



AYRTON NASCIMENTO SOUZA

UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE
CONCEITOS DE CINEMÁTICA RELATIVÍSTICA NO ENSINO MÉDIO QUE UTILIZA
PLATAFORMA ARDUÍNO E TDICS

VITÓRIA DA CONQUISTA

2023

AYRTON NASCIMENTO SOUZA

UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE
CONCEITOS DE CINEMÁTICA RELATIVÍSTICA NO ENSINO MÉDIO QUE UTILIZA
PLATAFORMA ARDUÍNO E TDICS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como um dos requisitos necessários para obtenção de título de Mestre em Ensino de Física. Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Ramos

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Anderson Paiva
Ramos

VITÓRIA DA CONQUISTA

2023

S713u

Souza, Ayrton Nascimento.

Uma unidade de ensino potencialmente significativa para o ensino de conceitos de cinemática relativística no ensino médio que utiliza plataforma Arduino e TDICS. /

Ayrton Nascimento Souza, 2023.

248f. il.

Orientador (a): Dr^a. Sandra Cristina Ramos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós Graduação do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 193 - 195.

1.Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). 2. Teoria da Relatividade Especial. 3. Arduíno. 4.TDIC - Aprendizagem Crítica. I. Ramos, Sandra Cristina. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física- MNPEF. III. T.

CDD 530.11

*Catlogação na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890***

Bibliotecária UESB – Campus Vitória da Conquista -BA



ATA DE BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Aos vinte e oito dias do mês de abril de 2023, às 9h00, por meio da plataforma virtual *Google Meet*, de conta institucional da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista, instalou-se a Banca Examinadora para avaliação da dissertação intitulada *"Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Ensino de Conceitos de Cinemática Relativística no Ensino Médio que utiliza Plataforma Arduino e TDICs"*, de autoria de Ayrton Nascimento Souza, discente do Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. A banca examinadora foi presidida pela professora Dra. Sandra Cristina Ramos, orientadora do mestrando e contou com a participação da professora Dra. Maria Socorro Seixas Pereira e do professor Dr. Carlos Alexandre dos Santos Batista, na condição de examinadores; tendo sido APROVADA. Entretanto, para que o respectivo título possa ser concedido, com as prerrogativas legais dele advindas, o exemplar definitivo da referida dissertação deverá ser entregue(enviada), na secretaria do mestrado, em um prazo máximo de 60 (sessenta) dias, com as alterações e/ou correções sugeridas pelos membros da banca, para que possa ser homologado pelas instâncias competentes da UESB.



Documento assinado eletronicamente por **Sandra Cristina Ramos, Professor**, em 28/04/2023, às 13:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alexandre dos Santos Batista, Professor**, em 28/04/2023, às 13:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Socorro Seixas Pereira, Usuário Externo**, em 28/04/2023, às 13:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ayrton Nascimento Souza, Usuário Externo**, em 28/04/2023, às 15:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristina Porto Gonçalves, Coordenador(a) do Programa**, em 28/04/2023, às 17:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 13º, Incisos I e II, do [Decreto nº 15.805, de 30 de dezembro de 2014](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://seibahia.ba.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **00066161922** e o código CRC **DC73803D**.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO - PPG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO Mestrado Nacional Profissional
EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
Área de concentração: Ensino de Física



**UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O ENSINO DE
CONCEITOS DE CINEMÁTICA RELATIVÍSTICA NO ENSINO MÉDIO QUE UTILIZA
PLATAFORMA ARDUÍNO E TDICS**

AUTOR: AYRTON NASCIMENTO SOUZA

DATA DE APROVAÇÃO: 28 de abril de 2023

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em convênio com a Sociedade Brasileira de Física – SBF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Área de concentração: Ensino de Física.

COMISSÃO JULGADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br SANDRA CRISTINA RAMOS
Data: 25/05/2023 12:11:42-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

**PROFA. DRA. SANDRA CRISTINA RAMOS
PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS BATISTA
Data: 30/05/2023 10:46:51-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

**PROF. DR. CARLOS ALEXANDRE DOS SANTOS BATISTA
EXAMINADOR INTERNO**

Documento assinado digitalmente
gov.br MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA
Data: 25/05/2023 14:20:39-0300
Verifique em <https://validar.jf.gov.br>

**PROFA. DRA. MARIA SOCORRO SEIXAS PEREIRA
EXAMINADORA EXTERNA**

2023



Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Física - MNPEF
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB
Estrada do Bem Querer Km, 04, Vitória da Conquista - BA
CEP: 45031-300



Dedico este trabalho a minha mãe, Vera, por ter me ensinado a não desistir, fazendo muito com muito pouco.

