grandeza Física ali envolvida, a exemplo da alteração das fendas em simples e dupla, ocorrendo o fenômeno da interferência, como a possibilidade de trocar “ondas” por “partículas quânticas”, podendo comparar os comportamentos.

Já no experimento que retratou as ondas mecânicas, os alunos puderam analisar grandezas como as “frequências” e “comprimentos de onda”, e por meio destas observações a sistematização dos conceitos eram mais eficientes, além de promoverem um ambiente de discussões da relação entre as variáveis envolvidas, e entendimento maior dos símbolos físicos utilizados na apresentação dos conceitos.

Com a utilização desses recursos, os alunos puderam ser mais ativos no processo, incorrendo em interações múltiplas que envolveram os sujeitos mais capazes intervindo com aberturas de diálogos, por meio de perguntas e questionamentos que os tornaram mais ativos no processo. As simulações ajudaram na consolidação dos conhecimentos adquiridos na aula teórica, quando os alunos puderam estabelecer relação entre a teoria e prática.

5.8 ANÁLISE DOS ÓCULOS DE REALIDADE VIRTUAL E AS IMPLICAÇÕES DO SEU USO NO ENSINO DA TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRITA

A utilização dos óculos de RV trouxe ao ambiente escolar uma sensação de surrealidade, por lidar com efeitos relativísticos que não são perceptíveis no cotidiano, embora reais, fugindo do que se entende como normal.

Na exibição dos efeitos não podem ser separadas a “contração dos espaços” e a “Rotação de Terrell”. Como já mencionado pela literatura do tema, o efeito da “contração dos espaços” é imperceptível durante sua exibição, quando combinados aos demais efeitos.

A aplicação da RV acabou despertando um interesse no tema e promovendo interações entre os sujeitos e o professor, despertando-se um interesse maior por inserir um recurso instigante e motivacional que fazia emergir questionamentos e experiências sensoriais, tais como as sensações de tontura nos vídeos de viagem por cidades e paisagens. Este recurso também despertou nos alunos a vontade de aprofundarem seus conhecimentos, o que é perceptível em algumas falas: “Onde posso conseguir mais desses vídeos?”, “Posso utilizar qualquer smartphone?”, “Tem na internet?”, “Tem mais efeitos curiosos?”. Verifica-se que a inserção de temas de Física Moderna, inovando e utilizando de recursos da RV, pode proporcionar avanço nos estudos dos alunos.

A experiência de observação de cenários fictícios, criados por meio de recursos computacionais e visíveis por meio do uso da tecnologia de RV, permitiram aos alunos experiências sensoriais diversas, retratadas por meio das seguintes falas: “Estou

tonto”, “Ainda estou rodando”, “Pensei que eu iria bater nas paredes”, “Isso existe?”. Percebeu-se que o instrumento manipula o cognitivo dos sujeitos, possibilitando inúmeras sensações e norteando as concepções científicas e, de fato, propiciando alternativas eficazes em prol da compreensão qualitativa dos conteúdos inerentes à TRR.

Embora tenha sido verificada a pertinência da utilização da RV para os estudos relativísticos, no que tange aos conhecimentos sobre a “Contração dos Espaços”, não houve retorno positivo, por tal efeito não ser evidente nas exibições dos vídeos, servindo o instrumento apenas para complementação do aprendizado. Portanto, houve êxito na assimilação dos efeitos da “Rotação de Terrell”, da “Movimentação de Esferas” e do “Doppler Relativístico”, de maneira eficientes, mesmo que eles não sejam perceptíveis no cotidiano, mas passíveis de experimentação apenas por meio do uso de recursos computacionais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi motivada pela busca por instrumentos e signos que sirvam como meios de sistematização dos conhecimentos sobre a Teoria da Relatividade Restrita, no contexto do Ensino Médio, mais especificadamente na primeira série.

Foi a partir da teoria Vygotskiana (1991, 1998, 2001) que foi possível desenvolver os meios metodológicos que embasaram o processo de aplicação da pesquisa, além de servir como base teórica para todos os processos de intervenções e mediações ao longo dos momentos da SD. Segundo Cavalcanti, Pereira e Ostermann (2009, p. 76), “para Vygotsky a formação de conceitos, por parte dos sujeitos, é o resultado de uma atividade complexa, em que todas as funções intelectuais básicas tomam parte”.

Durante as aulas da SD, a figura dos “sujeitos mais capazes” foi fundamental para o delineamento dos conceitos, favorecendo o enriquecimento dos significados dos conteúdos ministrados pelo professor. Sujeitos estes identificados a partir das análises dos questionários, gravações de áudios registradas pelo professor e pelas anotações das aulas. Destaque-se que deve ser levado em consideração que os “mais capazes” não foram apenas os “destaques”, pois não necessariamente são somente aqueles que gostam do conteúdo ou se classificam como os melhores da turma, mas também aqueles que possuem um histórico de leituras diversas, os que nos anos anteriores tinham notas regulares, os que possuem habilidades e competências múltiplas, ou os identificados pelo professor ao longo da vida escolar de cada discente.

As análises das falas dos alunos levaram em consideração todas as manifestações deles, ao longo da aplicação da SD, não apenas as respostas corretas ou explicações pertinentes, pois a partir das manifestações espontâneas dos menos capazes afloravam significados, favorecendo a sistematização dos conhecimentos.

Sobre a internalização dos conhecimentos, não foi possível mensurá-la qualitativamente. Para isso, seriam necessários instrumentos mais complexos e requerido mais tempo. Contudo, averiguou-se que houve sistematização dos conhecimentos, ao longo da SD, passível de identificação a partir das avaliações dos instrumentos complementares ao ensino, que denotaram ter ocorrido transformação dos conhecimentos

adquiridos em conhecimentos científicos. Um dos aspectos observados para avaliar os sujeitos foi o papel que os alunos desempenharam nos momentos de interação, quando eles manifestavam ou reconstruíam os seus conceitos próprios.

Outro aspecto atinente à internalização de conhecimentos é verificável nos momentos em que os sujeitos reformulavam os conceitos, dando a eles outras definições, ou mesmo se apropriando das concepções dos colegas, moldando-as, ou seja, colhiam “palavras” soltas sem nexos e as reformulavam, manifestando-se nas conversas como se fossem suas próprias, num processo dialógico contínuo.

Nesse esteio, o processo de interação pode ser potencializado por meio da utilização dos instrumentos da RV, que possibilitam aos alunos conhecer os efeitos relativísticos, individualmente, e expor aos demais suas suposições e conceitos adquiridos durante a utilização do equipamento. Na medida em que os conceitos próprios eram explanados, os alunos trocavam ideias e pensamentos, percebendo que poderiam receber outros conhecimentos externos, com chances de sistematização dos seus significados, podendo assim reformular ou reconstruir suas concepções adquiridas durante a aplicação da SD.

Para critérios de mensuração qualitativa dos conceitos internalizados foram considerados os pontos de interação e explicações ao longo do processo, já que a aquisição da maioria dos conhecimentos surge mediante interação entre os envolvidos. Porém, percebe-se que a assimilação e sistematização desses conhecimentos não se deu apenas nas relações entre os sujeitos, mas principalmente nas relações entre os sujeitos e os instrumentos utilizados para intervir e mediar os conceitos com o objeto de estudo.

Considera-se que a internalização é fruto de todo o processo cognitivo decorrente de todos os instrumentos aplicados, que se incumbiram de facilitar a assimilação dos conhecimentos de forma prática, mas sem fugir dos instrumentos tradicionais, a exemplo da leitura de textos norteadores, que sem dúvida conduziram os alunos para a construção dos conhecimentos científicos de forma peculiar, tendo os sujeitos um momento único entre ele (o leitor) e seu objeto de estudo, transcendendo-se a buscas de implementação dos conceitos e os delineando de forma subjetiva e própria.

Inicialmente, procurou-se identificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca do que é a “luz”, aplicando questionário inicial que, de forma direta e simples, diagnosticou que as percepções sobre o conceito eram equivocadas, tendo eles demonstrado falta de sistematização deste conhecimento.

Percebeu-se que a utilização de instrumentos de animação, no caso dos GIFs, se mostrou bastante eficaz para a complementação de conceitos ligados ao cotidiano, consolidados no cognitivo dos sujeitos e realçados na exibição deste recurso didático, que são excelentes incentivadores de discussões, já que proporcionam um momento lúdico, criando possibilidades de intervenção por parte do professor mediador.

O uso de textos de apoio, utilizados com o fim de apresentar e iniciar discussões a respeito dos conceitos, não foi bem aceito, acontecendo de alguns alunos baixarem a cabeça, demonstrando falta de interesse nas introduções com cunho histórico e bibliográfico. Porém, durante os momentos lúdicos das aulas 1 a 4, percebeu-se maior motivação na busca por conceitos sobre os pensamentos e teorias apresentadas. Inference-se que o lúdico apresenta potencial de transformação e construção de algo único, em cada indivíduo, que é atingido internamente, seja pelo afloramento de lembranças de fatos ou situações cotidianas de cada um.

Nos momentos dos experimentos virtuais, os alunos se mostraram mais dispostos, interagindo de forma direta e subjetiva. Mesmo os alunos que, ao longo do ano escolar, normalmente permaneciam inertes, acabaram interagindo por meio de indagações na busca por significados dos conceitos abordados.

Sobre as intervenções em sala, verificou-se que, durante todo o processo de aplicação da SD, o professor mediador precisava intervir ou iniciar os diálogos. E nenhum momento houve iniciativa por parte dos alunos para a promoção dos debates, ou mesmo para procurar saber dos conhecimentos a serem trabalhados, posteriormente ou no presente. O professor sempre iniciava as interações, direcionando e delineando os processos. Esta necessidade é sendo apontada por Paternostro, Azevedo, Pietrocola (2005, p.4):

Mesmo que o professor busque criar as condições em que o aluno peça explicação, na sala de aula, essa situação não é espontânea, como acontece nas situações do dia a dia. Ou seja, na sala de aula, as explicações são mais oferecidas ao aluno, que solicitadas por ele.

A inserção dos óculos de RV se mostrou uma prática metodológica relevante e indispensável nos momentos da aplicação dos conhecimentos relativísticos, mais especificadamente dos efeitos da “Contração dos Comprimentos”, da “Rotação de Terrell” e do “movimento dos corpos esféricos tratados por Penrose”, temas estes que demandam recursos visuais para compreensão adequada. Com o auxílio da tecnologia da RV, os alunos puderam, de forma individual e própria, compreender efeitos inerentes à TRR, assimilando e delineando conceitos por meio de suas estruturas mentais, pois se trata de algo novo, que nunca foi visto ou idealizado por eles.

A SD teve uma duração de oito aulas, de 50 minutos cada, o que, para a realidade do professor-pesquisador, equivaleu há um mês de trabalho efetivo na turma. A escolha dos instrumentos para ela se deu pelo fato de todos serem de fácil acesso e de não ser necessitar de acesso à internet, na hora da atividade em sala, pois a instituição de ensino desta aplicação na qual a pesquisa foi realizada sofre por falta de internet de qualidade. Os oito encontros contaram com uma sequência de atividades planejadas para durarem o tempo de uma aula, o que percebeu-se ter sido adequado, tendo sido ainda possível destinar momento para aplicação dos instrumentos de avaliação, ao fim de cada encontro, sem atrapalhar a proposta pedagógica.

Frente ao exposto, conclui-se que, indo ao encontro do problema desta pesquisa, no atual contexto educacional, há instrumentos que possibilitam aos sujeitos interagirem e a procurarem o domínio de conteúdos mesmo que fujam do senso comum. No mérito da TRR, a RV seria tal instrumento, que literalmente faz a diferença, proporcionando aos sujeitos momentos de imersão e subjetividade, favoráveis à consolidação de conceitos transmitidos teoricamente, podendo se estender a outros conteúdos da Física ou a qualquer área de conhecimento que necessite exibir efeitos visuais que normalmente não poderiam ser recriados em laboratórios tradicionais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANDO, M. G. Influências da Física moderna na obra de Salvador Dali. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, [S.l.], v. 24, n. 3, p. 407, dez. 2007.
- ANGELO, C. M. P. A internalização do conceito de gêneros discursivos por alunos do curso de letras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS DE GÊNEROS TEXTUAIS, 5. **Anais...** Caxias do Sul, 2009.
- ARAÚJO, J. C. *et al.* **Realidade virtual como apoio ao ensino do movimento harmônico simples na física**. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wrva/2006/0018.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2019.
- ARAÚJO, R. B.; KIRNER, C. **Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual**, São Paulo, 1996. Disponível em: <http://ce-resd.facom.ufms.br/sbrc/1996/p19.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- ARAÚJO, R. B.; BATTAIOLA, A. L.; GOYOS, C. Exploração do uso de Realidade Virtual no aprendizado de habilidades acadêmicas para o Ensino Fundamental. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, [S.l.], n. 4., 1999.
- ASTRONOMIA. 26 mar. 2018. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/astrometria.htm>. Acesso em: 8 ago. 2018.
- ASTRONOO. **Aberração da luz**. 8 set. 2013. Disponível em: <http://www.astro-noo.com/pt/artigos/aberracao-da-luz.html>. Acesso em 10 fev. 2019.
- BARROS. M.G.; CARVALHO, A. B. G. **As concepções de interatividade nos ambientes virtuais de aprendizagem**. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 214 p.
- BERNI, R. I. G. **Mediação**: o conceito Vygotskyano e suas implicações na prática pedagógica. Disponível em: http://www.filologia.org.br/ileel/artigos/artigo_334.pdf. Acesso em: 8 ago. 2018.
- BRAGA, M. Realidade virtual e educação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, [S.l.], vol. 1, n. 1, 2001.
- BRAINLY.COM. **[Tirinha da Turma da Mônica]**. Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/16764373>. Acesso em: 10 fev. 2019.
- BROCKINGTON, G. **A Realidade escondida**: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio. São Paulo. 2005.
- BRUN, A. L.; DOTTO, M. L. G.; OLGUIN, C. J. M. Icarus – Software educacional de apoio ao ensino de contabilidade. **Novas Tecnologias na Educação**, [S.l.], vol. 9, n 2, p. 1-20, dez. 2011.

BUSE, A. **Um olhar diferenciado sobre a cinemática no ensino médio**: uma abordagem praxeológica das tarefas. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC. 2014.

CABRAL, N. F. **Sequências didáticas**: estrutura e elaboração. Belém: SBEM / SBEM-PA, 2017. Disponível em http://www.sbembrasil.org.br/files/sequencias_didaticas.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

CAVALCANTI, C. J. H.; PEREIRA, A.; OSTERMANN, F. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, [S.l.], Vol.8, n. 1, 2009.

CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. Deformações geométricas e velocidade superluminal aparentes em objetos em movimento relativístico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 3, p. 355-372, 2007. Disponível no link: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a07v29n3.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019

CAVALCANTI, L. S. Cotidiano, mediação pedagógica e formação de conceitos: Uma contribuição de Vygotsky ao ensino de geografia. **Cad. Cedes**, Campinas, vol. 25, n. 66, 188p. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/ccedes/v25n66/a04v2566.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2019.

COELHO, R. M., MATOS, L. L. O. **GIF** – Graphics Interchange Format. Disponível em: <http://www2.dcc.ufmg.br/disciplinas/ii/ii05-1/seminario/gif.pdf>. Acesso em: 10 ago 2018.

DOOLIN, J. Penrose Terrel Rotation. **Spoonfed Relativity**, c2011. Disponível em: <http://www.spoonfedrelativity.com/pages/PenroseTerrellRotation.php>. Acesso em: 10 fev. 2019.

FERNANDES, E. F. **As dificuldades de compreender física dos alunos do ensino médio nas escolas públicas de Iguatu**. 2016. 46 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Faculdade de Educação, Ciências e Letras de Iguatu, Universidade Estadual do Ceará, Iguatu-CE, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2JhnEF4>. Acesso em: 26 jun. 2019

FERREIRA, Meryellen Roberta. Um caminho estratégico para a resolução de problemas na sala de aula para alunos do 6º ano do ensino fundamental. In.: OS DESAFIOS da Escola Pública paranaense na perspectiva do professor PDE: artigos, vol. 1. Curitiba, PR: Secretaria de Educação, 2014.

FÍSICA Quântica (Dr. Quantum) fenda dupla. [S.l. : s.n.], 20161 vídeo (4m51s). Publicado pelo canal Grupo Motivação. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfl>. Acesso em: 10 fev 2019.

FRANÇA, C. R.; SILVA, T. **A utilização da Realidade Virtual e Aumentada no Ensino de Ciências no Brasil**. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1209-1.pdf>. Acesso em 8 fev. 2019.

FREITAS, A. P. **Zona de desenvolvimento proximal**: a problematização do conceito através de um estudo de caso. 2001. 137p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/251042>. Acesso em: 6 fev. 2019.

FUKE, L.F.; YAMAMOTO, K. **Física para o ensino médio**: volume 3. São Paulo: Saraiva, 2016.

GASPAR, Alberto. **Compreendendo a Física**: ensino médio. v 1. São Paulo. Ática. 2016.

GIFS DE FÍSICA. **Princípio da ação e da reação (3ª lei de Newton)**. 3 dez. 2018. Disponível em: <https://gifsdefisica.com/2018/12/03/principio-da-acao-e-reacao-3-lei-de-newton/>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GUERRA, A.; BRAGA, M.; REIS, J. C. Teoria da relatividade restrita e geral no programa de mecânica do ensino médio: uma possível abordagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 29, n. 4, p. 575-583, 2007.

GUINSKI, R. S. Bol: Quadrinhos, Gifs e Loops. In.: JORNADAS INTERNACIONAIS DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS, 4. **[Anais...]**. Escola de Artes e Comunicação da USP, São Paulo, 2017. Disponível em: http://www2.eca.usp.br/jornadas/anais/4asjornadas/q_midia/rodrigo_guinski.pdf. Acesso em: 8 ago. 2018.

IBGE. **Conheça cidades e estados do Brasil**. @2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/sao-mateus/panorama>. Acesso em: 10 ago. 2018.

INEP. Diretoria de Avaliação da Educação Básica. **Nota Técnica**: Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica, [Brasília], [2015]. Disponível em: http://download.inep.gov.br/informacoes_estatisticas/indicadores_educacionais/2015/nota_tecnica/nota_tecnica_inep_inse_2015.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

KAULFUSS, M. A. Vygotsky e suas contribuições para a educação. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**, [S.l.], 6.ed., nov. 2015. Disponível em: <http://fait.revista.inf.br/site/c/pedagogia.html>. Acesso em: 10 ago. 2018.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. Evolução e tendências da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. In: RIBEIRO, M. W. S.; ZORZAL, E. R. (Org.). **Realidade Virtual e Aumentada**: aplicações e tendências. Uberlândia-MG: Editora da Sociedade Brasileira de Computação, 2011. p. 10-25.

KIYA, M. C. S. **Caderno pedagógico**: o uso de Jogos e de atividades lúdicas como recurso pedagógico facilitador da aprendizagem. Ortigueira: SEED, 2014.

LOPES, G. **Leituras em aulas de Física na educação de jovens e adultos no ensino médio**. 2009, 225 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, 2009. P. 45.

MACHADO, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual**. INPE, 1995. Disponível em: <http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>. Acesso em: ago. 2018.

MALDANER, O. A.; ZANON, L. B. **Situação de estudo: uma organização do ensino que extrapola a formação disciplinar em ciências**. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~clovia/Edambpos/textos/instr/formacao.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MARTINS, R. A. **Teoria da Relatividade Especial**. Campinas-SP: Grupo de História e Teoria da Ciência, 2008.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 01-02, 2015.

MATOS, E. C. A.; LIMA, M. A. S. Jogos eletrônicos e educação: notas sobre a aprendizagem em ambientes interativos. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/57595/34569>. Acesso em: 6 fev. 2019.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. Vol 3. São Paulo. Ed. Scipione. 2016.

MELLO, E. F. F.; TEIXEIRA, A. C. A interação social descrita por Vigotski e a sua possível ligação com a aprendizagem colaborativa através das tecnologias de rede. In: ANPED SUL, 9. Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul. **Anais...** Universidade de Passo Fundo – UPF, 2012.

MEYER, Maximiliano. **Quais os sensores presentes no seu smartphone?** 2015. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/14334-quais-os-sensores-presentes-no-seu-smartphone>. Acesso em: 8 ago. 2018.

MOCHILA DE FÍSICA. **Animações**: leis de Newton. 2012. Disponível em: <http://mochiladefisica.blogspot.com/2012/11/animacoes-leis-de-newton.html>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MORAES, S. P. G. A. **Concepção de aprendizagem e desenvolvimento em vigotski e a avaliação escolar**. Disponível em: http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/jornada/jornada11/artigos/9/artigo_simposio_9_1008_silvia.moraes@uol.com.br.pdf. Acesso em: 6 fev. 2019

MORTARA, B. A.; BASTOS, A. C. E. A imagem fotorrealista: mais real que a realidade? **Tecnologia Gráfica**, Brasil, v. 77, p. 34 - 37, 01 jun. 2011.