AGRADECIMENTOS

À minha companheira e grande amor da minha vida, Grazielle, pelo apoio emocional e por suportar minhas faltas, na conversa e na faxina, enquanto me dedicava a este trabalho.

Eternamente, à minha mãe, Vera, e aos meus irmãos, Arthur e João Vitor, pela companhia na vida e pelo amor que me faz continuar.

Ao meu grande amigo, Mateus, pela parceria de sempre.

À minha orientadora, Dra. Sandra Cristina Ramos, por toda orientação, paciência e disponibilidade. Muito obrigado.

Ao meu coorientador, Dr. Jorge Anderson P. Ramos, pelo apoio essencial.

Aos meus professores neste mestrado, Luizdarcy, Cristina, Jorge, Jornandes, Sérgio e, em especial, Wagner, pelo conhecimento e dedicação.

Aos meus colegas, Mariana, Anderson, Vilma, Nelson, Fernando, Rayke, Ivanê, Égilo e José Nilton, pela parceria, apesar da pandemia.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade transformadora.

À Sociedade Brasileira de Física, por não esquecer da Educação Básica.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – pelo apoio - Código de Financiamento 001.

*“Tudo, tudo, tudo, tudo que nós tem é nós
Tudo que nós tem é isso, uns ao outro”*

Emicida

RESUMO

Este trabalho apresenta um percurso investigativo qualitativo sobre o desenvolvimento, implementação e avaliação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o Ensino Médio, abordando conceitos de Movimento fundamentado na teoria da Cinemática Clássica e Cinemática Relativística. O objetivo é identificar evidências de aprendizagem com significado e crítica. Como ferramentas pedagógicas foram utilizadas um experimento com a plataforma Arduíno (construído para este fim), simulações, vídeos e mapas conceituais. Estas foram trabalhadas com proposições de atividades colaborativas para resolução de situações-problema. O referencial teórico é da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel articulada com elementos de outras teorias que compõe os princípios da UEPS, a saber: a Teoria de Educação de Novak, o Modelo de Gowin, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira. Foram obtidos bons resultados para o ensino de Cinemática Relativística com avanços significativos quanto ao desenvolvimento do pensamento crítico.

Palavras-chave: UEPS; Teoria da Relatividade Especial; Arduíno; TDIC; Aprendizagem Crítica.

ABSTRACT

This work presents a qualitative investigative journey on the development, implementation and evaluation of a Potentially Significant Teaching Unit (PMTU) for High School, approaching concepts of Motion based on the theory of Classical Kinematics and Relativistic Kinematic. The mainly subject is to identify meaningful and critical learning. As pedagogical tools werw used an experiment with the Arduino platform (built for this purpose), simulations, videos and concept maps which were worked with propositions of collaborative activities to solve problem situations. The theoretical framework is Ausubel's Meaningful Learning Theory articulated with elements from other theories that make up the principles of PMTU, namely Novak's Education Theory, Gowin's Model, Johnson-Laird's Mental Models Theory, the Vergnaud's Conceptual Fields Theory and Moreira's Critical Meaningful Learning Theory. By using this method were obtained a great results for teaching of Relativistic Kinematics with advances in the development of critical thinking.

Key words: PMTU; Special Theory of Relativity; Arduino; DICT; Critical Learning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Relação triádica de Gowin	41
Figura 2 – Mapa conceitual sobre Aprendizagem significativa	42
Figura 3 - Pedra caindo do mastro do navio	59
Figura 4 - Comparação dos campos de um ímã e solenoide	65
Figura 5 - As fronteiras da Física onde Einstein trabalhou.....	70
Figura 6 – Simultaneidade do trem em relação a S	73
Figura 7 – Relógio de luz	74
Figura 8 – Relógio de luz no referencial S	75
Figura 9 - Trem em movimento na estação.....	77
Figura 10 - Equação da velocidade com velocidade relativa	78
Figura 11 - Equação da velocidade com velocidade constante	79
Figura 12 – Localização de Anagé na Bahia.....	84
Figura 13 - Mapa conceitual 1	88
Figura 14 - Mapa conceitual 2.....	89
Figura 15 - Mapa conceitual 3.....	90
Figura 16 - Multímetro.....	92
Figura 17 - 6 ou 9?.....	94
Figura 18 - Garota observa escada rolante.....	95
Figura 19 - Mulher na escada rolante	96
Figura 20 – Barco parado	97
Figura 21 – Barco em movimento	97
Figura 22 – Perspectivas sobre a Lua.....	98
Figura 23 – Bola numa caixa.....	98
Figura 24 – Homem observa uma nave	99
Figura 25 – Trajetória externa à nave	99
Figura 26 – Medidas do quadro com trena	103
Figura 27 – Experimento com Arduino.....	104
Figura 28 – Simulação sobre referencial.....	108
Figura 29 – Vídeo de experimento do trem.....	109
Figura 30 – Vídeo da simulação do lançamento no ônibus 1.....	111
Figura 31 - Vídeo da simulação do lançamento no ônibus 2	112
Figura 32 – Avião sobrevoando naufrago	113

Figura 33 – Mapa com pontos A, B e C	114
Figura 34 – Simulação do lançamento de bomba	115
Figura 35 - Mapa com relógio	117
Figura 36 - Barco com relógio	119
Figura 37 – Trajetória do ioiô com relógio	120
Figura 38 – Mapa mental na teoria clássica.....	121
Figura 39 – Trajetórias da bola na nave em diferentes referenciais.....	122
Figura 40 – Trajetória da mosca em diferentes referenciais	123
Figura 41 – Mapa mental teoria clássica e teoria relativística	125
Figura 42 – Trajetórias da mosca no carro com relógio	126
Figura 43 – Múons na atmosfera	127
Figura 44 – Mosca no carro com velocidades relativas	129
Figura 45 – Referenciais da bola na nave.....	130
Figura 46 – Luz no trem 1	132
Figura 47 – Luz no trem 2	133
Figura 48 – Mapa conceitual coletivo construído coletivamente na turma ...	141
Figura 49 – Resposta do G1 (atividade 1, questão 1C)	144
Figura 50 - Resposta do G4 (atividade 1, questão 1C)	145
Figura 51 - Resposta do G9 (atividade 1, questão 1C)	145
Figura 52 - Resposta do G1 (atividade 1, questão 2(a) e 2(b))	146
Figura 53 – Resposta do G9 (atividade 1, questão 2(a) e 2(b))	147
Figura 54 - Experimento com a plataforma Arduíno 2.....	149
Figura 55 - Experimento com a plataforma Arduíno 3.....	150
Figura 56 - Mapa conceitual de G7	151
Figura 57 – Mapa conceitual de G1	152
Figura 58 – Elaboração dos grupos durante atividade 2 em grupo.....	153
Figura 59 - Experimento com plataforma Arduíno 3.....	154
Figura 60 - Resposta do G5 (atividade 2, questão 2C)	155
Figura 61 - Resposta do G1 (atividade 2, questão 3 (a))	155
Figura 62 - Resposta do G3 (atividade 2, questão 3(a))	155
Figura 63 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 1D)	157
Figura 64 - Resposta do G4 (atividade 3, questão 1D)	158
Figura 65 - Resposta do G6 (atividade 3, questão 1D)	158
Figura 66 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 1EF)	160

Figura 67 - Resposta do G7 (atividade 3, questão 1EF)	161
Figura 68 - Resposta do G5 (atividade 3, questão 1EF)	162
Figura 69 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 2B)	163
Figura 70 - Resposta do G3 (atividade 3, questão 2B)	163
Figura 71 - Resposta do G5 (atividade 3, questão 2B)	164
Figura 72 - Resposta do G1 (atividade 4, questão 3).....	168
Figura 73 - Resposta do G2 (atividade 4, questão 3).....	169
Figura 74 - Resposta do G10 (atividade 4, questão 3).....	169
Figura 75 - Resposta do G1 (atividade 5, questão 1).....	171
Figura 76 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 1).....	171
Figura 77 - Resposta do G8 (atividade 5, questão 1).....	171
Figura 78 - Resposta do G3 (atividade 5, questão 2A)	172
Figura 79 - Resposta do G4 (atividade 5, questão 2A)	173
Figura 80 - Resposta do G1 (atividade 5, questão 2B)	173
Figura 81 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 2B)	174
Figura 82 - Resposta do G5 (atividade 5, questão 2C)	174
Figura 83 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 2C).....	174
Figura 84 - Estudantes fazendo a avaliação	175
Figura 85 – Resposta de E21 (somativa, questão 2AB)	176
Figura 86 – Resposta de E13 (somativa, questão 2AB)	177
Figura 87 - Resposta de E29 (somativa, questão 2F).....	178
Figura 88 - Resposta de E11 (somativa, questão 2F).....	178
Figura 89 – Resposta de E4 (somativa, questão 2F)	179
Figura 90 - Resposta de E14 (somativa, questão 2G)	179
Figura 91 - Resposta de E2 (somativa, questão 2G)	180
Figura 92 - Resposta de E17 (somativa, questão 2H)	180
Figura 93 - Resposta de E33 (somativa, questão 2H)	181
Figura 94 - Resposta de E35 (somativa, questão 3).....	181
Figura 95 - Resposta de E13 (avaliação da UEPS, questão 1).....	182
Figura 96 - Resposta de E17 (avaliação da UEPS, questão 1).....	182
Figura 97 - Resposta de E20 (avaliação da UEPS, questão 1).....	183
Figura 98 - Resposta de E29 (avaliação da UEPS, questão 1).....	183
Figura 99 - Resposta de E4 (avaliação da UEPS, questão 2)	183
Figura 100 - Resposta de E12 (avaliação da UEPS, questão 2).....	183