MOURA, B. A.; BOSS, S. L. B. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 02, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v37n4/0102-4744-rbef-37-4-4203.pdf>. Acesso em 22 jun. 2019.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica**: ótica, relatividade e Física quântica. São Paulo: E. Blücher, 2002.

OFICINA EDUHQ. **A dualidade onda-partícula**. c2004. Disponível em http://www.cbpf.br/~eduhq/html/aprenda_mais/jurema/ficha_dualidadeonda.htm. Acesso em: 8 ago. 2018.

OLIVEIRA, C. C. M.; SILVA, E. C. Vygotsky e a educação. **Pró-Discendente: Caderno de Prod. Acad. Cient. Progr. Pós-Grd. Educ.**, Vitória, v. 17, n. 2, p. 75-83, jul./dez. 2011.

OLIVEIRA, F. F. O.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v29n3/a16v29n3.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ONDAS sonoras. Disponível em: http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/10645/ondas_sonoras.pdf. Acesso em: 8 ago. 2018.

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**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 176-190, ago. 2002.

PRISMAS – Experimentos – Decomposição da luz. [S.l.:s.n.], 2016. 1 vídeo (2m20s). Publicado pelo canal Física Universitária. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zUZqSkWWgkw>. Acesso em: 10 fev. 2019.

QUEIROZ, A. C. M.; TORI, R.; NASCIMENTO, A. M. **Realidade virtual na educação: panorama dos grupos de pesquisa no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://bit.ly/2ZQqk30>. Acesso em 27 jun. 2019.

QUESTÕES de Física. **Física 101**. 14 jun. 2016. Disponível em: <http://osgori101.blogspot.com/2016/06/questoes-fisica.html>. Acesso em 8 ago. 2018.

QUESTÕES ONLINE. Disponível em: <https://questoesonline.blogspot.com/2013/08/354.html>. Acesso em: 8 ago. 2018.

RAMALHO JÚNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física 3**. 10ª edição. São Paulo: Editora Moderna, 2016.

RELATIVIDADE: o que Einstein gostaria de ter visto. **Scientific American Brasil**. São Paulo: Duetto Editorial, n. 24, [2007]. Edição especial.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. y LIMA, P. Relações de gênero em um debate sobre mecânica quântica e visões de ciência entre graduandos de Física. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, Número Extra, 2009. Disponível em: <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-21-24.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2019.

RIBOLDI, B. M.; STUDART, N. **Relatividade restrita: game e animações**. São Carlos-SP: Edição do autor, 2015. Disponível no link: http://www.sbfisica.org.br/~mnpef/imagens/produtos/Bruno_Riboldi_Relatividade.rpdf. Acesso em: 26 jun 2019.

RICHARTZ, M.; SILVA, R. V. Visualizando a contração de Lorentz: o efeito Penrose-Terrell. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CINTÍFICA, 4. **Sistema de submissão de resumos**. [S.l. s.n.], 2014. Disponível em: <http://ic.ufabc.edu.br/simposios/index.php?conference=EIC&schedConf=4EIC2014&page=paper&op=view&path%5B%5D=1580>. Acesso em: 8 ago. 2018.

RIZZATO, A. C.; NUNES, F. L. S. **Realidade virtual aplicada à Educação**: reflexões sobre o estado da arte e o futuro. Disponível em: <http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wrva/2007/001.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2019.

RODRIGUES, G.P.; PORTO, C. M. Realidade virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. **Interfaces Científicas – Educação**, Aracaju, v.01, n.03, p. 98-99. jun. 2013.

RODRIGUES, C. D. O. **A inserção da teoria da relatividade no ensino médio**. 2001. 174 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis–SC, 2001.

TORI, R.; KIRNER, C. Fundamentos da realidade virtual. In.: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (eds.). **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual**. Belém-PA: [s.n.], 2006. p. 2-21. Disponível no link: http://www.ckirner.com/download/capitulos/Fundamentos_e_Tecnologia_de_Realidade_Virtual_e_Aumentada-v22-11-06.pdf. Acesso em: 22 de jun. 2019.

ROSSI, T. M. F.; ROSSI, C. F. F. O Conceito de Internalização em Vygotsky: algumas aproximações teóricas desde a semiótica peirceana. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”, 6. **Anais...** São Cristóvão–SE, 2012.

SANTOS, W. A utilização de imagens na construção do material didático na EAD. In: SIMPÓSIO EDUCAÇÃO E COMUNICAÇÃO, 3. **Anais**. [S.l.], 2012.

SILVA, B. V. C. A popularização na ciência: a óptica de Newton no século XVIII. **Holos**, [S.l.], ano 24, v. 3. p. 95-104, 2008.

SILVA, F. W. O. S. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 29, n. 1, p. 149-159, 2007.

SOUZA, A. P.; ROSSO, A. J. Mediação e Zona de desenvolvimento proximal (ZDP): Entre pensamentos e práticas docentes. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO – EDUCERE, 10. **Anais...** Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

SOUZA, E. et al. Interação social e o processo de mediação entre crianças de uma escola de educação infantil. **Psicologia.PT**, [S.l.], p. 1-20, 2018. Disponível em: <http://www.psicologia.pt/artigos/textos/TL0429.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2019.

TELEFONE de copo e barbante [imagem]. Disponível em: <http://www.vilaverde.g12.br/v2/telefone-2/>. Acesso em: 23 jun. 2019.

TORT, A. C. **Uma Introdução a Relatividade Restrita e Geral para Professores do Ensino Médio**. Rio de Janeiro: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

UMBELINO, Janaina Damasco. A mediação em Vigotski: reflexões sobre um conceito. In.: ENCONTRO NACIONAL DE DIDÁTICA E PRÁTICAS DE ENSINO, 16. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2012.

UNIVERSITY OF COLORADO. **PHET Interactive Simulations**. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics>. Acesso em: 10 fev. 2019.

VIANA, J.; RIBAS, F. K.; MALDANER, O. A. **Especificidade no desenvolvimento de situação de estudo: perguntas do professor**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0886-1.pdf>. Acesso em: 8 fev. 2019.

VÍDEO mostra quais seriam os efeitos de se viajar próximo à velocidade da luz. **Space Today**, 18 out. 2011. Disponível em: <http://spacetoday.com.br/video-mostra-quais-seriam-os-efeitos-de-se-viajar-proximo-a-velocidade-da-luz/>. Acesso em: 10 fev. 2019.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991. 80p.

VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente**. 6. ed., São Paulo: Livraria Martins Fontes, 1998.

VYGOTSKY, L.S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

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

ZANELLA, A. V. Zona de desenvolvimento proximal: análise teórica de um conceito em algumas situações variadas. **Temas em Psicologia**, Ribeirão Preto-SP, v. 2, n. 2, p. 97-110, 1994. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/tp/v2n2/v2n2a11.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2019.

**APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL ANTES DA AULA 1 E DA LEITURA DO
TEXTO 1**

Este questionário tem como objetivo avaliar as concepções alternativas adquiridas ao longo da vida escolar dos alunos antes da AULA 01. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

Q1. Na sua opinião o que é a “luz”?

Q2. Você já estudou ou ouviu falar do cientista Isaac Newton?

SIM () NÃO ()

a) Justifique a sua resposta:

b) Caso POSITIVO, em quais momentos você ouviu falar sobre ele?

APÊNDICE B -QUESTIONÁRIO APÓS A AULA 1

Este questionário tem como objetivo avaliar as concepções adquiridas após a AULA 01. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

Q1. Você mudou a sua ideia do que é luz após ter assistido a aula anterior?

SIM () NÃO ()

b) Agora o que você entende sobre a luz?

Q2. Você concorda com os pensamentos corpusculares de Newton?

SIM () NÃO ()

a) Justifique a sua resposta:

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO INDIVIDUAL APÓS A AULA 2

Este questionário tem como objetivo avaliar as concepções adquiridas após a AULA 02. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos adquiridos.

Q1. Se a **luz** fosse uma “bolinha de gude” o efeito ondulatório seria o mesmo?

Q2. Você concorda com os pensamentos de Young?

SIM () NÃO ()

Comente a sua resposta:

APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO APLICADO APÓS A AULA 3

Este questionário tem como objetivo avaliar as concepções alternativas adquiridas ao longo da AULA 03. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

Q1. Analise as proposições como **verdadeira** ou **falsa**:

I). Em determinados fenômenos a luz apresentam natureza ondulatória e, em outros, corpuscular. É o caráter dual da luz. () **Verdadeiro** ou () **Falso**

II) Partículas, como os elétrons, também possuem propriedades ondulatórias.

() **Verdadeiro** ou () **Falso**

Q2. Explique com suas palavras o comportamento dual da luz?

APÊNDICE E – MOMENTO DE REFLEXÃO – APLICADO NO FINAL DA AULA 4

Este questionário tem como objetivo avaliar os pensamentos adquiridos durante a aula 04 e as reflexões após o momento de debate com os demais colegas da turma. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

REFLEXÃO 01 - Cascão encontra-se em movimento em relação ao skate?

SIM () NÃO ()

a) Justifique a sua resposta:

REFLEXÃO 02 - (PUC-SP) A afirmação “todo movimento é relativo” significa que:

- a) Todos os cálculos de velocidade são imprecisos.
- b) Não existe movimento com velocidade constante.
- c) A velocidade depende sempre de uma força.
- d) A velocidade depende sempre de uma aceleração
- e) A descrição de qualquer movimento requer um referencial.

APÊNDICE F – MOMENTO DE REFLEXÃO – AULA 5

Este questionário tem como objetivo avaliar os prévios adquiridos durante a vida e que serão confrontados ao final das reflexões e do trabalho teórico da aula 05. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

REFLEXÃO 01 - O que está acontecendo na ilustração 1?

REFLEXÃO 02 - O que está acontecendo na ilustração 2?

APÊNDICE G – MOMENTO DE REFLEXÃO – AULA 5

Este questionário tem como objetivo avaliar as concepções adquiridas após a aula teórica 05 e os debates realizados ao longo desta aula. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes para direcionar e diagnosticar os conhecimentos previamente acumulados.

REFLEXÃO 01 - Na aberração da luz estelar um telescópio, como o da Figura, que tente observar uma estrela no zênite, por exemplo, como a fonte F não deve ser apontado diretamente para a estrela mas deve ser levemente inclinado na direção aparente F' por qual motivo?

REFLEXÃO 02 - Se um observador está viajando no espaço sideral a uma velocidade muito alta, próxima à da luz, seria está a visualização, isso ocorreria por que?

APÊNDICE H – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE OPINIÕES SOBRE OS TRABALHOS

Este questionário tem como objetivo avaliar o nível de aprendizagem comparando-se a situação no início, durante e término das aulas teóricas e práticas desenvolvidas ao longo de todo o processo, a ser aplicado após decorridos um intervalo de dias. As respostas conscientes a essas questões são muito importantes, pois servirá de base para avaliar a formação do conhecimento em relação ao conteúdo apresentado e a opinião subjetiva dos alunos envolvidos no processo.

PERGUNTAS DE OPINIÕES LIGADAS A RELEVÂNCIA DOS TRABALHOS:

P1. Na sua opinião a utilização dos óculos de Realidade Virtual ajudou para entender os efeitos da Contração do comprimento, Rotação de Terrell e Doppler relativístico?

SIM () NÃO ()

P2. O Efeito da Contração dos comprimentos ficou melhor entendido quando:

- () Explicado teoricamente.
- () Demonstrado na Lousa.
- () Visualizado pelo óculos de Realidade Virtual.

P3. O Efeito da Rotação de Terrell ficou melhor entendido quando:

- () Explicado teoricamente.

- () Demonstrado na Lousa.

- () Visualizado pelo óculos de Realidade Virtual.

P4. O Efeito Doppler Relativístico ficou melhor entendido quando:

- () Explicado teoricamente.
- () Visualizado através de figuras.
- () Visualizado pelo óculos de Realidade Virtual.

P5. Na sua opinião a utilização dos aplicativos ajudou na compreensão dos efeitos:

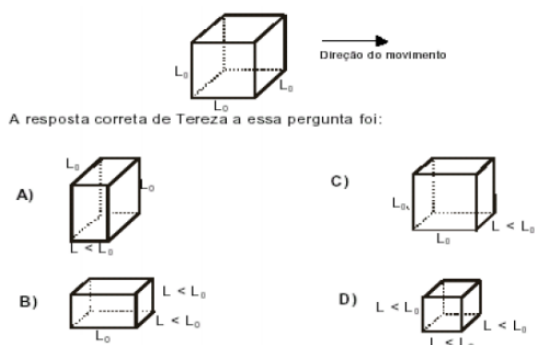
- () Pouco.
- () Moderadamente.
- () Muito.

P6. Na sua opinião os momentos de diálogos mediados pelo professor foram importantes em quais aspectos?

- () para tirar dúvidas.
- () para a troca de ideias.
- () para avançar no conteúdo.
- () Para todas as situações citadas anteriormente.

APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO LIGADO AOS TEMAS ABORDADOS DURANTE TODO O PROCESSO

Q1. (UFRN 2002- adaptado). Bastante envolvida com seus estudos para a prova do vestibular, Sílvia selecionou o seguinte texto sobre Teoria da Relatividade para mostrar à sua colega Tereza: À luz da Teoria da Relatividade Especial, as medidas de comprimento e tempo não são absolutas quando realizadas por observadores em referenciais inerciais diferentes. Conceitos inovadores como contração de Lorentz e dilatação temporal desafiam o senso comum. Um resultado dessa teoria é que as dimensões de um objeto são máximas quando medidas em repouso em relação ao observador. Quando o objeto se move com velocidade V , em relação ao observador, o resultado da medida de sua dimensão paralela à direção do movimento é menor do que o valor obtido quando em repouso. As suas dimensões perpendiculares à direção do movimento, no entanto, não são afetadas. Depois de ler esse texto para Tereza, Sílvia pegou um cubo de lado L_0 que estava sobre a mesa e fez a seguinte questão para ela: Tendo como base as medidas feitas, como seria a forma desse cubo se ele estivesse se movendo, com velocidade relativística constante, conforme direção indicada na figura a seguir?



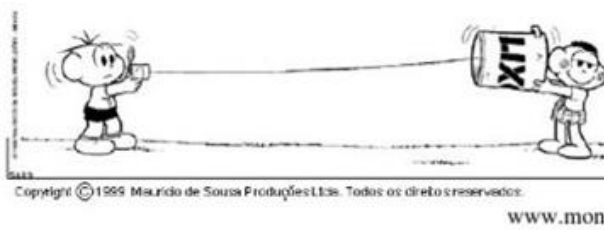
(Este texto servirá de base para a pergunta Q.2)

O fenômeno da aberração da luz das estrelas foi descoberto em 1725, ao examinar a variação da posição aparente das estrelas no zênite da eclíptica durante o ano. Para compensar este efeito, era necessário inclinar o telescópio num ângulo de aproximadamente 20° . Este fenômeno não intuitivo é chamado "aberração da luz". A aberração é a mudança de direção aparente de um sinal quando nos movemos. Mais nós vamos rápido mais o décor parece reduzir-se para a frente na direção do deslocamento. Se um observador está viajando a uma velocidade muito alta, próxima à da luz, vai ser surpreendente a ilusão de ver diante dele, todos os objetos no Universo, aqueles localizados em frente, mas também para trás. Todos os objetos terão tendência a se aglomerar na direção em que o observador se move. Este é o fenômeno da aberração da luz. Além disso, por efeito Doppler o comprimento de onda das fontes de luz irá comprimir e o panorama fica ligeiramente azul. Finalmente, a quantidade de luz irá variar extremamente, tornando-se mais forte da frente e mais baixo para trás.

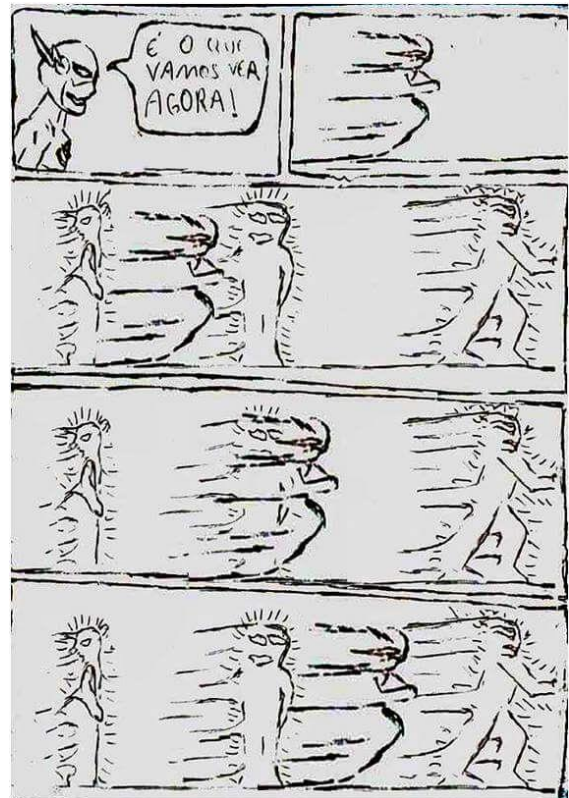
Q2. O fenômeno descrito no texto foi descoberto por:

- a) Albert Einstein
- b) Isaac Newton
- c) James Bradley
- d) Max Planck
- e) Galileu Galilei

Q3. Explique o que acontece no brinquedo criado pelas crianças da situação a seguir:



As tirinhas a seguir ilustram alguns efeitos ligados a relatividade de Einstein, faça a interpretação dos mesmos e responda as perguntas em seguida:



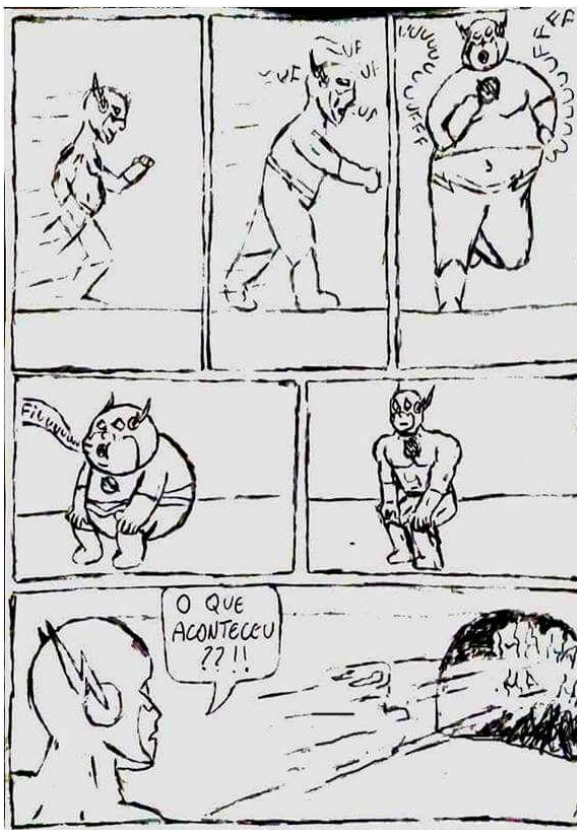


Figura 26: Três ilustrações de revista em quadrinhos que conta a história do Flash. Olha o Local.

Q4. Explique o motivo do Flash não conseguir ultrapassar a “luz”?

Q5. Explique a frase: Não importa seu referencial Flash?

(Este texto servirá de base para as perguntas Q.6 e Q.7 que seguem abaixo.)

Uma das consequências da Teoria da Relatividade Especial, proposta por Einstein em 1905, é o fato do comprimento de um objeto físico não ser um conceito absoluto. Mais precisamente, o comprimento de um objeto medido por observadores em movimento em relação a esse objeto será menor do que o comprimento medido por observadores em repouso em relação ao objeto -- é a chamada Contração de Lorentz. Um questionamento natural é se esse efeito pode ser visualizado, por exemplo, através de um registro fotográfico (isto é, pelo conjunto de raios de luz que atingem um filme fotográfico no mesmo instante de tempo). Na Relatividade Especial, o conceito de tempo, assim como as distâncias, não é um conceito absoluto e, portanto, a resposta para a pergunta anterior não parece ser tão simples.

(<http://ic.ufabc.edu.br/simposios/index.php?conferencia=EIC&schedConf=4EIC2014&page=paper&op=view&path%5B%5D=1580>)

Q6. Quais dos físicos a seguir conseguiram mostrar o que ocorre de acordo com o texto acima:

- a) Einstein e Newton
- b) Einstein e Galileu
- c) Penrose e Terrell
- d) Penrose e Einstein
- e) Terrell e Newton.

Q7. O que é visto na fotografia? E como é conhecida?

(As imagens a seguir é uma simulação computacional que retrata a visualização relativística que servirá de base para as perguntas Q.8 e Q.9 que seguem abaixo.)



Figura 1: Capturada do vídeo disponibilizado pelo link: <http://spacetoday.com.br/video-mostra-quais-seriam-os-efeitos-de-se-viajar-proximo-a-velocidade-da-luz/>



Figura 2: Capturada do vídeo disponibilizado pelo link: <http://spacetoday.com.br/video-mostra-quais-seriam-os-efeitos-de-se-viajar-proximo-a-velocidade-da-luz/>



Figura 3: Capturada do vídeo disponibilizado pelo link: <http://spacetoday.com.br/video-mostra-quais-seriam-os-efeitos-de-se-viajar-proximo-a-velocidade-da-luz/>

Q8. As imagens acima sugerem alguns efeitos relativísticos, quais são eles?

Q9. Os valores indicados representam quais Grandezas Físicas?

ANEXO A – TEXTOS AUXILIARES

TEXTO 01: PENSAMENTO DO INÍCIO DO SÉCULO XX

No início do século XX, a maioria dos físicos acreditava que a Física estava completa, descrita através da Mecânica Clássica, do Eletromagnetismo de Maxwell e da Termodinâmica. Como ficou evidenciado em 1900, em uma palestra do Físico Lord Kelvin, na Sociedade Britânica para o Progresso da Ciência, onde foi dito que:

“Não há mais nada novo para ser descoberto em Física agora. Tudo que falta são medidas mais precisas...algumas casas decimais a mais...” exceto.... ‘Duas nuvens’ no horizonte...

Atualmente sabemos que foi um equívoco pensar desta forma, já que as pesquisas científicas de modo geral nunca estão finalizadas e sim estão em constantes aprimoramentos e buscando cada vez mais avanços significativos.

PENSAMENTOS DE COMO ENXERGAMOS NA ANTIGUIDADE

Aquilo que costumamos chamar de “óptica geométrica”, já estava plenamente desenvolvido, desde a Antiguidade já se conhecia a propagação retilínea da

luz, a lei da reflexão em espelhos planos, e o funcionamento de espelhos côncavos e convexos. Também se sabia, pelo menos desde a época dos gregos e dos romanos, que era possível concentrar a luz do Sol utilizando esferas de cristal, bem como ver de forma ampliada olhando através dessas esferas. A refração ou desvio da luz que é a passagem de um meio transparente para outro, já era conhecido desde a Antiguidade (Martins & Silva).

Muitos pensadores dessa época como Platão e Aristóteles tentaram explicar os fenômenos visuais, através de diversas teorias, tais como:

- **Muitos aceitavam que a visão ocorria através de “raios visuais” que saiam dos olhos das pessoas e iam até os objetos** (Martins & Silva).

- Já os atomistas⁸ antigos supunham que saiam películas⁹ de átomos das superfícies dos corpos que chegavam até nós, transmitindo sua forma e cor (Martins & Silva).
- Aristóteles considerava que a visão era transmitida através de algo imaterial que passava instantaneamente pelos meios transparentes, dos objetos até nós (Martins & Silva).
- Segundo Descartes, todo o espaço estaria preenchido completamente por uma matéria sutil, infinitamente divisível, formada por partículas que podem se quebrar e se fundir, constituindo diversos tipos de matéria. Essas partículas possuem somente propriedades geométricas (tamanho, forma, movimento), todas as outras propriedades da matéria deveriam ser explicadas, a luz não supõe qualquer transporte de matéria, mas sua transmissão necessita um suporte material, para ele a luz não é propriamente um movimento, mas um esforço, uma inclinação ou tendência ao movimento; por isso a luz pode atravessar corpos densos e outros raios de luz, sem qualquer impedimento pelas combinações e movimentos de tais corpúsculos. Ele supôs que as cores eram produzidas através de

PENSAMENTOS DE COMO AS CORES SÃO PRODUZIDAS

Ainda na Antiguidade a busca de explicar os fenômenos ópticos era implacável, e motivava os pensadores, tais pensamentos foram:

- Aristóteles procurou explicar vários fenômenos ópticos, como as cores do arco-íris, desenvolvendo a proposta de que cada cor era produzida por uma mistura de luz e escuridão. (Martins & Silva).

⁸ Os atomistas foram aqueles que acreditavam que os elementos básicos da realidade eram átomos, partículas de matéria indivisíveis, indestrutíveis, que se moviam no espaço. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/atomismo/>>. Acesso em: 02 mar de 2018.

⁹ Camada muito fina formada à superfície de algo. Disponível em: <<https://www.info-pedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/pel%C3%ADcula>>. Acesso em: 04 mar de 2018.

modificações da luz branca (Martins & Silva).

- **Charleton argumenta que as penas do pescoço de um pombo ou da cauda de um pavão adquirem diferentes cores, conforme a incidência da luz sobre elas, um exemplo que já era utilizado pelo atomista romano Lucretius. Como outros autores da época, seguindo a antiga teoria de Aristóteles, Charleton acreditava que as diversas cores são produzidas por uma mistura de branco e preto ou de luz e sombra, em várias proporções. O azul ou violeta teria a maior proporção de sombra, e o vermelho teria uma pequena proporção. Segundo esse autor, pode-se produzir uma cor verde misturando amarelo com azul porque todas elas são diferentes misturas de luz e sombra (Martins & Silva).**
- **Já Platão pensava que a cor é um tipo de chama constituída por corpúsculos diminutos que são lançados pelo objeto contra o olho, e que a maioria dos filósofos modernos aceita**

que as cores provêm da mistura de luz e escuridão, ou de luz e sombra (Martins & Silva).

Segundo os autores Martins e Silva, o pensamento até o século XVII, não se sabia qualquer coisa relacionada a velocidade da luz e pensava-se que a mesma se propagava instantaneamente. E ao contrário que muitos pensam parece ter sido. Descartes o primeiro a publicar um experimento com prisma, que consistia na luz atingisse perpendicularmente uma das faces do prisma, de tal modo que ela só era desviada ao sair pela outra face; está, por sua vez, era coberta por um corpo opaco, com uma pequena abertura. O feixe luminoso que saía por ela produzia, a uma certa distância, as cores do arco-íris. Descartes concluiu imediatamente que não era necessário haver nenhuma superfície curva para produzir as cores; que não precisa haver nenhuma reflexão e que uma única refração era suficiente para criar esse fenômeno.

PENSAMENTOS CORPUSCULARES DA LUZ A PARTIR DO SURGIMENTO DO GÊNIO

Foi no dia de Natal de 1642, Hannah Newton (mãe), deu à luz ao seu pri-

meiro filho e o chamou de **Isaac** em homenagem ao pai dele, um agricultor que morreu dois meses antes, aos 36 anos. Era um bebê prematuro, tão pequeno e frágil que a mãe temeu que não passasse do primeiro dia. Era tão miúdo que, como ele contou a seu biógrafo muitos anos mais tarde, “podiam pô-lo numa panela de um litro”. Mas ele viveu e, embora fosse ocasionalmente acometido por doenças e tenha sido um hipocondríaco¹⁰ durante a vida toda, Newton contrariou a predição delas e viveu até os 84 anos (BRENNAN, 1998).

Newton teve uma infância difícil e aos três anos, sua mãe se casou novamente com Barnabas Smith, um pastor com o dobro da idade dela, e o menino foi mandado para a casa da avó materna, com quem passou a morar (BRENNAN, 1998).

Na educação Básica era tido como um aluno mediano, mas aos poucos logo o seu genialíssimo surgiu e na educação superior teve seu apogeu, onde seus estudos foram baseados em Aristóteles

e Platão. Nessa época os estudos já estavam bem avançados e surgia o movimento hoje conhecido como a “**revolução científica**” e muitas das obras fundamentais para a ciência moderna haviam sido lançadas. Desde seus primeiros dias na faculdade, agiu mais como um pós-graduado que como um calouro. Lia o que queria ler e estudava o que lhe interessava. Mais tarde Newton encontrou seu próprio caminho, e um caminho que levou a René Descartes, Sir Francis Bacon, Galileu Galilei e Johannes Kepler. Há claros sinais de que eles, e não os cursos oficiais, influenciaram profundamente o futuro cientista (BRENNAN, 1998).

A influência de Descartes foi muito além desse campo. O intelectual francês e os demais filósofos mecanicistas da época concebiam a realidade Física como inteiramente composta de partículas de matéria em movimento e afirmavam que todos os fenômenos na natureza resultam interações mecânicas das partículas. Os registros no diário de Newton e suas anotações mostram que

¹⁰A **hipocondria**, do grego *hypo-* (a baixo) e *chondros* (cartilagem do diafragma), também conhecida por **nosomifalia**, é um estado psíquico em que a pessoa tem a crença infundada de que padece de uma doença grave. Costuma vir associada a um medo irracional da morte, a uma obsessão com sintomas ou defeitos físicos irrelevantes, preocupação e auto-observa-

ção constante do corpo e até às vezes, à descrença nos diagnósticos médicos. Muitas vezes encarada como algo engraçado, a patologia é séria e prejudica a vida de pacientes e parentes. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Hipocondria>>, Acesso em 22/04/2018 às 17:10h)

ele conhecia a fundo todas as obras de Descartes e que considerava essa nova abordagem um meio melhor de explicar a natureza que a filosofia aristotélica que prevalecia na época (BRENNAN, 1998).

Em 1665, durante 17 meses recluso em casa por conta de doenças na região **Newton chegou a importantes descobertas sobre as propriedades da luz e da cor — descobertas que mais tarde formariam a base da Óptica.**

Em 1660, Carlos II, um pretense físico amador, criou a Royal Society de Londres, uma organização independente que se tornou o principal centro da atividade científica inglesa durante os séculos XVII e XVIII (BRENNAN, 1998). Onde Newton foi posteriormente aceito como membro e com a entusiástica acolhida da Royal Society ao seu telescópio, **sentiu-se suficientemente encorajado para apresentar um breve artigo sobre a luz e as cores.** O estudo da luz e da óptica, que fora uma marca central da revolução científica. A contribuição de Newton dizia respeito às **cores e à sua relação com a luz branca. O saber convencional da época sustentava que as cores surgem de uma modificação da luz que, em sua forma primitiva, mostra-se branca.**

Foi pela leitura de Charleton e Boyle que Newton foi levado a uma teoria corpuscular da luz e uma teoria atômica da matéria (Martins & Silva).

- **Newton preferia outro tipo de explicação completamente diferente sobre a luz a hipótese atomista, ou corpuscular.**

Inicialmente ele adotou um ponto de vista corpuscular bastante curioso. Supôs que havia partículas redondas ou glóbulos de luz que se moviam em meio ao éter, em vez de átomos que se movem no espaço vazio, como no caso dos atomistas.

Explicação de Newton para as cores:

“As cores surgem ou por sombras intercaladas com luz, ou reflexão mais forte e mais fraca, ou partes do corpo misturadas e levadas pela luz”

Logo em seguida, ele apresentou críticas a hipótese da mistura de luz e sombra:

“Nenhuma cor surgir da mistura de branco com negro puro, pois [em caso contrário] as figuras desenhadas com tinta [preta] seriam coloridas e o que fosse impresso pareceria colorido a distância, e as bordas das sombras seriam coloridas, e o preto da fuligem e o branco espanhol

produziriam cores; portanto, elas [as cores] não podem surgir de uma reflexão maior ou menor da luz, ou de sombras misturadas com a luz"

Foi durante sua permanência na fazenda de sua mãe, que Newton realizou uma série de experimentos em que o espectro de um estreito feixe de luz era projetado através de um **prisma** sobre a parede de um quarto escuro. Observou que um raio de luz que atravessa um prisma é refratado (defletido ou curvado) e que diferentes partes dele sofrem refrações diferentes. O resultado não é meramente uma mancha de luz mais ampla, mas uma banda de cores consecutivas: **vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta**. Quando a luz refratada passava por um segundo prisma, as diferentes cores se recombinavam para formar luz branca.

Essa descoberta o levava à conclusão de que:

"...a luz não é homogênea e sim complexa e que o fenômeno das cores surge da decomposição de uma mistura heterogênea em seus componentes simples. Concluiu ainda que a luz consiste de partículas minúsculas" (BRENNAN, 1998).

Em 1675, Hooke um dos contrários as ideias de Newton, finalmente aceitou a

sua teoria das cores. Encorajado por essa notícia, aventurou-se a publicar um novo artigo sobre a cor, além de um segundo texto intitulado "Uma hipótese para explicar as propriedades da luz" (BRENNAN, 1998).

➤ ***Newton concluiu que os raios mais lentos são os que produzem as cores azul, cor celeste e purpura; os mais rápidos, vermelho e amarelo; e os de velocidade intermediária produzem o verde. Supôs também que uma mistura de raios rápidos e lentos produz branco, cinza e preto.***

Nesse meio tempo, as disputas perpétuas com Robert Hooke continuavam. Newton era tão sensível às críticas de Hooke que só depois que este morreu, em 1703, publicou *Óptica*, sua obra definitiva sobre luz e cores, embora ela representasse um trabalho feito 20 anos antes. Newton foi simplesmente incapaz de enfrentar críticas ao longo de toda a sua vida (BRENNAN, 1998).

Newton não defendeu abertamente a corporeidade da luz (SILVA; MOURA, 2008), como podemos ver nas suas próprias palavras:

É verdade que, a partir de minha teoria, argumento pela corporeidade da luz;

Contudo, faço isto sem qualquer certeza, como a palavra talvez deixa implícito;

E o faço, no máximo, como uma consequência muito plausível da doutrina, não

Como uma suposição fundamental (ROTHMAN, p.37, 2005).

Segundo Isaac Newton (1643-1727), a luz era composta por partículas corpusculares, pequenas esferas que colidiam com as superfícies e sofriam reflexão e refração.

REFERÊNCIAS

MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino. **As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4. 2015.

BRENNAM, R. **Os gigantes da física.** Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **POPULARIZAÇÃO NA CIÊNCIA: A ÓPTICA DE NEWTON NO SÉCULO XVIII.** 2008.

ROTHMAN, Tony. **Tudo é relativo: e outras fábulas da ciência e tecnologia.** Rio de Janeiro: Editora Difel, 2005.

TEXTO 02

PENSAMENTOS ONDULATÓRIOS DA LUZ

A concepção corpuscular para a luz que descrevia a luz como uma partícula, defendida implicitamente por Newton, foi amplamente difundida no Século XVIII, mas foi alvo de críticas e enfrentou sérios problemas conceituais.

Um dos primeiros pensamentos que discordava da teoria corpuscular foi o de **Francesco Maria Grimaldi** (1618-1663), era um Jesuíta italiano nascido em Bologna, que estudou a difração da luz e demonstrou a teoria ondulatória de sua propagação, cujos resultados foram publicados postumamente na obra *Physicomathesis de Lumine, Coloribus, et iride, aliisque annexis* (1665), em português o título do livro é “*Teses Físicas da Luz, Cor e Visão*”, em Bologna. Suas descobertas científicas mais importantes seriam em ótica. Ele fez várias descobertas de importância fundamental que, devido a antecedência no tempo, seus significados só foram reconhecidos cerca de um século depois. **O primeiro destes foi o fenômeno de difração. Ele observou que**

mesmo no ar a luz não seguia em linha reta: havia luz mesmo na sombra geométrica, e o fenômeno não dependia do material do anteparo. Sua concepção da luz era essencialmente ondulatória, a de um fluido em repouso com ondulações. A difração era explicada por ***analogia com as ondas de superfície da água, como as ondas do mar que são difratadas ao passar por um barco ancorado.*** A densidade do fluido que propaga a luz dependeria do meio material onde a luz se propagaria e determinaria sua velocidade no meio. Este fenômeno para o qual ele deu o nome de difração, também foi estudado por Robert Hooke (1635-1703) e Newton, mas a verdadeira explicação sobre a teoria de ondas seria demonstrada (1819) por Augustin Fresnel (1788-1827).¹¹

PENSAMENTOS DE CHRISTIAN HUYGENS

Nasceu em Haia, 14 de abril de 1629 e faleceu em Haia, 8 de julho de 1695 foi um físico, matemático, astrônomo e horologista¹² neerlandês.

Em Física, Huygens é bastante lembrado por seus estudos sobre luz e cores, percepção do som, estudo da força centrífuga, o entendimento das leis de conservação em dinâmica equivalentes ao moderno conceito de conservação de energia, o estudo da dupla refração no cristal da Islândia, e a teoria ondulatória da luz baseada na concepção de que a luz seria um pulso não periódico propagado pelo éter. Através dela, explicou satisfatoriamente fenômenos como a propagação retilínea da luz, a refração e a reflexão. Também procurou explicar o então recém descoberto fenômeno da dupla refração. Seus estudos podem ser consultados em seu mais conhecido trabalho sobre o assunto, o "Tratado sobre a luz".

Discordava de vários aspectos da teoria sobre luz e cores de Isaac Newton (1643-1727), que era baseada implicitamente numa concepção corpuscular para a luz. Discutiu com ele durante muitos anos, mas, ao contrário do que geralmente se acredita, suas teorias nunca tiveram uma disputa em grandes proporções.

¹¹ **Retirado do site:** <https://brasilecola.uol.com.br/biografia/francesco-maria-grimaldi.htm>, acessado em 03/06/2018 às 18:00h

¹² **Horologia** é o estudo ou a ciência e arte relacionada aos instrumentos de medição

de tempo. Relógios, e cronógrafos são exemplos de instrumentos usados para medir o tempo. <https://pt.wikipedia.org/wiki/Horologia> acessado em 12/07/2018 às 11:48h.

O modelo ondulatório: analogia com o som

Huygens inicia sua defesa em favor de um modelo ondulatório para a luz, argumentando que “não se pode duvidar que a luz consista no movimento de certa matéria” (p. 12), sendo a visão uma evidência disso:

Considera-se certo que a sensação de visão é excitada pela impressão de algum movimento de uma matéria que age sobre os nervos no fundo de nossos olhos e essa é ainda uma outra razão para se crer que a luz consiste em um movimento da matéria que se encontra entre nós e os corpos luminosos (p. 12).

Outras “verdades experimentais” – a “extrema velocidade” da luz, seu espalhamento “por todos os lados” e “[os raios luminosos] se atravessam uns aos outros sem se atrapalharem” (p. 12) –, tratadas mais adiante, levam-no a se opor ao modelo da luz como conjunto de corpúsculos: “quando vemos um objeto luminoso, isso não poderia ocorrer pelo transporte de matéria que venha do objeto até nós, como uma flecha ou bala que atravessa o ar” (p. 12). Recorre, então, “ao nosso conhecimento da propagação do som no ar” (p. 12), aplicando-o à luz:

Sabemos que, por meio do ar, que é um corpo invisível e impalpável, o

som se propaga em toda a volta do lugar onde foi produzido, por um movimento que passa sucessivamente de uma parte do ar a outra. A propagação desse movimento se faz com igual velocidade para todos os lados e devem se formar como superfícies esféricas que crescem sempre e que chegam a atingir nossas orelhas. {...}. Se a luz gasta tempo para essa passagem {de um corpo luminoso até nós} {...} seguir-se-á que esse movimento impresso à matéria é sucessivo e que, conseqüentemente, ele se espalha, assim como o som, por ondas esféricas (p. 12).

Ele admite, no entanto, que apesar das semelhanças, há diferenças nos dois domínios: “na primeira produção do movimento que os causa” (p. 16), no meio de sustentação da onda e na forma de propagação. No que diz respeito à produção, Huygens afirma que, no caso do som, está se dá pelo “súbito abalo de um corpo inteiro, ou de uma parte considerável”, enquanto que, no caso da luz, “deve nascer como de cada ponto do objeto luminoso” (p. 17). Além disso, “a agitação das partículas que geram a luz deve ser muito mais rápida e brusca do que a que causa o som” (p. 17). Mais adiante, volta a insistir nesses aspectos da luz, tornando-os

mais claros: “na chama de uma vela (figura 1), sendo distinguidos os pontos A B e C, os círculos concêntricos descritos em torno de cada um desses pontos representam as ondas que deles provêm” (p. 21). A referência à agitação muito rápida das partículas produtoras de luz não significa, no entanto, que Huygens imaginava a luz sendo constituída de ondas periódicas:

Como as percussões no centro dessas ondas não possuem uma sequência regular, também não se deve imaginar que as ondas sigam umas às outras por distâncias iguais: se essas distâncias o parecem nessa figura, é mais para indicar o progresso de uma mesma onda em tempos iguais, do que para representar várias [ondas] provenientes de um mesmo centro (p. 21).



Figura 28: Desenho retirado do Tratado: ondas concêntricas a partir dos pontos A, B e C de uma vela.

Nessa figura, os círculos concêntricos não representam, tal como hoje poderiam ser entendidos, uma onda perió-

dica com a distância entre eles denotando o comprimento de onda, mas indicam “o progresso de uma mesma onda em tempos iguais”.