Figura 101 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 2).....	184
Figura 102 - Resposta de E20 (avaliação da UEPS, questão 2).....	184
Figura 103 - Resposta de E35 (avaliação da UEPS, questão 2).....	184
Figura 104 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 3).....	184
Figura 105 - Resposta de E26 (avaliação da UEPS, questão 3).....	185
Figura 106 - Resposta de E32 (avaliação da UEPS, questão 3).....	185
Figura 107 - Resposta de E33 (avaliação da UEPS, questão 3).....	185
Figura 108 - Resposta de E1 (avaliação da UEPS, questão 4).....	185
Figura 109 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 4).....	185
Figura 110 - Resposta de E27 (avaliação da UEPS, questão 4).....	186
Figura 111 - Resposta de E12 (avaliação da UEPS, questão 5).....	186
Figura 112 - Resposta de E19 (avaliação da UEPS, questão 5).....	186
Figura 113 - Resposta de E35 (avaliação da UEPS, questão 5).....	186

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cronograma de implementação da UEPS	86
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular
CERV – Colégio Estadual Renato Viana
EM – Ensino Médio
ENEM – Exame Nacional do Ensino Médio
FM – Física Moderna
FMC – Física Moderna e Contemporânea
HFC – História e Filosofia da Ciência
MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
NdC – Natureza da Ciência
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PNLD – Programa Nacional do Livro Didático
TAS – Teoria de Aprendizagem Significativa
TASC – Teoria de Aprendizagem Significativa Crítica
TC – Teoria Clássica
TCC – Teoria dos Campos Conceituais
TD – Transposição Didática
TDIC – Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TR – Teoria Relativística
TRE – Teoria da Relatividade Especial
UEPS – Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
ZDP – Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	19
1.2	Problemática.....	29
1.3	Objetivos.....	30
1.4	Método.....	31
1.5	Resumo dos capítulos	32
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	33
2.1	A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel	33
2.2	Teoria interacionista social de Vygotsky	38
2.3	A teoria da educação de Novak e o Modelo de Gowin	39
2.4	A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird	43
2.5	Teoria dos campos conceituais de Vergnaud	45
2.6	Teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira	46
2.7	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS	48
2	MOVIMENTO – DA MECÂNICA CLÁSSICA À TEORIA DA RELATIVIDADE	
	52	
2.7	Ascensão da Mecânica Clássica	52
2.8	A Mecânica Clássica	53
2.9	Revolução Científica.....	60
2.10	O Declínio da Mecânica Clássica.....	64
2.11	Ascensão da Relatividade	68
2.12	A Teoria da Relatividade	70
2.13	Uma Introdução à Cinemática Relativística.....	72
3	CONTEXTO E PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS METODOLÓGICOS	84
2.14	localização e perfil da turma.....	84
2.15	DESENVOLVIMENTO DA UEPS.....	85

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	135
2.16	Encontro 1	135
2.17	Encontro 2	141
2.18	Encontro 3	148
2.19	Encontro 4	156
2.20	Encontro 5	164
2.21	Encontro 6	165
2.22	Encontro 7	169
2.23	Encontro 8	175
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
	Referências	190
	Apêndice A	194
	Apêndice B	198
	Apêndice C	200
	Apêndice D	202
	Apêndice E	205
	Apêndice F	206
	Apêndice G	209
	Apêndice H	212
	Apêndice I	214
	Apêndice J	216

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho discute qualitativamente a implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) no Ensino Médio sobre o conceito de Movimento, fundamentada na teoria da Cinemática Clássica e da Cinemática Relativística. Utilizou-se como ferramentas pedagógicas um experimento com a Plataforma Arduino; Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs), tais como simulações e vídeos; e mapas conceituais. Com estas ferramentas pedagógicas foram propostas atividades colaborativas desenvolvidas em grupo para resolução de situações-problema.