Assim nesse cenário de incertezas também surgiu **Thomas Young** (1773-1829) que é comumente celebrado como o iniciador de uma retomada da **teoria ondulatória para a luz** no início do Século XIX. Seu conceito de luz como ondas e, principalmente, seu princípio de interferência ilustrado pelo famoso **experimento da fenda dupla** teriam despertado o interesse pela teoria ondulatória adormecido no século anterior, completamente dominado pela concepção corpuscular da luz de Isaac Newton (1642-1727). Os trabalhos sobre luz representaram apenas uma parcela de toda a atividade de Young na filosofia natural. Formado médico em 1799, ele foi autodidata em várias áreas e aos 21 anos, foi eleito membro da Royal Society de Londres. Ele sabia que não era o primeiro a advogar favoravelmente a uma concepção ondulatória para a luz. No século XVII, Huygens, propôs a ideia de que a luz fosse um fenômeno ondulatório. Francesco Maria Grimaldi observou os efeitos de difração, atualmente conhecidos como associados à natureza ondulatória da luz, em 1665, mas o significado das

suas observações não foi entendido naquela época, daí os trabalhos de Young foi um “difuso de águas”, constituiu-se mais de uma releitura teórica de fatos, experimentos e ideias que propriamente da discussão de uma prova crucial a favor da teoria ondulatória (Moura & Bragatto).

Foi em 1801, que Thomas Young foi o primeiro a demonstrar, com sólidos resultados experimentais, o fenômeno de interferência luminosa, que teve por consequência a aceitação da teoria ondulatória.

Na experiência realizada por Young, são utilizados três anteparos, sendo o primeiro composto por um orifício, onde ocorre difração¹³ da luz incidida, o segundo, com dois orifícios, postos lado a lado, causando novas difrações. No último, são projetadas as manchas causadas pela interferência das ondas resultantes da segunda difração. Ao substituir-se estes orifícios por fendas muito estreitas, as manchas tornam-se franjas, facilitando a visualização de regiões mais bem iluminadas (máximos) e regiões mal iluminadas (mínimos)¹⁴.

¹³ Denomina-se **difração** o desvio sofrido por ondas ao passarem por um obstáculo, tal como as bordas de uma fenda em um anteparo (<https://www.infoescola.com/fisica/difracao/>).

As experiências de Young capacitaram-no a medir o comprimento de onda da luz.

Já o físico francês **Augustin-Jean Fresnel**, contribuiu significativamente para a teoria da óptica ondulatória, morre em Ville d’Avray, em 14 de julho de 1827, aos 39 anos. É considerado o fundador da óptica moderna. contribuiu significativamente na teoria da óptica ondulatória, onde ele estudou o comportamento da luz tanto teórica como experimentalmente e é considerado o fundador da óptica moderna.¹⁵ Ele demonstrou experimentalmente a natureza ondulatória da luz e explicou os fenômenos da polarização e da dupla refração. Inventou o bi prisma de faixas (Bi prisma de Fresnel), com o qual se pode estudar os fenômenos de interferência, e o sistema formado por dois espelhos planos em ângulo (Espelhos de Fresnel), com o qual se obtém focos de luz coerentes. As chamadas Equações de Fresnel permitem relacionar a intensidade de um feixe luminoso com a in-

¹⁴ **Retirado do site:** <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatoria/Ondas/experienciadeyoung.php> acessado em 03/05/2018 às 17h.

¹⁵ **Retirado do site:** https://pt.wikipedia.org/wiki/Augustin_Jean_Fresnel, acessado em 03/05/2018 às 17:20h

tensidade de dois feixes, refletido e re-
fratado. Foi membro da Academia de
Ciências francesa e da Royal Society.¹⁶

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ

A primeira medida da velocidade da luz,
feita na própria Terra, sem usar méto-
dos astronômicos, foi realizada por **Hip-
polyte FIZEAU**, em 1849.

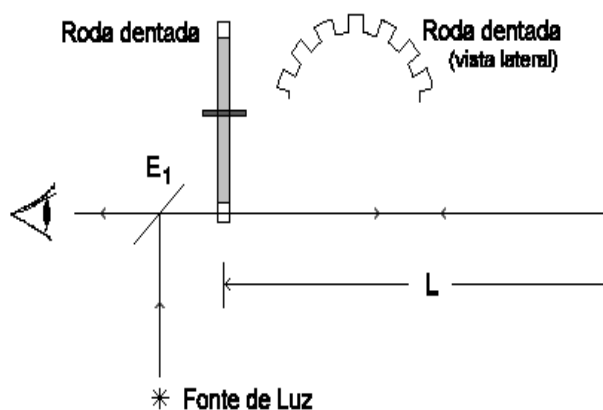


Figura 29: Desenho retirado do Tratado: ondas
concêntricas a partir dos pontos A, B e C de
uma vela.

Um feixe sai da fonte de luz e incide so-
bre o espelho E_1 que é semi-prateado:
metade da luz passa adiante e se perde
e metade se reflete para a direita. O
feixe refletido passa entre dois dentes
de uma roda dentada e percorre uma

grande distância entre a roda e um es-
pelho normal E_2 . Refletindo em E_2 ele
volta pelo mesmo caminho, no sentido
contrário. Passando novamente entre
dois dentes da roda metade da luz
passa por E_1 e chega ao olho do obser-
vador (Fizeau).

Nessa situação, põe-se a roda para gi-
rar com velocidade constante. Ajustando convenientemente a velocidade da roda é possível fazer com que o observador deixe de ver o feixe de luz. Isso se dará se, exatamente no tempo T que a luz leva para ir da roda até E_2 e voltar, a roda gira e antepõe um dente no caminho do feixe que volta. Seja L a distância entre a roda e o espelho E_2 . A luz percorre $2L$ (ida e volta) em um tempo $T = 2L/c$, onde c é a velocidade da luz que Fizeau queria medir. Nesse mesmo tempo a roda gira e, no ponto onde o feixe deve passar, um espaço é substituído por um dente. Sendo N o número de dentes e se a roda dá M voltas por segundo, o tempo para trocar entre um **espaço** e um **dente** será $1/2MN$. Igualando esse tempo a T obtém-se $2L/c = 1/2MN$, logo, $c = 4LMN$. Portanto, basta medir o número de voltas por segundo (M), a distância L e o número de dentes N

¹⁶ Retirado do site: <http://operamundi.uol.com.br/conteudo/historia/36014/hoje+na+histo->

[ria+1827++morre+o+fisico+augustin-jean+fresnel+fundador+da+optica+moderna.shtm](http://operamundi.uol.com.br/conteudo/historia/36014/hoje+na+historia+1827++morre+o+fisico+augustin-jean+fresnel+fundador+da+optica+moderna.shtm),
acessado em 03/06/2018 às 20:30h

para se obter c . A roda usada por Fizeau tinha 720 dentes e a distância L era de 8.633 metros. Fizeau achou $M = 12,5$ voltas/segundo, obtendo $c = 315.00\text{km/s}$. Nada mal para uma primeira tentativa, quase 200 anos atrás.

Outro físico que contrariou a teoria corpuscular foi o francês **Jean Bernard Léon Foucault**, ele em 1850 fez um experimento com o aparelho de Fizeau-Foucault para medir a velocidade da luz, que veio a ser conhecido com o experimento de Foucault-Fizeau. Ele repetiu, com melhoras, a medida da velocidade da luz usando um espelho girante no lugar da roda dentada. Com esse equipamento, Foucault conseguiu medir a velocidade da luz dentro de um longo tubo com água. O resultado mostrou que a luz anda mais devagar (ou menos depressa, melhor dizendo) na água que no ar. Dois meses depois, Fizeau repetiu essa experiência e confirmou a medida de Foucault. Tal experimento foi visto como "o último prego do caixão" da teoria corpuscular da luz, de Newton, pois mostrou que **a luz viaja mais lentamente na água que no ar**¹⁷. Este efeito contrariava a teoria corpuscular de Newton, está afirmava que

a luz deveria ter uma velocidade maior na água do que no ar. Só que a história ainda não estava toda contada: no início desse século, com os trabalhos de Max Planck e Albert Einstein, a teoria corpuscular ressurgiu das cinzas e surgiram os "fótons", ou partículas de luz. Mas, essa já é outra história que contaremos em outra ocasião¹⁸.

REFERÊNCIAS

QUEIROZ, Glória Regina, P. C. e KRASPAS, Sonia, **O TRATADO SOBRE A LUZ DE HUYGENS: COMENTÁRIOS**, Programa de Pós-graduação em Educação – UFF, Niterói – RJ, Departamento de Física – UERJ, Cad. Bras. Ens. Fís., v. 28, n. 1: p. 123-151, abr. 2011.

MOURA, Breno Arsioli; BOSS, Sergio Luiz Bragatto. **Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada de sua Teoria Sobre Luz e Cores**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 4. 2015.

¹⁷ Retirado do site: https://pt.wikipedia.org/wiki/Jean_Bernard_L%C3%A9on_Foucault, acessado em 03/06/2018 às 17:00h

¹⁸ Retirado do site: <http://www.searadaciencia.ufc.br/especiais/fisica/veluz/veluz2.htm>, acessado em 03/06/2018 às 21:00h

TEXTO 03

PENSAMENTOS ATUAIS A DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

No decorrer do século XIX, com base em análises e experiências, verificou-se que a luz apresenta um comportamento dual: ora como partícula, ora como onda.

Em 1924, o **Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7.º duque de Broglie**, geralmente conhecido por **Louis de Broglie** (nasceu em Dieppe, 15 de agosto de 1892 — faleceu em Louveciennes, 19 de março de 1987), foi um físico francês que contribuiu para a formulação da Teoria da Mecânica quântica. Ele postulou, em sua tese de doutorado, que partículas também possuíam um comprimento de onda, uma onda de matéria. De Broglie também postulou que se elétrons fossem adequadamente submetidos ao experimento de dupla fenda, também apresentariam um padrão de interferência. Em 1925, de Broglie publicou a teoria da Onda piloto, uma interpretação realista dos fenômenos quânticos nos quais o movimento do elétron e outras partículas quânticas são guiados por uma onda de fase, a onda piloto. Em

1927, o experimento de Davisson–Germer confirmou essa previsão de De Broglie, estabelecendo a dualidade onda-partícula da matéria. Em 1929, recebeu o Prêmio Nobel pela descoberta da natureza ondulatória do elétron.¹⁹

Em 1952, David Bohm aprofundou essa teoria formulando a interpretação de Bohm, ou de De Broglie-Bohm. Em 2011, o cientista Aephraim Steinberg utilizou o experimento de fenda dupla para realizar simultaneamente uma medida fraca da posição e do momento de um fóton. Esse experimento parece comprovar as trajetórias de Bohm previstas pela interpretação de de Broglie-Bohm.

Louis de Broglie, formulou uma hipótese na qual afirmava que:

- **Toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico.**²⁰

Devido à descoberta do comportamento ondulatório dos elétrons, De Broglie conquistou o Prêmio Nobel de Física.

¹⁹ Retirado do site: https://pt.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie

²⁰ Retirado do site: https://pt.wikipedia.org/wiki/Onda_de_mat%C3%A9ria, acessado em 03/05/2018 às 18:40h

sica em 1929 e, aos 37 anos o mais jovem membro da galeria dos prêmios Nobel.²¹

O fato de ser DUAL NÃO significa que estas características se revelem SIMULTANEAMENTE.

Na realidade, apenas uma característica é revelada em cada experimento!!!! Ou seja, é a natureza do experimento que determina a característica da radiação (onda ou partícula).

Já o físico **James Clerk Maxwell James Clerk Maxwell** (nasceu em Edimburgo, 13 de junho de 1831 — faleceu em Cambridge, 5 de novembro de 1879) foi um físico e matemático escocês. É mais conhecido por ter dado forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Esta é a teoria que surge das equações de Maxwell, assim chamadas em sua honra e porque foi o primeiro a escrevê-las juntando a lei de Ampère, modificada por Maxwell, a lei de Gauss, e a lei da indução de Faraday. Maxwell demonstrou que os campos elétricos e

magnéticos se propagam com a velocidade da luz. Ele apresentou uma teoria detalhada da luz como um efeito eletromagnético, isto é, que a luz corresponde à propagação de ondas elétricas e magnéticas, hipótese que tinha sido posta por Faraday. Foi demonstrado em 1864 que as forças elétricas e magnéticas têm a mesma natureza: uma força elétrica em determinado referencial pode tornar-se magnética se analisada noutro, e vice-versa. Ele também desenvolveu um trabalho importante em mecânica estatística, estudou a teoria cinética dos gases e descobriu a distribuição de Maxwell-Boltzmann. Seu trabalho em eletromagnetismo foi a base da **relatividade restrita de Einstein** e o seu trabalho em teoria cinética de gases fundamental ao desenvolvimento posterior da mecânica quântica

Foi de Maxwell a afirmação:

- *A luz é uma "modalidade de energia radiante" que se "propaga" através de ondas eletromagnéticas.*

ENTENDENDO O QUE É A LUZ?

Enfim, a luz é um tipo de onda ou um emaranhado de partículas que se propagam no espaço? A resposta a essa

²¹ Retirado do site: <https://www.infoescola.com/quimica/modelo-atomico-de-broglie/>, acessado em 02/05/2018 às 10:20h

pergunta é intrigante. **A luz é tanto onda quanto partícula. A dualidade onda-partícula da luz mostra-nos esse seu comportamento duplo.**

A luz sofre fenômenos como refração, dispersão e polarização, característicos das ondas. No entanto, para se compreender o efeito fotoelétrico, por exemplo, deve-se considerar que ela é composta pelas partículas denominadas de **fótons**.

E o que são esses Fótons?

Os **fótons** são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos “pacotes” que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas. Segundo Einstein, um fóton deve possuir uma quantidade fixa de energia.

E os fótons possuem Massa?

Segundo Einstein, a energia de um objeto depende de uma relação entre sua massa e sua velocidade.

$$E = m \cdot c^2$$

Na equação acima, **E** é a energia acumulada por um corpo, **m** é a massa do elemento e **c** é a velocidade da luz. Igualando essa equação àquela que define a energia de um fóton, podemos definir sua massa. **Esse elemento não**

possui massa de repouso, ou seja, não apresentará massa se estiver em repouso.

Fótons no dia a dia

Algumas tecnologias do cotidiano funcionam a partir da interação com fótons. As lâmpadas que se acendem sozinhas estão conectadas a um dispositivo denominado célula fotovoltaica. Esse equipamento libera elétrons ao receber os fótons que compõem a luz solar. Essa corrente elétrica, ao passar por uma bobina, gera um campo magnético que mantém o circuito aberto. Durante a noite, com a falta da luz solar, o fluxo de elétrons é interrompido, causando fechamento do circuito e acendendo a lâmpada.



Figura 30: Ilustração do Luxímetro.

Outra aplicação é o aparelho denominado de Luxímetro. Muito utilizado por fotógrafos, esse equipamento é um medidor de luminosidade que determina a intensidade de uma fonte luminosa por meio da recepção de fótons.

Devemos nos lembrar que não podemos ignorar o comportamento ondulatório da radiação (interferência de Young, difração e outros fenômenos tipicamente ondulatórios). Assim, o **FÓTON é o objeto DUAL que carrega dentro de si ambas as informações, tanto as características ondulatórias, quanto as corpusculares.**

ESPECTRO VISÍVEL

É a porção do espectro eletromagnético cuja radiação pode ser captada pela visão humana. Identifica-se esta radiação como sendo a luz visível, ou simplesmente luz, uma sucessão contínua de irradiação magnética e elétrica que pode ser caracterizada pela frequência ou comprimento da onda. A luz visível abrange uma parte pequena do espectro eletromagnético na região de cerca de **380 nanômetros (violeta) até 770 nanômetros (vermelho) de comprimento da onda.** Para cada frequência da luz visível é associada uma **cor** que é uma percepção visual provocada pela ação de um feixe de fótons sobre células especializadas da retina, que transmite através de informação pré-processada no nervo óptico, impressões para o sistema nervoso.

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas são pulsos energéticos que se propagam no espaço transportando energia. Elas podem ser de dois tipos:

Ondas mecânicas: quando precisam de um meio material para se propagar;

Ondas eletromagnéticas: que podem se propagar no vácuo. São exemplos dessas ondas: as ondas de rádio, de TV, celulares, internet, ultrassons, micro-ondas, raios x, etc.

As ondas eletromagnéticas foram descritas matematicamente pelo físico escocês James Clerk Maxwell no século XIX. Ele se baseou nas equações dos cientistas: Coulomb, Ampere, Gauss e Faraday, dando a elas uma nova visão e formando um conjunto de quatro equações que demonstram a interação entre o campo elétrico e campo magnético e suas relações com a voltagem e a corrente elétrica. Estas equações passaram a ser conhecidas como equações de Maxwell e são a base do eletromagnetismo. Maxwell também provou que a luz é uma onda eletromagnética e que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Todas estas contribuições, o tornaram tão importante para o eletromagnetismo,

quanto Isaac Newton é para a mecânica.

E são originadas por cargas elétricas oscilantes aceleradas, constituídas por dois campos variáveis (um elétrico e outro magnético) propagando no espaço, como é ilustrado na **figura 31** a seguir:

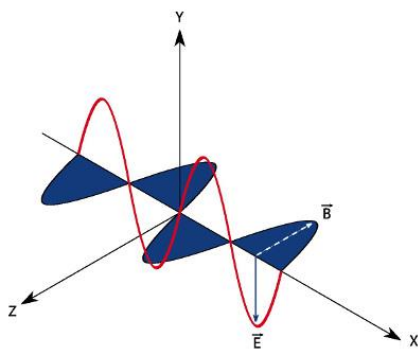


Figura 31: Captura de tela do site: <https://brasilestola.uol.com.br/fisica/o-que-sao-ondas-ele-tromagneticas.htm>.

REFERÊNCIAS

"Experiência de Young" em *Só Física. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008-2018*. Consultado em 03/05/2018 às 21:19. Disponível em <http://www.sofisica.com.br/conteudos/Ondulatória/Ondas/experiencia-deyoung.php>.

MARTINS, Roberto de Andrade; SILVA, Cibelle Celestino. **As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4. 2015.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **POPULARIZAÇÃO NA CIÊNCIA: A ÓPTICA DE NEWTON NO SÉCULO XVIII**. 2008.

TEXTO 04:

REFERENCIAL INERCIAL

Agora vamos entender **o que é um Referencial inercial?** É aquele no qual é válido o princípio da inércia (1ª lei de Newton), isto é, referenciais que não têm aceleração, estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU), onde sobre eles a força resultante é nula. Lembrando que força resultante (equação 01) é o produto entre a massa do corpo e sua aceleração, como a aceleração é zero.

$$\mathbf{F}_{\text{resultante}} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \quad (\text{Equação 01})$$

Lembrando que todos os referenciais inerciais são equivalentes entre si para experiências mecânicas, ou seja, levam sempre aos mesmos resultados, além de não poder determinar a velocidade absoluta de um referencial inercial por meio de experiências mecânicas feitas em seu interior, mas somente as velocidades relativas. (Propriedade geral dos referenciais inerciais). Escrevendo de outra forma, um referencial inercial é aquele em que as três leis de Newton são válidas. Uma vez encontrado um referencial inercial é possível encontrar

um conjunto infinito de referenciais inerciais, qualquer referencial que se movimente com velocidade constante em relação a um referencial inercial também é um referencial inercial. Por outro lado, qualquer referencial que se desloque com velocidade variável em relação a um referencial inercial não pode ser um referencial inercial.

LEIS DE NEWTON DA MECÂNICA CLÁSSICA OU NEWTONIANA

Todo o estudo da Dinâmica baseia-se em três princípios, estabelecidos por **Newton**; cuja base prevaleceu inalterada até o século XX.

1°. Princípio da Inércia de Galileu (ou 1ª Lei de Newton):

Se a resultante das forças que agem sobre um corpo é nula, então esse corpo permanecerá em repouso ou em MRU.

Observações:

a) Inércia

Propriedade geral da matéria de resistir a qualquer variação de sua velocidade em módulo, direção e sentido; isto é, um corpo em repouso tende a ficar, por inércia, em repouso e um corpo em movimento tende a continuar em movimento se a resultante das forças sobre

*ele é nula ($F_R = 0$). A **massa** de uma partícula é uma medida de sua **inércia**.*

b) Aplicações da Lei da Inércia

- *Um carro, ao fazer uma curva, tende a sair pela tangente e manter a direção da velocidade;*
- *Quando um carro sai do repouso, pessoas em pé dentro dele, sentem-se atirados para trás em relação ao carro, devido à **inércia** das pessoas, que tendem a se manter em repouso;*
- *Ao se frear um automóvel em MRU seus ocupantes sentem-se atirados para frente em relação ao automóvel, pois eles têm a tendência de continuar em MRU em relação à Terra.*

2°. Princípio Fundamental da Dinâmica – PFD (ou 2ª Lei de Newton)

Estabelece uma relação entre força e variação de velocidade.

Enunciado:

A resultante das forças que agem em um corpo é diretamente proporcional à aceleração que ele adquire, na mesma direção e sentido da força.

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a} \quad \text{ou} \quad F_R = m \cdot u \quad (\text{em módulo})$$

Onde: F_R : Força resultante (em **New-
ton, N**)

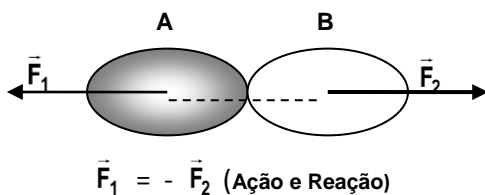
m : Massa do corpo (em **quilograma,
kg**)

a : aceleração do corpo (em **m/s²**)

3°. Princípio da Ação e Reação (ou 3ª Lei de Newton):

Quando um corpo exerce uma força so-
bre outro, este reage com uma força de
mesma intensidade, mesma direção e
sentidos contrários.

A toda ação corresponde uma reação de igual va-
lor e em sentidos contrários.



Importante:

**As forças de ação e reação atuam em
corpos diferentes, portanto nunca se
anulam.**

Exemplos:

1. *Um barqueiro, ao remar, aplica o
princípio da ação e reação; empurra a
água e está reagindo empurrando o barco.*

2. *Ao ser disparada, uma arma de
fogo retrocede, aplicado um **coice** no
atirador.*

3. *No lançamento de um foguete, o
mesmo expelle o gás, impulsionando-o
para trás, simultaneamente, o gás re-
age sobre o foguete impulsionando-o
para frente.*

4. *A Terra atrai a Lua com uma força
 \vec{F} ; simultaneamente, a Lua atrai a
Terra com uma força $-\vec{F}$.*

REFERÊNCIAS

MÁXIMO, A., ALVARENGA, B. **Física –
Volume único**, Editora Scipione, 1ª
Edição, São Paulo, 1997.

BONJORNO & CLINTON, **Física Fun-
damental – Volume único**, Editora
FTD, São Paulo, 1997.

RESNIK, R., HALLIDAY, D. **Física**, Edi-
tora Livros Técnicos e Científicos, 4ª
edição, São Paulo, 1983.

TEXTO 05

O QUE É ABERRAÇÃO DA LUZ?

A **aberração da luz** (também
conhecida como **aberração
astronômica** ou **aberração estelar**) é
um fenômeno astronômico que produz
um movimento aparente de objetos
celestes nas proximidades de suas
locações, dependendo da velocidade
do observador. **A aberração faz com
que os objetos pareçam fazer um
ângulo na direção do movimento do**

observador, em relação a quando o observador está imóvel.

- ***No caso da aberração “estelar” ou “anual”, a posição aparente de uma estrela para um observador na Terra varia periodicamente ao longo de um ano, porque a velocidade da Terra muda à medida que ela gira em torno do Sol.***

CONTEXTO HISTÓRICO DA ABERRAÇÃO E DEMAIS DEFINIÇÕES RELACIONADAS A LUZ:

A aberração é historicamente significativa por causa do seu papel no desenvolvimento das teorias da luz e da **relatividade restrita**. Ela foi observada inicialmente no final dos anos 1600, de modo a confirmar o modelo heliocêntrico do Sistema

Solar²². O termo “**aberração**” foi utilizado historicamente para se referir a diversos fenômenos relacionados, referentes à propagação da luz em corpos em movimento. A aberração não deve ser confundida com a paralaxe estelar (deslocamento aparente de um objeto quando se muda o ponto de observação²³), que é causada por uma mudança na posição do observador que olha para um objeto relativamente próximo (teoricamente, qualquer objeto fora do Sistema Solar). A aberração está relacionada à correção luz-tempo e a raios relativísticos, embora ela seja com equência considerada separadamente desses efeitos.

- **A aberração pode ser explicada como a diferença de ângulo de um raio de luz em diferentes referenciais inerciais.**

²² **Heliocentrismo** é a teoria que em que o Sol está, numa interpretação estrita, estacionário no centro do universo; ou em sentido lato, situado aproximadamente no centro do sistema solar. Neste modelo, o Sol encontra-se no centro, e em seu redor orbitam, por ordem de distância relativamente a ele, Mercúrio, Vénus, Terra, Lua, Marte, Júpiter, Saturno, e as estrelas fixas. Atualmente sabe-se que o Sol apenas pode ser considerado como o centro do Sistema Solar, não estando sequer perto no centro

da nossa galáxia. Foi **Nicolau Copérnico** o primeiro a apresentar um modelo matemático preditivo consistente e completo de um sistema heliocêntrico. Ainda sem a acurada precisão e um pouco confuso, contudo, o modelo de Copérnico foi mais tarde reestruturado, expandido e aprimorado por **Johannes Kepler**. Acessado: 18:30h na data: 08/04/2018.

²³ **Retirado do site:** <https://www.significados.com.br/paralaxe/> acessado: 18:45h na data: 08/04/2018

ANALOGIA IMPORTANTE PARA O ENTENDIMENTO DA ABERRAÇÃO DA LUZ:

Uma analogia comum é a direção aparente da chuva: se a chuva estiver



caindo verticalmente no referencial de uma pessoa imóvel, então para uma pessoa que estiver se movendo a chuva vai parecer cair em um certo ângulo, requerendo que o observador em movimento incline o seu guarda-chuva para frente. Quanto mais rápido o observador se mover, maior a inclinação necessária.

O efeito resultante é que os raios de luz que atingem o observador em movimento pelos lados em um referencial estacionário terão um ângulo com a vertical no referencial do observador em movimento. Isto é chamado às vezes de “efeito holofote”. No caso da aberração anual da luz de uma estrela, a direção da luz da estrela vista no referencial da Terra em movimento está inclinada em relação ao ângulo observado no referencial do Sol. Como a direção do movimento da Terra muda durante a sua órbita, a direção desta inclinação muda ao longo do ano, e faz com que a posição

aparente da estrela difira da sua posição verdadeira medida no referencial inercial do Sol. Apesar de pelo raciocínio clássico a aberração ser intuitiva, isto leva a alguns paradoxos observáveis mesmo no nível clássico, e a teoria da relatividade restrita é requerida para contemplar corretamente a aberração. **Entretanto, a explicação relativística é muito similar à clássica, e nas duas teorias a aberração pode ser entendida como um caso de soma de velocidades.**

REFERÊNCIAS

WIKIPEDIA: Aberração da Luz. Disponível no link: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Aberra%C3%A7%C3%A3o_da_luz>. Acesso em: 05 mai de 2018.

Texto 06

TEORIA DA RELATIVIDADE RESTRIÇA

Até o ano de 1900, a maioria dos físicos pensava que não existia mais nada a pesquisar, pois toda a Física estaria finalizada, e que faltavam apenas pequenos ajustes a serem feitos. A Física Clássica (FC) tinham as grandezas como a massa de um corpo, o seu com-

primento e o tempo como sempre grandezas absolutas, ou seja, são aquelas que não dependem do referencial adotado. A Física nesse período seguia patamares satisfatórios, já que para fenômenos que envolvem baixas velocidades essas leis são válidas. Contudo, ao se tentar descrever fenômenos envolvendo altas velocidades, a FC mostrou-se suas limitações. Foi a partir de 1900, com o descobrimento dos raios X, da radioatividade, com as teorias de Max Planck e com a apresentação de uma nova visão do espaço e do tempo proposta por Albert Einstein que surgiu a teoria da relatividade restrita. **“O porquê desse adjetivo restrito?”** Esse termo é usado para indicar que a teoria se aplica apenas a referenciais inerciais (HALLIDAY, p. 140).

ESPAÇO E TEMPO:

A mecânica Newtoniana faz uso dos conceitos clássicos de espaço e tempo absolutos, os quais são de fácil compreensão e correspondem a nossa experiência cotidiana, diferentemente das definições empregadas na teoria da relatividade como veremos mais adiante. De acordo com Newton, o **espaço absoluto** sempre permanecia similar e imóvel por sua própria natureza e sem relação com qualquer corpo externo. Para Newton, o espaço era uma

enorme caixa, contendo materiais e objetos, onde os fenômenos físicos aconteciam. Este espaço era tridimensional, contínuo, imóvel (não variava com tempo), infinito, uniforme e possuía as mesmas propriedades em todas as direções. Newton também defendia a ideia de um **tempo absoluto**, o qual era unidimensional, contínuo, infinito e possuía as mesmas propriedades em todos os locais do universo. Este tempo fluía igualmente para qualquer evento físico sem nenhuma interferência externa.

- **A concepção moderna sobre espaço e tempo é de que estes não são absolutos e, como consequência não existe um movimento absoluto.**
- **A teoria da relatividade especial ou restrita mostra que o tempo de um determinado evento é diferente em diferentes referenciais inerciais.**
- **A TRR descreve como as grandezas Físicas e as formulações matemáticas usadas para descrever as leis Físicas se transformam de um referencial inercial para outro.**

OS DOIS POSTULADOS DE EINSTEIN:

Uma das consequências do princípio da relatividade é a inexistência de experimentos capazes de detectar o tempo absoluto.

A **teoria da relatividade especial**, publicada em 1905 por Einstein, é baseada em dois postulados:

- **Postulado da covariância:** as relações matemáticas que governam os fenômenos físicos têm a mesma forma em todos os referenciais inerciais.

Em outras palavras, o postulado da covariância nos diz que não existe um referencial privilegiado entre todos os referenciais inerciais. Este postulado estende o princípio da relatividade de Galileu para todos os fenômenos físicos, não somente para mecânica. Uma consequência deste postulado é o fim da concepção de espaço absoluto, uma vez que todos os referenciais inerciais são equivalentes, não existe referencial privilegiado.

- **Postulado da constância da velocidade da luz:** O módulo da velocidade de propagação da luz no vácuo é igual em todas as direções em um dado referencial inercial e o mesmo em qualquer referencial inercial.

O postulado da velocidade da luz nos diz que o módulo da velocidade da luz no vácuo independe do movimento da fonte que a está emitindo. Este postulado descreve uma propriedade comum de todas as ondas, como por exemplo, a velocidade de propagação de uma onda sonora não depende se a fonte está se aproximando ou se afastando. De acordo com o efeito Doppler para o som, a velocidade de propagação de uma onda sonora, em um determinado meio é constante, o que muda é a frequência desta onda (e consequentemente seu comprimento de onda) com a aproximação ou afastamento da fonte. Neste ponto vale ressaltar que as velocidades das ondas sonoras dependem das propriedades do meio em que se propagam, como por exemplo sua densidade – a velocidade do som no ar e na água são diferentes! Dessa forma, o postulado de Einstein para a velocidade da luz, coloca as ondas eletromagnéticas na mesma categoria das ondas mecânicas, uma vez que ambas possuem módulos de velocidades constantes.

VISUALIZAÇÃO DA RELATIVIDADE RESTRITA

CONTRAÇÃO DE LORENTZ:

O **efeito da Contração de Lorentz** também conhecido como contração

das distâncias ou contração dos comprimentos, é um fenômeno que está intimamente relacionado ao fenômeno da dilatação do tempo, que **é uma espécie de compactação “visual” do corpo no sentido do movimento**, de fato, quando um referencial se desloca com uma determinada velocidade em relação a outro, o Espaço sofre uma contração e o Tempo dilata. O **comprimento** medido no referencial em relação ao qual um objetivo está em movimento é menor do que o **comprimento** medido no referencial em relação ao qual o objeto está em repouso. A **contração do comprimento** só ocorre na direção do movimento. A figura a seguir mostra uma ilustração do que ocorreria com uma barra.

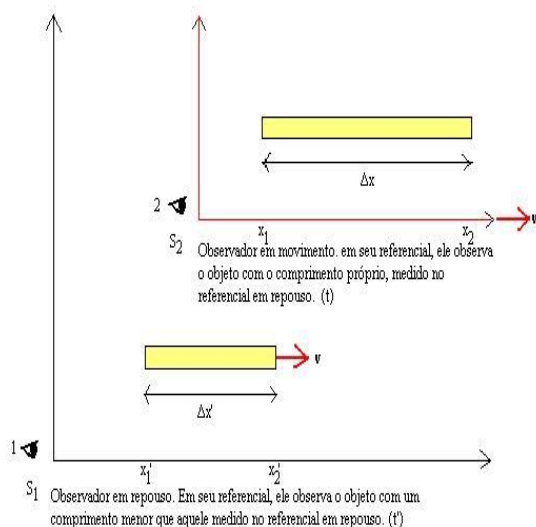


Figura 33: Captura de tela do site: <https://www.infoescola.com/fisica/contracao-dos-comprimentos/> acessado em 18/06/2018 as 16:30h.

ROTAÇÃO DE TERRELL:

É evidente que questionamentos surgiriam decorrentes de algo tão natural que é a possibilidade dos corpos girarem, ou seja, realizar uma rotação, onde seria necessário adentrar na explicação do efeito Terrell (1959), que trata da questão para o caso particular de objetos relativísticos que subtendem *ângulos pequenos* em relação ao observador, onde mostra que, o objeto relativístico é visto não como contraído na direção do movimento, mas como **girado em torno de um eixo que é perpendicular à direção do movimento**.

O que há então de especial na visualização da Relatividade Restrita?

Antes de analisarmos o problema, é importante definir o conceito de visualização. Entende-se por visualização ou observação a imagem que os raios de luz, que chegam simultaneamente aos olhos do observador, constroem. Considerem um cubo que se desloca perpendicularmente em relação ao campo de visão de um observador. Segundo a mecânica clássica o observador vê o cubo com as mesmas dimensões e

exatamente na mesma posição quando o raio de luz partiu do cubo (a velocidade da luz é infinita, e, portanto, demora 0 segundos a atingir o olho do observador). Na Relatividade Restrita tal não acontece. Para começar o cubo encontra-se distorcido segundo a contração do espaço que resulta das transformações de Lorentz. Como se isso não chegasse, ocorre um fenómeno designado **Aberração dos raios de luz**, que consiste no fato de ***nem todas as partes do cubo se encontrarem à mesma distância do observador***. Ao analisarmos a situação, verificamos que um raio que parta da face mais distante do cubo demora mais tempo a chegar ao observador, uma vez que está se encontra mais longe e a velocidade da luz é finita. Assim, os raios de luz que chegam simultaneamente ao observador não partiram simultaneamente do objeto, mostrando por isso uma aberração da forma contraída deste.

Em 1958, **Penrose** descobriu que uma esfera apresentava sempre o seu perfil circular, independentemente da sua velocidade em relação a um observador. O que na prática acontece, é que o fenómeno da aberração dos raios de luz compensa exatamente a contração resultando na conservação da forma de

círculo que um observador vê de uma esfera.

No ano seguinte, Terrell deduziu uma equação, que ficou conhecida como **rotação de Terrell**, que nos dá uma rotação, no plano formado pelo vetor velocidade e o vetor raio de luz, do objeto real para o objeto visualizado por um observador.

Voltando ao problema do cubo, verifica-se que este se encontra rodado, pois os raios de luz que partem de uma face mais distante demoram mais tempo a chegar ao observador. Assim, quando o cubo passa à frente de um observador, este consegue ver a sua face traseira o que seria impossível em mecânica clássica.

Os trabalhos de Terrell e Penrose indicaram que, embora a relatividade especial tenha parecido descrever uma "contração observada" nos objetos em movimento, estas "observações" interpretadas não devem ser confundidas com as previsões literais da teoria para a aparência visível de um objeto em movimento. Graças aos efeitos de tempo diferencial nos sinais que atingem o observador das diferentes partes do objeto, **um objeto recuando parece ser contraído, um objeto que se aproxima parece alongado (mesmo**

sob a relatividade especial) e a geometria de um objeto passante pareceria distorcida, como se fosse girada.

Para as imagens de objetos passantes, a contração aparente das distâncias entre os pontos na superfície transversal do objeto pode então ser interpretada como sendo **devida a uma mudança aparente no ângulo de visão**, e a imagem do objeto pode ser interpretada como aparecendo em vez disso para ser girada. Uma descrição previamente popular das previsões da relatividade especial, em que um observador vê um objeto passante a ser contraído (por exemplo, de uma esfera a um elipsóide achatado) estava errado.

Os trabalhos de Terrell e Penrose levaram a uma série de trabalhos de acompanhamento, principalmente no *American Journal of Physics*, explorando as consequências dessa correção. Esses trabalhos apontaram que algumas discussões existentes sobre a relatividade especial eram defeituosas e os efeitos

"explicados" que a teoria não previu realmente - enquanto esses documentos não alteraram a estrutura matemática real da relatividade especial de qualquer forma, corrigiram um equívoco em relação às previsões da teoria.

Um exemplo da aparência visual das consequências deste efeito é evidenciada na Figura 1, adaptada do artigo de Weisskopf (1960), mostra a aparência visual de um cubo que se move com velocidade v na direção $+x$, em que a aparência visual do cubo subentende **ângulos pequenos**. No canto superior direito está ilustrada a imagem que seria registrada pela retina ou por uma fotografia. No canto inferior direito, está ilustrada a interpretação que um simples observador dá para o que ele vê ou fotografa, imaginando-se uma vista por cima do cubo. Na parte esquerda da Fig.1, está ilustrada a posição *medida* do cubo, com respeito ao referencial do observador. A contração de Lorentz-FitzGerald não é notada, de fato, como pode ser visto na parte superior direita da figura, apenas o objeto aparece girado de um ângulo igual a $\alpha = \arctan(v/c)$.

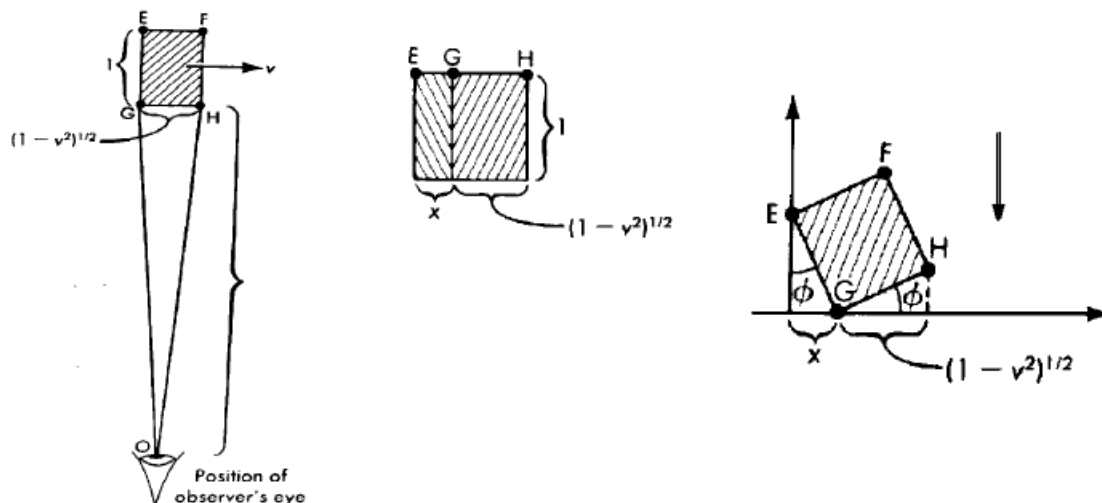


Figura 34: Captura do artigo.

Com objetos que subentendem um **ângulo de visão grande**, como no exemplo a seguir a *aparência visual de caixas retangulares* em relação ao observador, mostra-se que, além da simples rotação, a aparência visual do objeto apresenta *distorção*. Em particular, Penrose (1959) mostrou que uma esfera em movimento relativístico, observada lateralmente, aparecerá sempre como um disco circular, sem qualquer contração ou distorção visível.

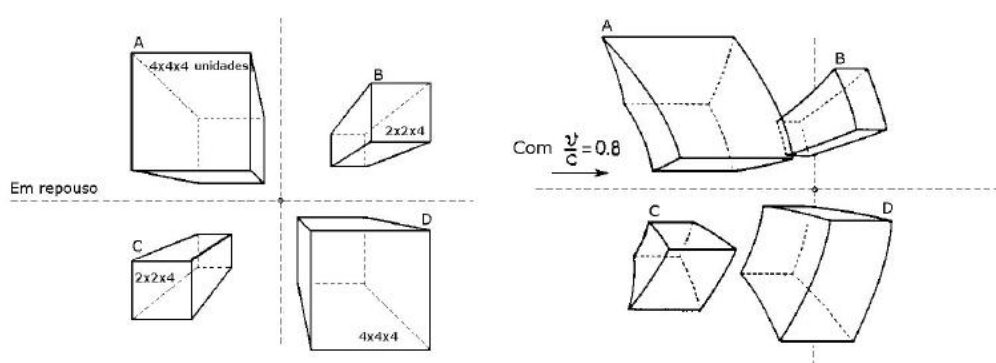


Figura 35: Captura do artigo.