Dentre os motivos pessoais que me levaram a desenvolver esse tema em sala de aula está meu fascínio pelo uso da plataforma Arduino no processo de ensino-aprendizagem, razão pela qual busquei trabalhar com esta linha assim que ingressei neste programa de mestrado. Além disso, havia um interesse em relação a compreensão do surgimento e da necessidade da Teoria da Relatividade, uma vez que em algumas discussões senti esta limitação na minha formação. Por fim, no processo de desenvolvimento deste trabalho, realizei que meu papel enquanto professor da educação básica e pesquisador era o de mediar conhecimentos; considerando que não ocupo o lugar de alguém que desenvolve uma teoria educacional, ou que se especializa em currículo, ou em história e filosofia da ciência, ao mesmo tempo que, entretanto, trabalho com todos esses campos com alguma profundidade. Dessa forma, meu papel não é ser especialista em uma dessas áreas profundas e complexas, mas sim de ser especialista em mediar estes campos para serem aplicados em sala de aula, para fazer com que o processo de ensino-aprendizagem aconteça, com alguma qualidade, na linha de frente da educação básica. Acredito que perpassa por todo este trabalho tal compreensão de articulação conhecimentos.

1.1 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento tecnológico impõe rápidas mudanças na sociedade contemporânea, no contexto nacional e internacional, que reflete, por exemplo; na forma de se comunicar com as novas Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs), o que impacta no funcionamento da sociedade e do mundo do trabalho (BRASIL, 2018, p. 464 e 473).

No novo cenário mundial é preciso ir além do acúmulo de informações. Embora a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018) reconheça a importância das TDICs na produção, no cotidiano e no ensino, ela afirma também que é preciso desenvolver discernimento e consciência crítica para lidar com este quantitativo de informação (p. 14 e 473-474). É preciso, “com base em conhecimentos científicos confiáveis, investigar situações-problema e avaliar as aplicações do conhecimento científico e tecnológico nas diversas esferas da vida humana com ética e responsabilidade” (BRASIL, 2018, p. 558).

Isso coloca desafios para o Ensino Médio de garantir aos jovens uma educação que os preparem para uma sociedade em constante transformação (BRASIL, 2018, p. 473). No entanto, a escola ainda transmite a *ilusão da certeza* na sociedade da mudança; ou seja, ainda se ensina, direta ou indiretamente, as dicotomias de “certo e errado”, de “bom e mal”; de verdades absolutas, fixas e imutáveis; de que as coisas possuem causas isoladas e simples; de que a tecnologia, o consumo, a globalização e o mercado inevitavelmente melhorarão a sociedade (MOREIRA, 2019, p. 223-225).

1.1.1 Física Moderna no Ensino Médio

Sobre o ensino de Física no ensino médio, Moreira afirma:

Além da falta e/ou despreparo dos professores, de suas más condições de trabalho, do reduzido número de aulas no Ensino Médio e da progressiva perda de identidade da Física no currículo nesse nível, o ensino da Física estimula a aprendizagem mecânica de conteúdos desatualizados. Estamos no século XXI, mas a Física ensinada não passa do século XIX. (2017, p.2)

Trazendo à luz motivos de se estar preso à Física do século XIX, ao verificar levantamentos de livros didáticos aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), C. Martins (2019) aponta que na maioria das vezes a Física Moderna e Contemporânea (FMC) é destinada à 3ª série do Ensino Médio (EM), no último volume. Além da resistência dos professores de introduzir conteúdos de FMC, o autor destaca que as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM), mesmo destacando a importância de compreender equipamentos tecnológicos (o que, por vezes, envolve conhecimento de FMC), não colocam obrigatoriedade destes conteúdos.

Menezes (1993 *apud* BUSE, 2014) afirma que o ensino de Cinemática – que é o estudo físico da descrição dos movimentos – no Ensino Médio é pouco relevante, dado

seu enfoque numa matematização precoce com pouca compreensão do mundo natural e sua pouca contribuição para os demais conceitos da Física. Assim, considerando o pouco tempo pedagógico que se tem para trabalhar o currículo de Física, Menezes argumenta que, com a eliminação da Cinemática, poderia sobrar tempo para se trabalhar a Física Moderna. No entanto, discordando deste posicionamento, Gaspar (1994 *apud* BUSE, 2014) afirma que, apesar dos livros didáticos abordarem a Cinemática de uma forma muito abstrata e irrealista, há fortes razões para estudá-la, uma vez que contribui para a compreensão da Matemática como ferramenta da Física e, além disso, historicamente, a Física se inicia com o estudo dos movimentos.