REFERÊNCIAS

OSTERMANN, *Fernanda*; RICCI, *Trieste F.* **Relatividade restrita no ensino médio: Contração de Lorentz-Fitzgerald e aparência visual de ob-**

jetos relativísticos em livros didáticos de física. Instituto de Física UFRGS, Porto Alegre-RS. 2013.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna**. Volume 4. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

Texto 07

EFEITO DOPPLER RELATIVÍSTICO:

Os átomos como também as moléculas que são grupos de átomos, iguais ou diferentes, que se mantêm unidos e que não podem ser separados sem afetar ou destruir as propriedades das substâncias²⁴, têm um espectro de emissão de luz característico, como por exemplo, quando se excita (aquecer) um átomo ou uma molécula qualquer e a deixa decair espontaneamente sua temperatura, com isso o corpo tende a retornar ao seu estado normal. Para isso, jogará fora o excesso de luz adquirido no aumento de temperatura, como cada átomo possui uma luz característica ao ser submetido a determinada variação de temperatura, podemos identificar o tipo de átomo através do espectro de emissão. Por exemplo, uma luz que era para ser vermelha e está pouco vermelha, então, algo poderia estar acontecendo foi o que o físico **Hubble** percebeu que **o espectro de emissão dos corpos celestes, não**

estavam exatamente com a coloração que deveriam estar, como quando estão paradas em relação a ele, o mesmo percebeu que as galáxias estão se afastando de nós, além de descobrir a chamada **lei de Hubble**, determinada em 1923, que mostra a velocidade de afastamento entre as galáxias que compõem o **universo**.

Após o **Big Bang**, as galáxias foram sendo formadas ao mesmo tempo em que se afastavam umas das outras, tornando o universo algo cada vez maior, como na ilustração a seguir:

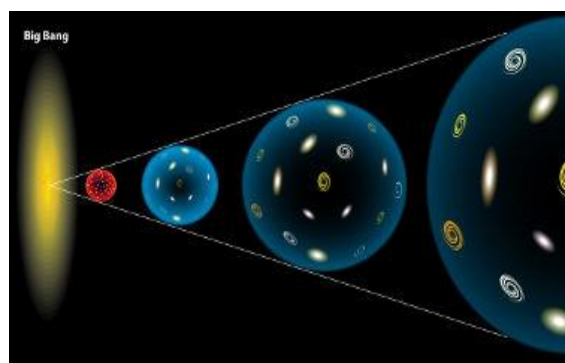


Figura 36: Captura do artigo.

Observação de Splipher

No ano de 1912, o astrônomo Vesto Melvin Splipher percebeu um deslocamento das **linhas espectrais** da galáxia Andrômeda para os **comprimentos de onda** que indicavam a cor azul para a luz. Essa observação foi possível graças ao **efeito Doppler** aplicado à luz.

²⁴ Retirado do site: <https://www.significados.com.br/molecula/>

- **No afastamento mútuo entre fonte luminosa e observador, há diminuição das frequências percebidas pelo observador; se houver aproximação, as frequências percebidas tornar-se-ão cada vez maiores.**

Ao observar que as linhas espectrais de Andrômeda estavam **deslocando-se para o azul**, Sphlpher entendeu que essa galáxia estava aproximando-se de nós. Ao analisar, por duas décadas, as linhas espectrais de 40 galáxias diferentes, o astrônomo percebeu que a grande maioria delas apresentava **linhas espectrais com deslocamento para o vermelho**, o que indicava que esses corpos celestes estavam afastando-se da **Via Láctea**.

Lei de Hubble

Depois de analisar o comportamento de estrelas denominadas Cefeídas e da galáxia Andrômeda por meio de imagens capturadas pelo **telescópio** de Monte Wilson, Edwin Hubble e Milton Humason determinaram a distância estimada entre Andrômeda e outras galáxias. **Ao comparar as distâncias entre as galáxias e suas velocidades de afastamento, os astrônomos perceberam que as galáxias mais distantes estavam afastando-se com velocidade maior.**

A lei de Hubble determina a velocidade de afastamento de uma galáxia em função de sua distância.

$$v = H_0 \cdot d$$

- **v** = Velocidade de afastamento de uma galáxia (km/s);
- **H₀** = Constante de Hubble (71 km/s.Mpc);
- **d** = Distância da galáxia (Mpc).

A observação de Vesto Melvin Sphlpher e a lei definida por Edwin Hubble revelam que o universo está em constante expansão. Qualquer observador, em qualquer posição no universo, perceberia a mesma expansão, por isso, não se pode dizer que existe um centro do universo.

EFEITO DOPPLER RELATIVISTICO

O **efeito Doppler relativístico** é a mudança aparente da **frequência da luz**, para objetos (fonte emissora ou detector) que se movem em **velocidades relativísticas**. No **efeito Doppler clássico**, como o caso de **ondas sonoras**, a velocidade da fonte em relação ao detector tem influência na frequência aparente da onda (pode ser um acréscimo ou decréscimo), tomando como referencial o ar. Como a luz é uma **onda eletromagnética**, e não depende de um meio para propagação, a frequência observada irá

apenas depender da velocidade relativa de ambos. Nesses casos relativísticos, uma distinção entre o movimento da fonte e do receptor não pode ser feita, portanto o efeito Doppler clássico não será utilizado. A razão é que o intervalo de tempo medido no referencial da fonte e do receptor são diferentes.²⁵

O efeito doppler não é característico apenas para a luz, mas é característico para qualquer propagação ondulatória, como por exemplo o efeito doppler sonoro.

Outra consequência muito importante da Relatividade Restrita é a alteração da “cor” da radiação visível pelo efeito de Doppler Relativista. Como é sabido o som de uma sirene de ambulância fica “mais agudo” quando esta se aproxima e “mais grave” quando ela se afasta.

Este efeito designa-se efeito de Doppler e tem origem no fato da velocidade relativa entre o emissor e o receptor do som poder variar. Em Relatividade Restrita quando o emissor de uma radiação eletromagnética se encontra num referencial com velocidade relativa não

nula em relação ao receptor, esta sofrerá também uma aberração. Tal fenómeno resulta de a velocidade da luz ser constante e de haver uma transformação temporal de um referencial para outro. Para a fonte que se aproxima do observador, usamos a equação a seguir:

$$f = \sqrt{\frac{c+u}{c-u}} \cdot f_0$$

Já para a fonte que se afasta do observador, usamos a equação a seguir:

$$f = \sqrt{\frac{c-u}{c+u}} \cdot f_0$$

Assim, quando um objeto se aproxima ele sofre um *blueshift*, i.e., um desvio para o azul, e quando se afasta um *redshift*. Estes desvios consistem numa deslocação da frequência para as extremidades do visível. Por vezes, quando o desvio é tão acentuado, o objeto sai fora do visível, tornando-se invisível para um observador.

A ilustração a seguir demonstra a relação da frequência com as cores vistas pelo ser humano.

²⁵ **Retirado do site:** https://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Doppler_relativ%C3%ADstico

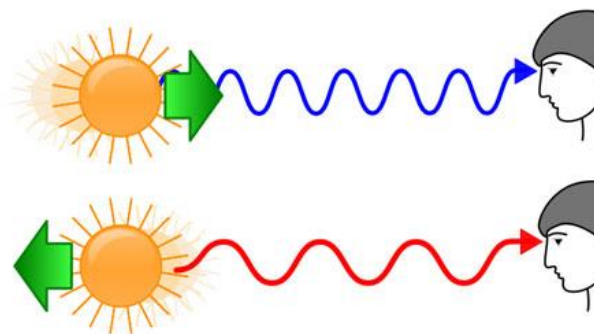


Figura 37: Captura do site: <https://universoracionalista.org/redshift-e-efeito-doppler/>.

TEXTO 08:

O que é o luxímetro?

O **luxímetro** é um aparelho criado e patenteado por Walter D'Arcy Ryan no ano de 1909, que mede a intensidade da luz que chega a seu sensor. Com isso, pode-se determinar uma grandeza denominada iluminância de um determinado local.²⁶ Portanto, é um instrumento utilizado para medir a densidade da intensidade de luz presente em um determinado local. Ele consiste basicamente de uma célula fotoelétrica e de um miliamperímetro²⁷. Sua unidade de medida é o lux, sendo que um lux corresponde a um watt por metro quadrado ($1 \text{ lux} = 1 \text{ W/m}^2$).

Um dos ramos da óptica a Fotometria é que trata dos conceitos de intensidade

e fluxo luminoso, pois preocupa em medir a luz, em termos de como seu brilho é percebido pelo olho humano, medindo a luz proveniente de um objeto. Exemplos de aplicação da fotometria estão nas áreas de astronomia, como no caso de observação das estrelas e na luminotécnica, que trata questões iluminação artificial tanto em espaços interiores e exteriores, geralmente por profissionais de arquitetura e de fotografia (TOGINHO FILHO E LAURETO, 2009).

No **Quadro 01** a seguir apresenta os significados dos termos técnicos utilizados na fotometria, bem como as unidades de medida no SI das Grandezas Físicas associadas a eles.

Quadro 01 – Definição dos termos técnicos utilizados na fotometria, para a medida de luz proveniente de um objeto, assim como sua unidade de medida no Sistema Internacional. Adaptado de Tuginho Filho e Laureto, 2009.

Termo Técnico	Unidade de Medida no SI	Definição
Fluxo luminoso	lm (Lúmen)	Energia luminosa por unidade de tempo ou potência luminosa
Intensidade Luminosa	lm/sr = cd (candela)	Potência luminosa por unidade de ângulo sólido
Iluminância ou iluminamento	lm/m ² = lx (lux)	É a potência luminosa incidente em uma superfície, por unidade de área
Luminância	lm/m ² .sr	Potência luminosa por unidade de área projetada por unidade de ângulo sólido

²⁶ Retirado do site: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Lux%C3%ADmetro>

²⁷ Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 2, e2503 (2016) www.scielo.br/rbef DOI:

<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173812136>
Desenvolvimentos em Ensino de Física.

A diferença entre **iluminância e luminância** (Quadro 01) é que a primeira se refere à luz que chega a uma determinada área de uma superfície, enquanto que a luminância é a quantidade de luz que é refletida pela superfície. A luminância é utilizada para caracterizar emissores planos brilhantes ou superfícies refletoras, como apresenta a Figura 38.



Figura 38: Representação esquemática para a compreensão da diferença entre iluminância e luminância. Em (a) têm-se a representação da iluminância, na qual a luz incidente, emitida por uma fonte luminosa, chega até uma determinada superfície. Esta luz incidente na superfície, não é a visualizada pelo observador. Enquanto que, em (b), se representa a luminância, que é a luz refletida por uma superfície, e que pode ser percebida por um observador.

REFERÊNCIAS

J.M.Palmer, Radiometry and Photometry FAQ, disponível, em: <http://www.opt>

ANEXO B – SLIDES DAS AULAS

SLIDES DA AULA 01

Slide 1

AULA 01
PENSAMENTOS CORPUSCULARES

Slide 2

PENSAMENTO DO INICIO DO SÉCULO XX

No início do século XX, a maioria dos físicos acreditava que a Física estava completa, descrita através da Mecânica Clássica, do Eletromagnetismo de Maxwell e da Termodinâmica. Como ficou evidenciado em 1900, em uma palestra do Físico Lord Kelvin, na Sociedade Britânica para o Progresso da Ciência, onde foi dito que:

“não há mais nada novo para ser descoberto em Física agora. Tudo que falta são medidas mais precisas...algumas casas decimais a mais...” exceto.... ‘duas nuvens’ no horizonte...

Slide 3

PENSAMENTOS DE COMO ENXERGAMOS NA ANTIGUIDADE

Aquilo que costumamos chamar de “óptica geométrica”, já estava plenamente desenvolvido, desde a Antiguidade já se conhecia a propagação retilínea da luz, a lei da reflexão em espelhos planos, e o funcionamento de espelhos côncavos e convexos. Também se sabia, pelo menos desde a época dos gregos e dos romanos, que era possível concentrar a luz do Sol utilizando esferas de cristal, bem como ver de forma ampliada olhando através dessas esferas. A refração ou desvio da luz que é a passagem de um meio transparente para outro, já era conhecido desde a Antiguidade (Martins & Silva).

Slide 4

Muitos aceitavam que a visão ocorria através de “raios visuais” que saíam dos olhos das pessoas e iam até os objetos

Já os atomistas antigos supunham que saíam películas de átomos das superfícies dos corpos que chegavam até nós, transmitindo sua forma e cor

Aristóteles considerava que a visão era transmitida através de algo imaterial que passava instantaneamente pelos meios transparentes, dos objetos até nós

Slide 5

PENSAMENTOS DE COMO AS CORES SÃO PRODUZIDAS

Aristóteles procurou explicar vários fenômenos ópticos, como as cores do arco-íris, desenvolvendo a proposta de que cada cor era produzida por uma mistura de **luz e escuridão**

Segundo **Descartes**, todo o espaço estaria preenchido completamente por uma matéria sutil, infinitamente divisível, formada por partículas que podem se quebrar e se fundir, constituindo diversos tipos de matéria. Essas partículas possuem somente propriedades geométricas (tamanho, forma, movimento), todas as outras propriedades da matéria deveriam ser explicadas, a luz não supõe qualquer transporte de matéria, mas sua transmissão necessita um suporte material, para ele a luz não é propriamente um movimento, mas um esforço, uma inclinação ou tendência ao movimento; por isso a luz pode atravessar corpos densos e outros raios de luz, sem qualquer impedimento pelas combinações e movimentos de tais corpúsculos. Ele supôs que as cores eram produzidas através de modificações da luz branca

Slide 10

O ingresso na universidade

*Em junho de 1661, apresentou-se no Trinity College. Nessa ocasião, estava com 18 anos, um pouco mais velho que seus colegas. Parece que sua mãe não facilitava as coisas para ele...

*Educação superior foi baseada em Aristóteles e Platão

*Na primavera de 1665, formou-se bacharel em humanidades. Estava com 22 anos e estudou seriamente muito mais do que o currículo oficial da universidade.

Slide 15

MOMENTO DE REFLEXÃO



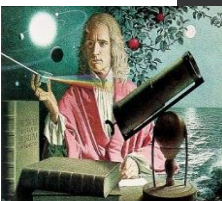
Slide 11

Newton e suas descobertas

A contribuição de Newton dizia respeito às cores e à sua relação com a luz branca. *O saber convencional da época sustentava que as cores surgem de uma modificação da luz que, em sua forma primitiva, mostra-se branca.*

Foi pela leitura de Charleton e Boyle que Newton foi levado a uma teoria corpuscular da luz e uma teoria atômica da matéria (Martins & Silva).

Newton preferia outro tipo de explicação completamente diferente sobre a luz a hipótese atomista, ou corpuscular.



SLIDES DA AULA 02

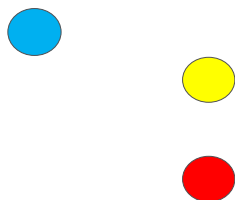
Slide 1

AULA 02

PENSAMENTOS ONDULATÓRIOS

Slide 14

MOMENTO PRÁTICO 01



Slide 2

Francesco Maria Grimaldi (1618-1663)

Descobertas: Fenômeno de difração

Observou que mesmo no ar a luz não seguia em linha reta: havia luz mesmo na sombra geométrica, e o fenômeno não dependia do material do anteparo.

Sua concepção da luz era essencialmente **Ondulatória**

Pensamento: que a luz era um fluido em repouso com ondulações.

A difração era explicada por *analogia com as ondas de superfície da água, como as ondas do mar que são difratadas ao passar por um barco ancorado.*



Slide 3

PENSAMENTOS DE CHRISTIAN HUYGENS

Uma outra idéia sobre a luz – Huygens

No **Século XVII**, **Christian Huygens (1629-1695)** formulou a teoria que a luz era um fenômeno ondulatório.

Em **1678 Huygens** escreveu o livro **Traité de la Lumiaere (Tratado sobre a Luz)**, no qual argumentou em favor de um modelo ondulatório da luz.



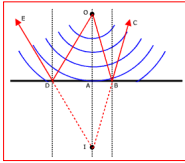
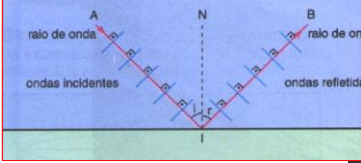
Christian Huygens
(1629-1695)


Frontispício do
Traité de la Lumière



Slide 4


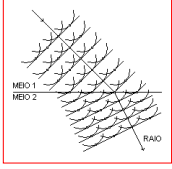
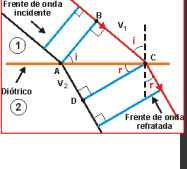
Através do conceito de frentes de onda, esta teoria deu uma nova e mais completa explicação para os fenômenos da **reflexão**.

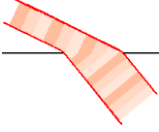





Slide 5

Através do conceito de frentes de onda, esta teoria deu uma nova e mais completa explicação para os fenômenos da **refração**.




Slide 6

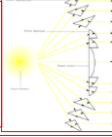
Augustin-Jean Fresnel

Augustin Fresnel (1788-1827) também fez alguns experimentos com a luz.


- É considerado o **fundador da óptica moderna**.
- Ele demonstrou **experimentalmente a natureza ondulatória da luz** e explicou os fenômenos da **polarização** e da **dupla refração**.
- Inventou o **biprisma de faixas** (Biprisma de Fresnel), com o qual se pode estudar os fenômenos de **interferência**, e o **sistema formado por dois espelhos planos em ângulo** (Espelhos de Fresnel), com o qual se obtém focos de lua coerentes.



Augustin Fresnel
(1788-1827)


Lente de Fresnel na ilha
de Kullens – Suécia



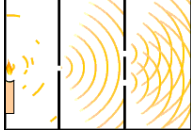
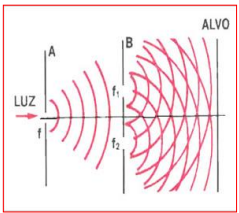
Slide 7

Thomas Young

No início do **Século XIX**, **Thomas Young (1773-1829)** fez alguns experimentos com a luz.



Thomas Young
(1773-1829)

Slide 8

PENSAMENTOS ONDULATÓRIOS DA LUZ

A concepção corpuscular para a luz que descrevia a luz como uma partícula, defendida implicitamente por Newton, foi amplamente difundida no Século XVIII, mas foi alvo de críticas e enfrentou sérios problemas conceituais.

- Surgiu **Thomas Young (1773-1829)** iniciador de uma retomada da teoria ondulatória para a luz no início do Século XIX.
- **Experimento da fenda dupla.**

Slide 11

SIMULADOR DO EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA

[SIMULADOR DO EXPERIMENTO DA DUPLA FENDA](#)

Slide 9

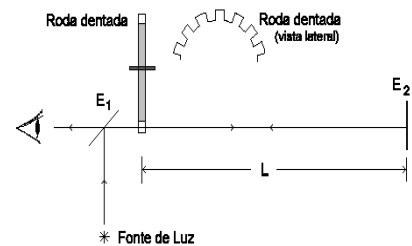
EXPERIMENTO DA FENDA DUPLA

Foi em 1801, que Thomas Young foi **o primeiro a demonstrar, com sólidos resultados experimentais**, o fenômeno de **interferência luminosa**, que teve por consequência a aceitação da teoria ondulatória.

Slide 12

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DA LUZ

A primeira medida da velocidade da luz, feita na própria Terra, sem usar métodos astronômicos, foi realizada por **Hippolyte FIZEAU**, em 1849.



Slide 10

EXPERIMENTO DA FENDA DUPLA



Slide 13

Jean Bernard Léon Foucault

Ele contrariou a teoria corpuscular no século XIX, descobriu que:

- A luz se deslocava mais rápido no ar do que na água.

Slide 14

MOMENTO DE REFLEXÃO

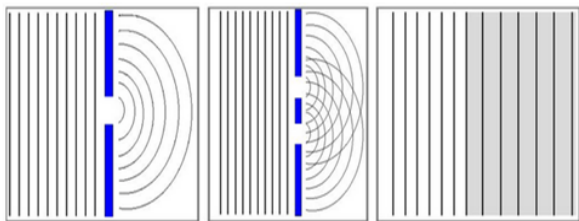


SLIDES DA AULA 03

Slide 1

Slide 15

Os fenômenos ondulatórios apresentados nas figuras 1, 2 e 3 são, respectivamente?



Slide 16

AULA 03

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

Slide 2

DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA

- No decorrer do século XIX, com base em análises e experiências, verificou-se que a luz apresenta um comportamento dual: ora como partícula, ora como onda.
- Em 1924, o físico francês Louis De Broglie lançou a hipótese de que, se a luz apresenta natureza dual, uma partícula também apresentaria características ondulatórias. Em sua tese de doutorado, o físico francês, Louis de Broglie (1892-1987), formulou uma hipótese na qual afirmava que:
Toda a matéria apresenta características tanto ondulatórias como corpusculares comportando-se de um ou outro modo dependendo do experimento específico.
- De Broglie conquistou o Prêmio Nobel de Física em 1929 e, aos 37 anos o mais jovem membro da galeria dos prêmios Nobel.

Slide 3

CURIOSIDADES!

O fato de ser DUAL NÃO significa que estas características se revelem SIMULTANEAMENTE.

Na realidade, apenas uma característica é revelada em cada experimento!!!! Ou seja, é a natureza do experimento que determina a característica da radiação (onda ou partícula).

O QUE SÃO FÓTONS?

Os **fótons** são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas.

Segundo **Einstein**, um fóton deve possuir uma **quantidade fixa de energia**.

Slide 4

James Clerk Maxwell (1831-1879)

Conhecido por ter dado forma final à teoria moderna do eletromagnetismo, que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica.

Ele demonstrou que os campos elétricos e magnéticos se propagam com a velocidade da luz e provou que a luz é uma onda eletromagnética e que todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com a velocidade da luz ($c = 3.10^8$ m/s)

Foi de Maxwell a afirmação:

- A luz é uma "modalidade de energia radiante" que se "propaga" através de ondas eletromagnéticas.

Slide 7

E os fótons possuem Massa?

Segundo **Einstein**, a energia de um objeto depende de uma relação entre sua massa e sua velocidade.

$$E = m \cdot c^2$$

Slide 5

ENTENDENDO O QUE É LUZ?

A luz é um tipo de onda ou um emaranhado de partículas que se propagam no espaço?

A luz é tanto onda quanto partícula.

A dualidade onda-partícula da luz mostra-nos esse seu comportamento duplo.

A luz é composta pelas partículas denominadas de **fótons**.

Slide 8

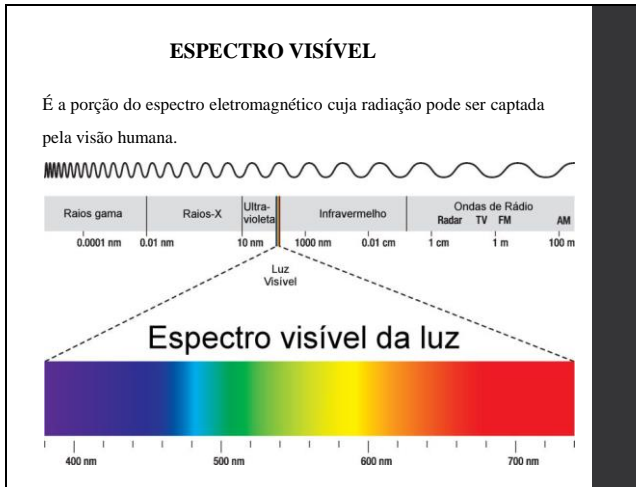
Fótons no dia a dia

Algumas tecnologias do cotidiano funcionam a partir da interação com fótons.



Slide 6

Slide 9



Slide 13

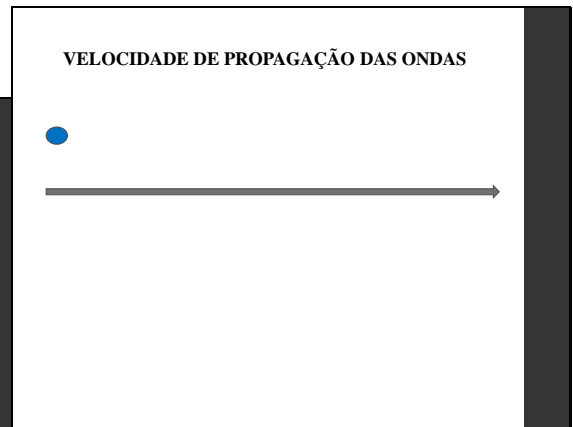
Slide 10

ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas são pulsos energéticos que se propagam no espaço transportando energia.

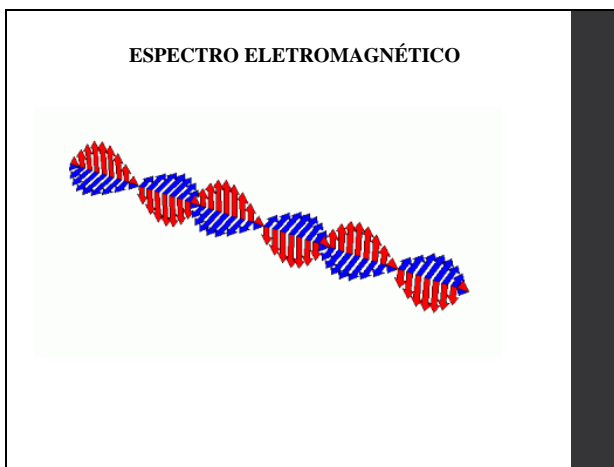
Elas podem ser de dois tipos:

- Ondas mecânicas: quando precisam de um meio material para se propagar;
- Ondas eletromagnéticas: que podem se propagar no vácuo.



Slide 14

Slide 11



VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS

PODEMOS CALCULAR A VELOCIDADE DESTAS BOLINHAS?

COMO ?

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \qquad v = \lambda \cdot f$$

Slide 15

Slide 12

ENERGIA DE UM FÓTON

$$E = h \cdot f$$

1º. Princípio da Inércia de Galileu
(1ª L. de Newton)

Se a resultante das forças que agem sobre um corpo é nula, então esse corpo permanecerá em repouso ou em MRU.

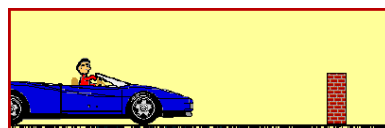
SLIDES DA AULA 04

Slide 1

AULA 04

REFERENCIAL INERCIAL

Slide 4



Slide 2

Agora vamos entender o que é um Referencial inercial?

É aquele no qual é válido o princípio da inércia (1ª lei de Newton), isto é, referenciais que não têm aceleração, estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU), onde sobre eles a força resultante é nula.

Slide 5

Slide 3

2º. Princípio Fundamental da Dinâmica – PFD (2ª Lei de Newton)

Estabelece uma relação entre força e variação de velocidade.

Enunciado:

A resultante das forças que agem em um corpo é diretamente proporcional à aceleração que ele adquire, na mesma direção e sentido da força.

$$\text{ou } Fr = m \cdot a \text{ (em módulo)}$$

Onde: FR : Força resultante (em Newton, N)
m : Massa do corpo (em quilograma, kg)
a : aceleração do corpo(em m/s²)

MOMENTO DE REFLEXÃO



Slide 9

Slide 6

3º. Princípio da Ação e Reação (3ª Lei de Newton)

Enunciado

Quando um corpo exerce uma força sobre outro, este reage com uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentidos contrários.

A toda ação corresponde uma reação de igual valor e em sentidos contrários.

Importante

As forças de ação e reação atuam em corpos diferentes, portanto nunca se anulam.

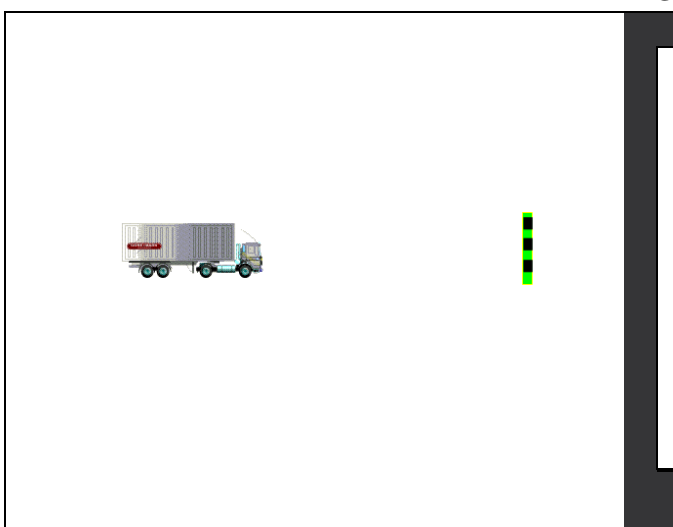
Vamos lê a tirinha a seguir:



Cascão encontra-se em movimento em relação ao skate e também em relação ao amigo Cebolinha?

SLIDES DA AULA 05

Slide 7



Slide 1

AULA 05

Aberração da luz

Slide 8

Slide 2



Slide 5

A **aberração da luz** (também conhecida como aberração astronômica ou aberração estelar) é um **fenômeno astronômico** que produz um movimento aparente de objetos celestes nas proximidades de suas locações, dependendo da velocidade do observador. A aberração faz com que os objetos pareçam fazer um ângulo na direção do movimento do observador, em relação a quando o observador está imóvel.

Slide 3

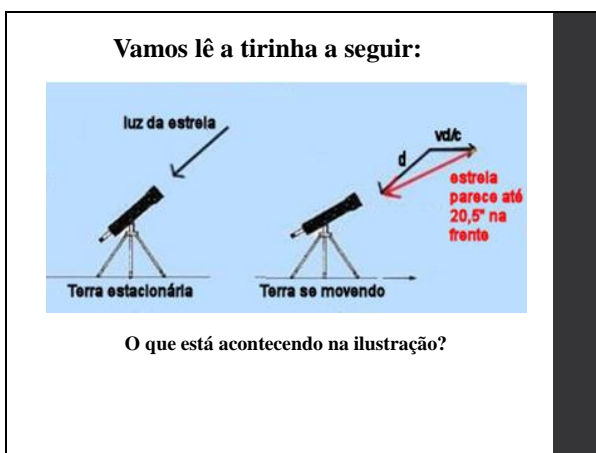


Slide 6

O termo “**aberração**” foi utilizado historicamente para se referir a diversos fenômenos relacionados, referentes à propagação da luz em corpos em movimento.

A aberração não deve ser confundida com a paralaxe estelar, que é causada por uma mudança na posição do observador que olha para um objeto relativamente próximo (teoricamente, qualquer objeto fora do Sistema Solar). A aberração está relacionada à correção luz-tempo e a raios relativísticos, embora ela seja com frequência considerada separadamente desses efeitos.

Slide 4



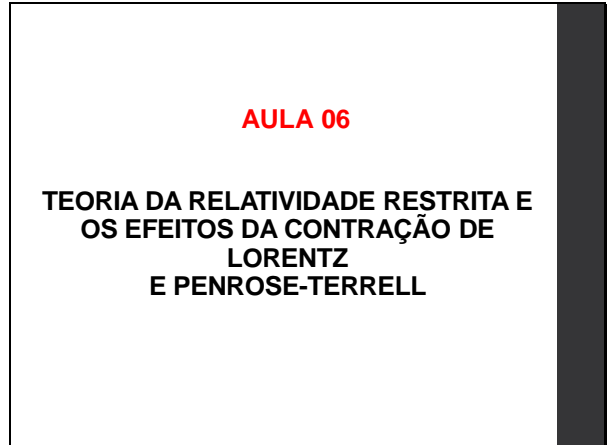
Slide 7

A aberração pode ser explicada como a *diferença de ângulo de um raio de luz em diferentes referenciais inerciais.*

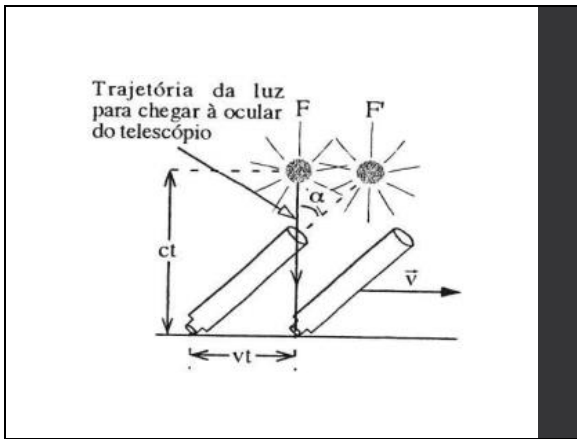
Slide 8



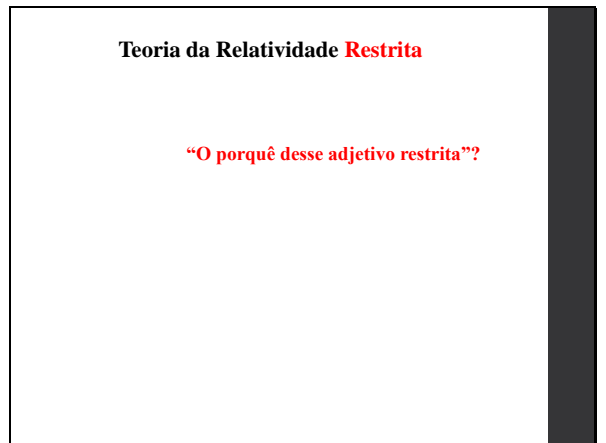
Slide 9



Slide 2



Slide 10

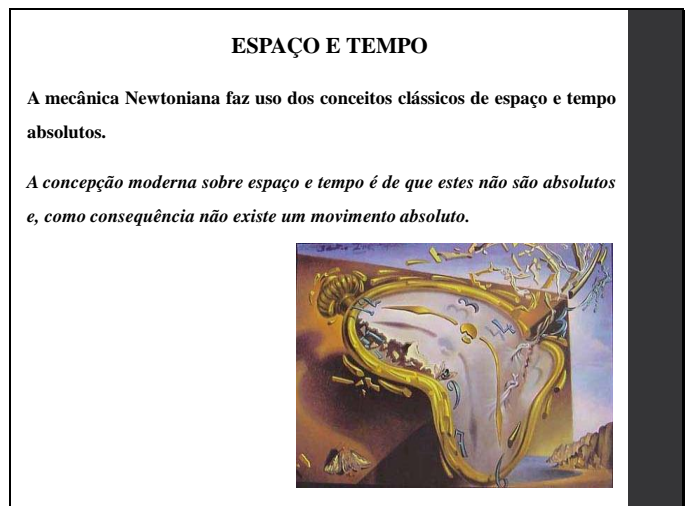


Slide 3



SLIDES DA AULA 06

Slide 1



Slide 4

Postulados da Relatividade

1. Princípio de Relatividade: As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais.

- > Não existe nenhum sistema de referência preferencial.
- > OS DOIS ESTÃO CERTOS ENTRE SUAS FORMAS PERSPECTIVAS.

2. Constância da velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo tem o mesmo valor c em qualquer referencial inercial, independentemente da velocidade da fonte de luz.

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

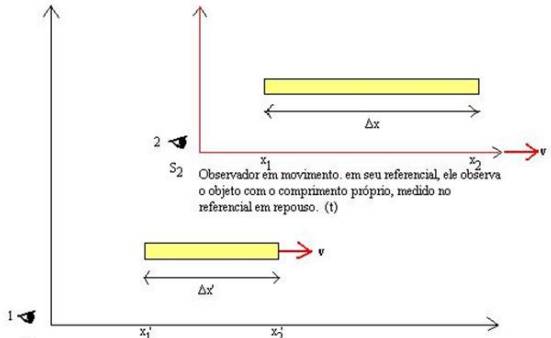
VISUALIZAÇÃO DA RELATIVIDADE RESTRITA:

O efeito da Contração de Lorentz também conhecido como contração das distâncias ou contração dos comprimentos, onde é um fenômeno que está intimamente relacionado ao fenômeno da dilatação do tempo, que é uma espécie de compactação “visual” do corpo no sentido do movimento, de fato, quando um referencial se desloca com uma determinada velocidade em relação a outro, o Espaço sofre uma contração e o Tempo dilata.

Slide 8

Slide 5

MOMENTO DE REFLEXÃO 01

S₂ Observador em movimento. em seu referencial, ele observa o objeto com o comprimento próprio, medido no referencial em repouso. (t)

S₁ Observador em repouso. Em seu referencial, ele observa o objeto com um comprimento menor que aquele medido no referencial em repouso. (t')

Slide 9


Slide 6

Quem é maior: a vaca ou o vaqueiro?



Depende do ponto de vista!??

ROGER PENROSE



Em 1958, Penrose descobriu que uma esfera apresentava sempre o seu perfil circular, independentemente da sua velocidade em relação a um observador.

O que na prática acontece, é que o fenômeno da aberração dos raios de luz compensa exatamente a contração resultando na conservação da forma de círculo que um observador vê de uma esfera.

Slide 7

Slide 10



Slide 11



Slide 12

ROTAÇÃO DE TERRELL

É evidente que questionamentos surgiriam decorrentes de algo tão natural que é a possibilidade dos **corpos girarem**, ou seja, realizar uma **rotação**, onde seria necessário adentrar na explicação do efeito Terrell (1959), que trata:

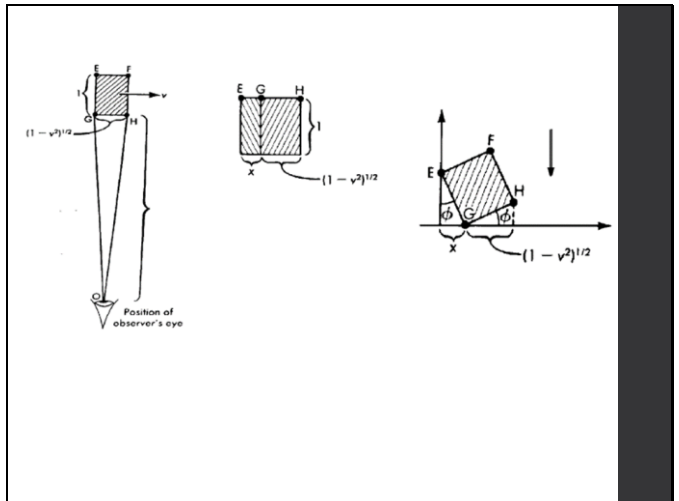
- > Caso particular de objetos relativísticos que subtendem **ângulos pequenos** em relação ao observador;
- > Mostra que, *o objeto relativístico é visto não como contraído na direção do movimento, mas como girado em torno de um eixo que é perpendicular à direção do movimento.*

Slide 13

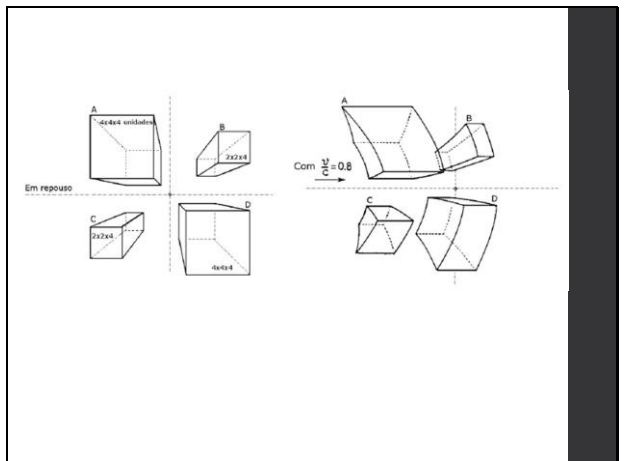
EFEITO PENROSE 'TERRELL

Os trabalhos de Terrell e Penrose indicaram que, embora a relatividade especial tenha parecido descrever uma "contração observada" nos objetos em movimento, estas "observações" interpretadas não devem ser confundidas com as previsões literais da teoria para a aparência visível de um objeto em movimento. Graças aos efeitos de tempo diferencial nos sinais que atingem o observador das diferentes partes do objeto, **um objeto recuando parece ser contraído, um objeto que se aproxima parece alongado (mesmo sob a relatividade especial) e a geometria de um objeto passante pareceria distorcida, como se fosse girada.**

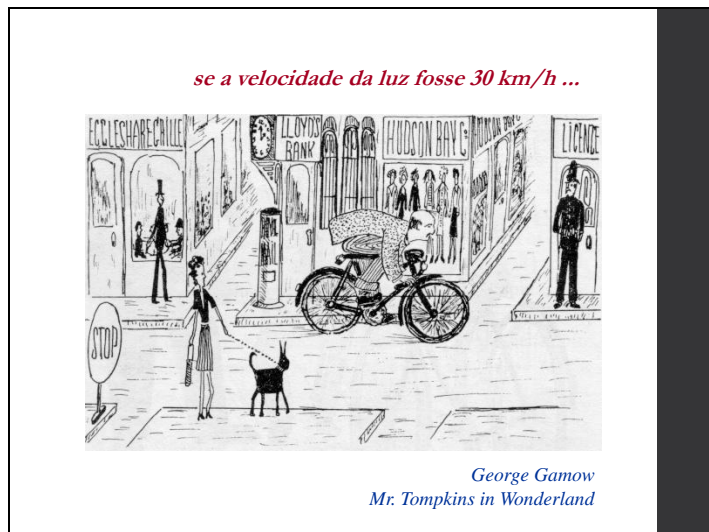
Slide 14



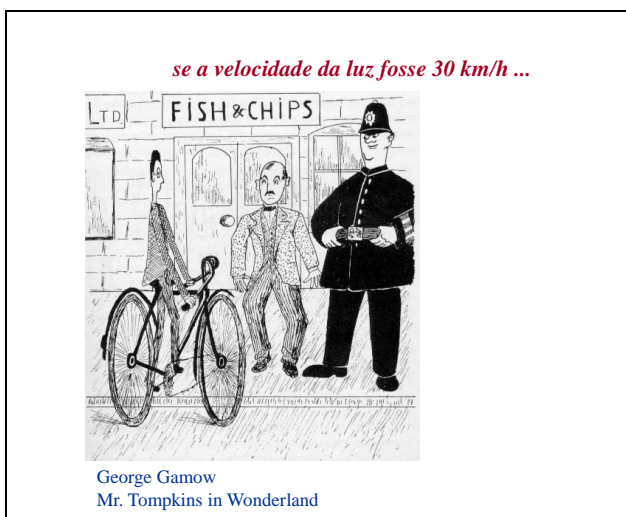
Slide 15



Slide 16

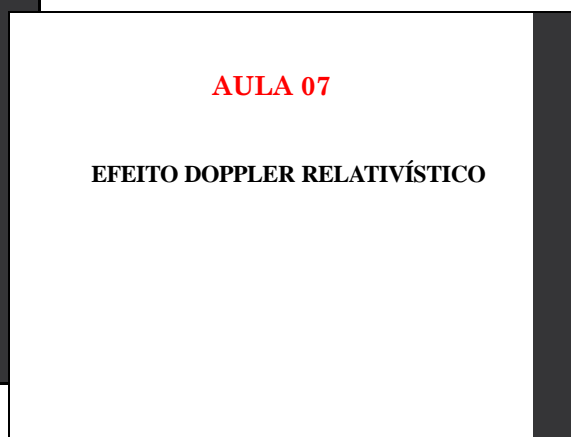


Slide 17



SLIDES DA AULA 07

Slide 1




Slide 18

Slide 2

Como foi o início ?