Reconhecendo e buscando conciliar estes argumentos colocados por Menezes e Gaspar, é possível tratar a Cinemática da Física Clássica juntamente com a da Teoria da Relatividade Especial (TRE). Dessa forma, potencializa-se sua relevância ao mesmo tempo que também se aborda a Física Moderna (FM), tal como feito neste trabalho e em outros que foram abordados na seção da Revisão da Literatura.

Ao analisar como livros didáticos do Ensino Médio abordam a Teoria da Relatividade Especial (TRE), Rodrigues e Oliveira (1999) afirmam que se trata como uma mera curiosidade, e, assim sendo, este não aprofundamento do conteúdo com uma abordagem descolada da realidade dos estudantes abrem espaço para uma compreensão indevida.

1.1.2 Paralelos com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC)

Nesta seção é feito um paralelo entre o documento curricular orientador da Educação Básica, BNCC (BRASIL, 2018), e características da UEPS deste trabalho. Nesta unidade de ensino se propõe diversas situações-problema com contextos diferentes, inclusive envolvendo simulações e o experimento com a plataforma Arduíno, o que contribui para o desenvolvimento de duas Competências Gerais da BNCC: A *competência 2*, que fala sobre “Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções [...]” (p. 9); e a *competência 5*, no que se refere a “Compreender, utilizar [...] tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva” (BRASIL, 2018, p. 9) para produzir conhecimento e resolver problemas.

Na UEPS estas situações-problema, com frequência, são propostas para resolução através de discussões coletivas, em grupo, o que contribui para desenvolvimento de outras cinco Competências Gerais da BNCC (2018), como a *competência 4*, no que se refere ao uso de linguagem verbal e visual, assim como conhecimentos das linguagens “matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo” (p. 9).

Aliás, um dos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Moreira (2019, p. 231-232) identifica que a linguagem não é uma forma de expressar o que percebemos do mundo (de forma neutra) e pensamos, mas, na verdade, ela influencia na forma que pensamos. A linguagem é uma maneira singular de perceber o mundo, e sendo assim, ensinar Física, Química, Biologia, História etc., é ensinar linguagens diferentes. A compreensão de que é possível ver o mundo com diferentes linguagens, é uma aprendizagem crítica.

As outras quatro Competências Gerais citadas são: A *competência 7*, quando se fala sobre “Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns [...]” (BRASIL, 2018, p. 9); A *competência 8*, no que tange a se compreender dentro da “[...] diversidade humana e reconhecendo suas emoções e as dos outros, com autocrítica e capacidade para lidar com elas” (BRASIL, 2018, p. 10); A *competência 9*, se tratando de “Exercitar a empatia, o diálogo, a resolução de conflitos e a cooperação [...], com acolhimento e valorização da diversidade de indivíduos e de grupos sociais, seus saberes [...] e potencialidades” (BRASIL, 2018, p. 10); E a *competência 10*, no que se refere a “Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, [...] tomando decisões com base em princípios [...] democráticos [...] e solidários” (BRASIL, 2018, p. 10).

Já a característica desta UEPS de efetuar um paralelo entre o conceito de Movimento da teoria da Cinemática Clássica com a da Cinemática Relativística colabora com duas Competências Gerais: A *competência 1*, quando se fala em “Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, [e] cultural [...] para entender e explicar a realidade [...]” (p. 9); e a *competência 6*, no que se refere a valorização da diversidade de saberes e apropriação de conhecimentos que permitam fazer escolhas com consciência crítica.

Outro princípio da TASC de Moreira (2019, p. 237-239) que dialoga com estas competências é o da *incerteza do conhecimento*, no qual o teórico defende que certas

definições valem dentro do contexto de uma teoria, de forma que a depender desta última, as definições podem estar adequadas ou não. Assim, o conhecimento expresso por definições é incerto. Identificar isto significa um olhar crítico sobre o conhecimento e a realidade.

Quando se combina a resolução colaborativa de situações-problema com comparação da Cinemática Clássica e Cinemática Relativística, há um estímulo ao desenvolvimento da habilidade *EM13CNT205* da *Competência Específica 2 de Ciências da Natureza*, a qual versa sobre “Interpretar resultados e realizar previsões sobre atividades experimentais, fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas noções de probabilidade e incerteza, reconhecendo os limites explicativos das ciências” (p. 557).

O reconhecimento dos limites explicativos das ciências é sempre muito bem fundamentado pela abordagem Histórica Filosófica da Ciência (HFC). Raicik (2020) destaca o reconhecimento crescente da HFC no ensino, tanto no Brasil como no exterior, pelo seu potencial didático e aprimoramento do senso crítico (p. 165). Isto é possível através da promoção de discussões a respeito da Natureza da Ciência (NdC), i.e., *sobre ciência*, superando a idealização de perspectivas neutras de cientistas e “o método científico único” (RAICIK e PEDUZZI, 2016).