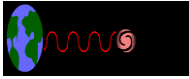
Em 1929, o advogado Edwin Powell Hubble (pai da Astronomia) divulgou que a nossa galáxia (Via Láctea) era apenas uma dentre as bilhões de outras galáxias que existem no Universo.



LEI DE HUBBLE

HUBBLE estudou a LUZ emitida por galáxias distantes, observando que existem um largo espectro de comprimentos de onda entre diferentes galáxias. Esse fenômeno, uma consequência do chamado [Efeito Doppler](#), ocorre quando a fonte e o observador se movem. Quando se afastam um do outro, o comprimento de onda visto pelo observador aumenta, diminuindo quando fonte e observador se aproximam.

Slide 3



Em outras palavras, se uma galáxia estiver se aproximando, sua luz se desloca para o azul. E se estiver se afastando, para o vermelho. Em cada caso, a variação relativa do comprimento de onda é proporcional à velocidade com que a fonte se move.

Slide 4

TEORIA DO BIG-BANG

A TEORIA DO BIG-BANG é o modelo conceitual atualmente mais aceito para explicar a origem e evolução de nosso universo.

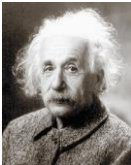
Esta teoria postula que em algum tempo entre cerca de 14 - 15 bilhões de anos atrás, o universo se resumia a apenas um ponto (SINGULARIDADE), o qual concentrava toda sua densidade (infinita) e sob temperaturas extremamente altas (infinita).

Na SINGULARIDADE matéria e energia são indistinguíveis, não haveria espaço em seu entorno, e o tempo não teria sentido.



Slide 5

Fundamentos da TEORIA DO BIG-BANG



Einstein teve o primeiro "insight" para a teoria da relatividade em torno de 1905, quando estudava uma nova teoria da gravidade. Esta nova teoria para gravidade iria generalizar a teoria de Isaac Newton, de 1680. A teoria da gravidade de Newton é válida tanto para corpos estáticos, quanto para corpos em movimento. No entanto, esta teoria não se aplica aos corpos em movimento com velocidade superiores a velocidade da luz.

O conceito-chave para a teoria da relatividade é que a gravidade seria mais explicada como uma simples atração gravitacional, mas como uma suposta distorção do espaço e do tempo sobre si mesmo.

Slide 6

MOMENTO PRÁTICO



Slide 7

EFEITO DOPPLER DO SOM

Simulador 01

· [dopplereffect_de.jar](#)

Slide 8

EFEITO DOPPLER DO SOM

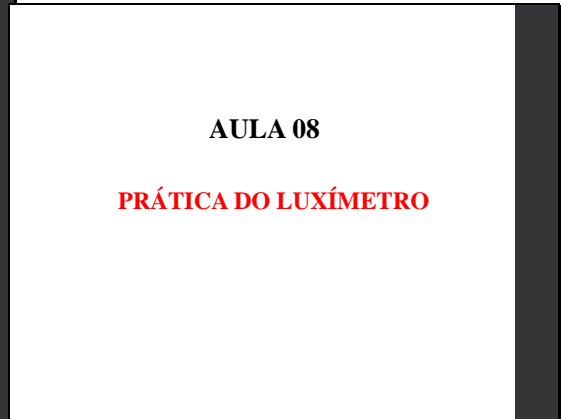
Simulador 02

· [sound_pt.jar](#)

Slide 9



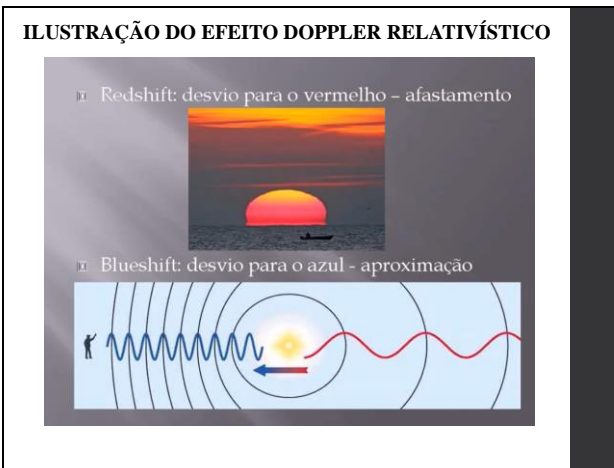
Slide 1



Slide 2

O **luxímetro** é um aparelho criado e patenteado por Walter D'Arcy Ryan no ano de 1909, que mede a intensidade da luz que chega a seu sensor. Com isso, pode-se determinar uma grandeza denominada iluminância de um determinado local. Portanto, é um instrumento utilizado para medir a densidade da intensidade de luz presente em um determinado local. Ele consiste basicamente de uma célula fotoelétrica e de um miliamperímetro. Sua unidade de medida é o lux, sendo que um lux corresponde a um watt por metro quadrado (1 lux = 1 W/m²).

Slide 10



Slide 3

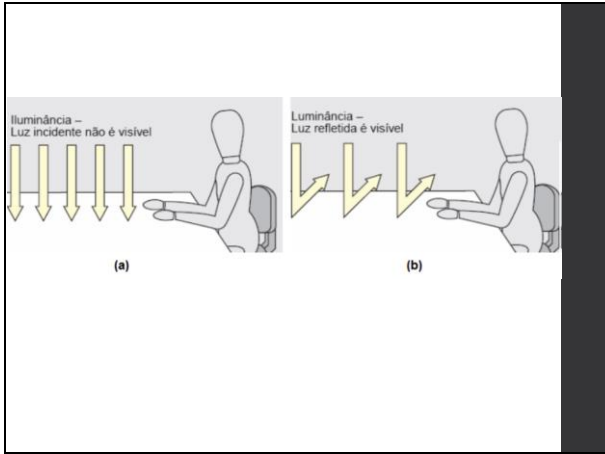
Quadro 01 - Definição dos termos técnicos utilizados na fotometria, para a medida de luz proveniente de um objeto, assim como sua unidade de medida no Sistema Internacional. Adaptado de Toghinho Filho e Laureto, 2009.

Termo Técnico	Unidade de Medida no SI	Definição
Fluxo luminoso	lm (Lúmen)	Energia luminosa por unidade de tempo ou potência luminosa
Intensidade Luminosa	lm/sr = cd (candela)	Potência luminosa por unidade de ângulo sólido
Iluminância ou iluminamento	lm/m ² = lx (lux)	É a potência luminosa incidente em uma superfície, por unidade de área
Luminância	lm/m ² .sr	Potência luminosa por unidade de área projetada por unidade de ângulo sólido

Slide 11



Slide 4



Slide 5



ANEXO C – ROTEIROS

ROTEIRO DO SIMULADOR DA FENDA DUPLA:

A simulação do fenómeno da Fenda Dupla que iremos trabalhar, poderá ser baixado na página a seguir e terá o seguinte aspecto:

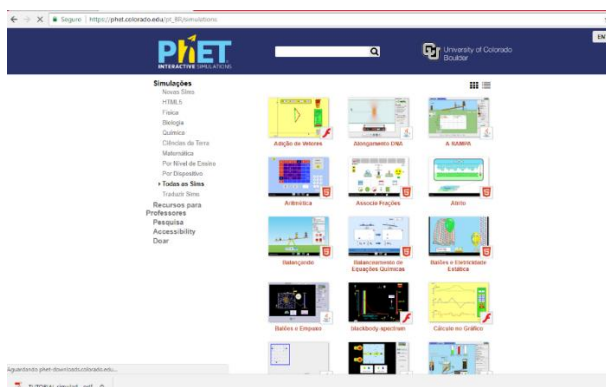


Figura 4: Captura da tela inicial da gama de alguns dos principais aplicativos disponibilizados pelo site do **Phet Colorado** de forma bem precisa e ilustrativa que é encontrado de gratuitamente na plataforma através do link: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation.

A página contém informações sobre os principais conceitos que a aplicação permite e refere alguns objetivos de aprendizagem, que podem orientar a utilização do simulador.

Existe o guia do professor (documento pdf) que contém sugestões para atividades, criadas pela equipa PhET. Se, a opção de carregamento for, por exemplo, a que é acedida pela sugestão “Correr Agora”, a aplicação Java (é ne-

cessário possuir uma versão atualizada) da simulação carrega-se numa pasta temporária e obtemos uma janela com o simulador, com as informações seguintes no caso do experimento da dupla fenda, que no site é nomeado como Interferência Quântica:

Observação: O texto no site pode ser baixado somente na versão em inglês e o mesmo foi parcialmente adaptado e traduzido através do site: <https://www.onlinedoctranslator.com/pt/>, onde além da tradução foi transformado em arquivo WORD para as devidas modificações.

PROCEDIMENTOS:

A simulação da experiência das duas fendas irá recriar virtualmente os aspectos visuais e algumas particularidades relacionadas a deixar que a luz visível se difracte através de duas fendas.

Procedimento 01: Ao abrir o aplicativo clicar em DUPLA FENDA, onde aparecerá as duas fendas e clicar no botão LIGAR para disparar um feixe de luz que quando passar pelas fendas sofrerá difração e atingirá o anteparo onde será projetado as manchas de interferência e que poderão ser observadas as regiões **máximas** (regiões mais

bem iluminadas) e **mínimas** (regiões mal iluminadas) de intensidade. Os dois orifícios colocados lado a lado, poderão ter suas dimensões variadas na aba direita onde informa TAMANHO DA FENDA, explicação do ocorrido é porque as ondas se propagam através de uma frequência e intensidade, quando a crista da onda que estivesse passando pela fenda esquerda entrasse em contato com crista da onda (parte mais alta ou mais intensa) propagada pela fenda da direita, então elas se somariam e formariam uma onda mais forte. Já se a crista de uma onda entrasse em contato com o vale da outra (parte mais baixa ou menos intensa) então as duas se anulariam. Pensando assim, se luz fosse onda, então o padrão exibido no fundo do anteparo seria o que é chamado de Padrão de Interferência:

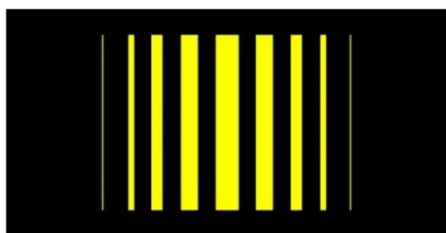


Figura 5: Captura da tela do site do Phet Colorado do Roteiro do experimento da Fenda Dupla

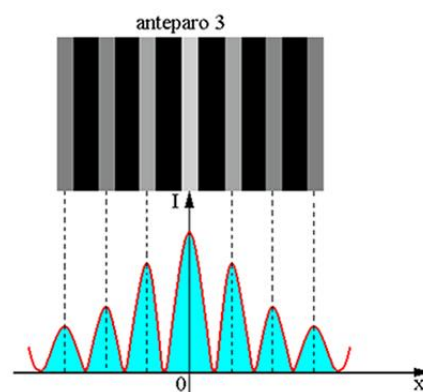


Figura 6: Captura da tela do site do Phet Colorado do Roteiro do experimento da Fenda Dupla

- As franjas claras correspondem a regiões de interferência construtiva.
- As franjas escuras correspondem a regiões de interferência destrutiva.

Este padrão denotaria que a luz era composta de Ondas e não de Partículas e foi exatamente o que o experimento demonstrou.

Procedimento 02: Ao clicar em **Partícula Única** os alunos poderão trocar entre fótons e elétrons e aciona o botão ligar do feixe e observarão o mesmo comportamento no anteparo que é atingido por uma única partícula por vez, com isso os alunos chegaram ao resultado que os elétrons também possuem as mesmas características dos fótons. Posteriormente, deverá ser acrescentado a dupla fenda, onde os alunos visualizaram os mesmos aspectos e comportamento corpuscular, o simples

fato de medirem por qual fenda cada partícula passaria, para tentar entender o porquê de as partículas individuais estarem criando um padrão de onda, causou o colapso do padrão anterior, fazendo com que as partículas se comportassem, dessa vez, como partículas, em uma trajetória, praticamente, retilínea.

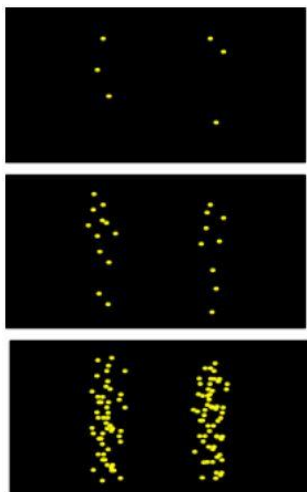


Figura 7: Captura da tela do site do Phet Colorado do Roteiro do experimento da Fenda Dupla

Procedimento 03: o feixe projetado nos procedimentos anteriores poderá sofrer alteração nas frequências, consequentemente alterando as cores e onde poderá ser visto que algumas das frequências não incidem da mesma forma no anteparo.

Procedimento 04: na aba “2 Lasers” no guia ao clicar será ilustrado dois lasers e os alunos poderão ligar os lasers onde poderão visualizar que um feixe não atrapalha o outro, porém poderão

interferir se e somente se eles não foram da mesma cor.

Observações:

- Para salvar a simulação o aluno poderá ir na aba **salvar / Carregar** que está no **Arquivo menu**.
- Para que a tela seja copiada deverá ir no botão “**Copiar tela**” para salvar uma cópia da tela para que os alunos possam comparar os padrões de interferência para a separação diferente de fenda, comprimento de onda, tipo de partícula etc.
- Na opção “**Partícula única**” no guia, marcar a **Auto Repetição** para obter um fluxo contínuo de partículas e “**Rapid**” para construir o padrão de interferência mais rapidamente. Poderá também pausar a simulação. Há um recurso para aumentar a Resolução nas opções **menu**, mas isso vai retardar as coisas. Já para aumentar o Passo tempo vai ajudar a acelerar as coisas saltando frames.
- Para alterar o esquema de cores e fontes usar o **UI** em “**opções**”. Se você está fazendo uma demonstração palestra, configurar a resolução da tela para

1024x768 assim a simulação irá preencher a tela e ser visto facilmente notas de modelagem importantes / simplificações:

- Para **ilustrar o comportamento das ondas entre as fendas e a tela**, nos concentramos em uma visão de campo próximo.
- Na opção **“Partícula única”** no guia, a configuração padrão de um dos detectores é fazer medições periódicas em que a função de onda entra em colapso para dentro do detector, se for detectado lá, e fora do detector, se não for uma vez que a partícula tem sido detectada dentro de um detector, o detector está desativado. Se você verificar **Repita Detectar** o detector não será desativado, e você pode prender as partículas no detector de medições repetidas devido à Quantum Zeno Effect. Se você desmarcar **Deteção automática**, o detector só vai funcionar quando você pressionar **“Detectar”**.

CONCLUSÕES SOBRE O EXPERIMENTO

A simulação demonstrar como a experiência de fenda dupla mostra que a luz deve ser tanto uma onda que passa através de ambas as fendas e uma partícula que atinge a tela em um único local. A visualização fornecida pela simulação permite que os alunos para ver o cerne da questão e fazer perguntas profundas no início do processo de aprendizagem. Pode ilustrar como detecção qual fenda uma partícula atravessou destrói o padrão de interferência duas fendas, colocando um detector sobre uma ou ambas as fendas. Quando fótons, elétrons e átomos se comportam como partículas e quando eles se comportam como ondas? Assista ondas espalharem-se e interferirem à medida que passam através de uma fenda dupla, e então serem detectadas em uma tela como pequenos pontos. Use detectores quânticos para explorar como as medições mudam as ondas e os padrões que produzem na tela.

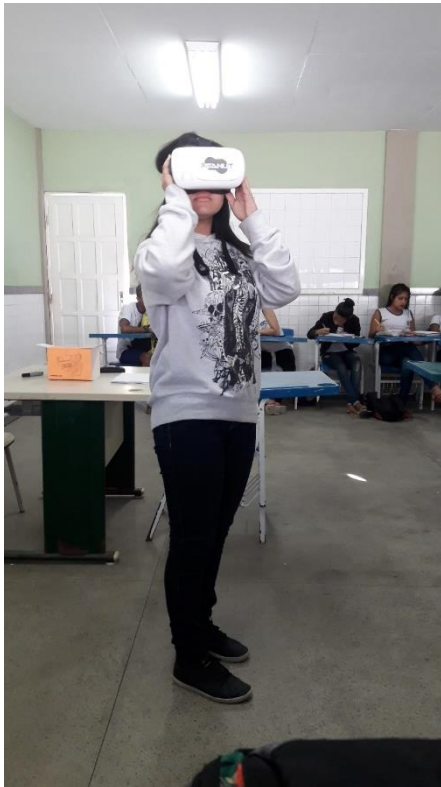
Alguns Objetivos de Aprendizagem do experimento da Fenda Dupla

- Visualizar fóton, elétron, nêutron, ou átomo de hélio como um

pacote de onda que entra em colapso após a detecção.

- Visualizar o que acontece com a onda entre as fendas e a tela. Justificar como o experimento de fenda dupla explica que a matéria e a luz se comportam como ondas.
- Descrever o comportamento de uma função de onda na presença de um detector, e explicar como colocar um detector sobre uma fenda destrói a interferência
- Determinar como o padrão de interferência mudará, se alterar a massa, velocidade ou comprimento de onda.
- Reconhecer grande gama de escalas de tamanho envolvidos nos experimentos de interferência quântica.
- Reconhecer que duas fontes de luz coerente podem interferir, mas apenas se eles tiverem o mesmo comprimento de onda.

ANEXO D – FOTOS













ANEXO E – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO NA
EDUCAÇÃO BÁSICA - PPGEEB

Termo de Consentimento Livre e Esclarecimento

PESQUISADOR RESPONSÁVEL: DANIEL SANTOS DE SOUZA
ORIENTADOR: PROF. DR. FLÁVIO GIMENES ALVARENGA

São Mateus-ES, agosto de 2018.

Pedimos autorização do (a) Sr. (a), responsável pelo (a) jovem

_____, para que o mesmo possa participar de uma pesquisa que visa inserir temas de Física Moderna de forma prática e teórica, onde serão utilizados meios de análises tais como questionários e gravações de áudio dos diálogos produzidos em sala ao longo de 08 aulas. O processo será realizado na EEEFM Santo Antônio durante as aulas da disciplina Física e mediada pelo mestrando **Daniel Santos de Souza** sob orientação do **Prof. Dr. Flávio Gimenes Alvarenga**. Com esta pesquisa pretendemos investigar e análise diversas metodologias de ensino voltadas a alunos matriculados no 1º ano do ensino médio. Os diálogos e demais práticas estão previstos para ocorrer na própria sala de aula da escola. Em caso de dúvidas ou esclarecimentos, o Sr. (a) pode entrar em contato com o pesquisador através do telefone (27) 9-8138-0096 ou pelo e-mail profengdanielsouza01@gmail.com.

Eu, _____,
telefone: _____, responsável pelo(a)
jovem: _____
_____ autorizo a participação deste na pesquisa a ser realizada.

ASSINATURA DO RESPONSÁVEL:

DATA: ____/____/____