Na *Competência Específica 3 de Ciências da Natureza* possui a maior relação com a UEPS, a habilidade *EM13CNT301*. No texto dessa competência, destaca-se “Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza [...]” (p. 558), enquanto que na habilidade citada está “Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica” (p. 559).

Nessa mesma competência, duas outras habilidades estão parcialmente relacionadas com a UEPS: A *EM13CNT304*, que contempla a comparação das teorias científicas sobre Movimento, a saber, “Analisar e debater situações [...] sobre a aplicação de conhecimentos da área de Ciências da Natureza, com base em argumentos consistentes, legais, éticos e responsáveis, distinguindo diferentes pontos de vista” (p. 559); e a *EM13CNT308*, relacionado ao uso do experimento com a plataforma Arduíno,

“Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas [...]” (p. 560).

1.1.3 Revisão da literatura

Para verificar a relevância deste trabalho e como está a fronteira de publicações acadêmicas sobre o seu tema, realizou-se uma busca em janeiro de 2023, utilizando os descritores “UEPS” e “Relatividade”. Buscou-se trabalhos com esta relação de descritores, partindo da compreensão de que seriam do mesmo tema desta dissertação. Para investigação, escolheu-se os seguintes bancos de dados: Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, ANAIS dos Congressos de Aprendizagem Significativa (nacional e internacional), Repositório digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Google acadêmico.

Colocou-se um filtro nos bancos de dados para mapear os resultados dos últimos 5 anos, de 2018 a 2022. A posteriori, realizou-se uma leitura parcial dos respectivos resumos e tópicos dos resultados, excluindo-se monografias, com o objetivo de selecionar apenas aqueles que fossem, de fato, implementações de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e que envolvessem, de alguma forma, a Teoria da Relatividade Restrita.

No Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES¹ foram encontrados, inicialmente, *350 resultados*. Assim, refinou-se o mapeamento com a ferramenta de filtragem sobre “Área de conhecimento” do *site*, selecionando as opções “Educação”, “Ensino” e “Ensino de ciências e Matemática”, obtendo, desta forma, *79 resultados*. Fazendo a leitura parcial dos trabalhos verificou-se que *0 resultado* era do tipo procurado.

Na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações², de início foram encontrados *14 resultados*. Fazendo leitura parcial, encontrou-se *1 resultado* conforme os critérios escolhidos.

Nos ANAIS³ do Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa e do Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa, já de início foi encontrado *0 resultado*, com os descritores e na janela temporal selecionados.

¹ Disponível em: <https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses/#/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

² Disponível em: <https://bdtd.ibict.br/vufind/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

³ Disponível em: <https://www.apsignificativa.com.br/publicacoes>. Acesso em: 20 jan. 2023.

No Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul⁴ foram encontrados, inicialmente, *8 resultados*. Fazendo a leitura parcial, encontrou-se *0 resultado*.

No Google Acadêmico, para “UEPS; Relatividade”, de 2018 até 2022, em idioma “português”, foram encontrados *147 resultados*. Fazendo leitura parcial, encontrou-se *10 resultados* conforme as especificações procuradas.

Assim, ao se comparar os resultados encontrados, verificou-se que existia *1 resultado em comum* em duas bases de dados, de forma que, o total foi de *10 resultados*, excluindo monográficas, publicados nos últimos 5 anos, que eram implementações de UEPS, envolvendo (em qualquer nível) Teoria da Relatividade Restrita.

1.1.3.1 Panoramas sobre os resultados encontrados

A dissertação de mestrado (na área de Ensino) “Desenvolvimento e Análise de Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Ensino da Teoria da Relatividade Restrita” (MARTINS, C. 2019) tem como problema a existência de obstáculos epistemológicos, didáticos ou de formação que impedem o uso de tópicos da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, e também escassez de trabalhos inseridos na sala de aula, ainda mais sobre Teoria da Relatividade, apesar de indicações nos PCN para o Ensino Médio (PCNEM). O referencial teórico escolhido foi da (Teoria de Aprendizagem Significativa) TAS de Ausubel, utilizando a estratégia de mapas mentais e conceituais. A autora desenvolveu uma UEPS no formato de uma oficina, cujo público-alvo foram professores do Ensino Médio (EM). Pela análise de C. Martins, os resultados mostraram evidência de aprendizagem significativa.

Já o resumo expandido “Análise de uma Unidade Potencialmente Significativa com Abordagem Teatral com a Temática Relatividade Especial” (MERLIM e MERLIM, 2020) tem como público-alvo uma turma da 2ª série do Ensino Médio (EM), e discute sobre uma UEPS implementada, que parte da compreensão de que introduzir conceitos da FMC permite que os estudantes compreendam assuntos do seu cotidiano e a Teoria da Relatividade Especial (TRE) é uma porta de entrada para outros tópicos da FMC. O referencial teórico foi da TAS de Ausubel e utilizou-se o teatro científico como ferramenta facilitadora de aprendizagem, para tornar o ensino mais dinâmico e atrativo. Os

⁴ Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

estudantes fizeram uma encenação teatral sobre a TRE e depois foi aplicado um questionário aberto sobre o tema. Os autores pontuaram que o teatro pode desenvolver poder de argumento e incentivar que os estudantes sejam cidadãos mais participativos.

O artigo “A Utilização do Jogo *A Slower Speed Of Light* para Ensinar Conceitos de Relatividade Restrita” (MARTINS, C. e ZARA, 2018) mostra o resultado da implementação de uma UEPS sobre a Teoria da Relatividade Restrita com outra abordagem. Os autores partem da problemática da dificuldade de estimular estudantes para o questionamento, o diálogo e a crítica, e defendem que as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) contribuem nesse processo. Com o referencial teórico da TAS de Ausubel, utiliza-se como estratégia de ensino-aprendizagem atividades colaborativas e individuais, uso de situações-problema e uso planejado do jogo *Slower Speed of Light*. O público-alvo foram estudantes da 3ª série do EM de uma escola pública estadual e os autores utilizam um grupo controle com o intuito de verificar se a UEPS é mais facilitadora da aprendizagem do que as aulas tradicionais. C. Martins e Zara apontam que os alunos se envolveram no jogo e desenvolveram habilidades de senso crítico, argumentação, representação *etc.*

Com estratégia semelhante, na Dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) “Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o aplicativo TRE Einstein para ensinar a Relatividade Especial” (LIMA, 2018), o autor desenvolve uma UEPS sobre a TRE, fazendo uso de simuladores, vídeos, música, textos motivacionais e um aplicativo desenvolvido como produto educacional do seu trabalho. Lima parte da problemática da pouca ênfase na Física Moderna, em lugares como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+), no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e na abordagem pouco aprofundada dos livros, sendo necessário que a escola adote novas estratégias. O público-alvo da UEPS foi de estudantes do 2ª e 3ª série do Ensino Médio, na modalidade de Educação Profissional e Tecnológica, de uma escola pública federal. O referencial teórico adotado foi da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, a partir do qual o autor entendeu que obteve bons resultados.

Já na dissertação MNPEF “Unidade de Ensino Potencialmente Significativo para o Ensino da Relatividade Especial no Ensino Médio: Uma abordagem com auxílio de Recursos Digitais” (REINERT, 2020), o autor utiliza como referencial teórico a TAS de Ausubel, articulando com contribuições de outros teóricos como Novak, Gowin, Vergnaud e Moreira, para a elaboração de uma UEPS. Reinert parte da problemática de que a Física Moderna (FM), desenvolvida a partir do século XX, é quase inexistente no currículo do Ensino Médio. De forma mais ampla, o ensino de Física é desatualizado de conteúdos e

tecnologia, comportamentalista e centrado no docente. Além disso, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (nº 9.394/96) define que a finalidade da educação é o pleno desenvolvimento do educando, mas o modelo tradicional não se enquadra na realidade tecnológica da sociedade atual. Nunca se teve tanto acesso à informação como na atualidade, graças à internet; mas o que fazer com essa demasia de informação? O autor se guia pelo problema de tornar a educação um processo significativo, e para isso desenvolve uma UEPS sobre o ensino da TRE no EM, utilizando situações-problema e TDICs como vídeos, animações, simulações, planilhas e reportagens. Ele justifica que a inserção de tecnologia envolve o aluno, pois é uma abordagem mais relacionada com seu cotidiano, e sendo pedagogicamente orientada, o leva para o centro do processo de ensino e aprendizagem. A implementação foi feita em turmas da 1ª, 2ª e 3ª séries do Ensino Médio de uma escola da rede particular, sendo que o autor identificou resultados positivos com as turmas da 2ª e 3ª série e houve dificuldades com a turma da 1ª série devido a abstração da Teoria da Relatividade Especial (TRE).

A dissertação do MNPEF “Simetrias e Leis de Conservação: Uma Proposta para o Ensino Médio” (SILVA, W. 2018) trabalha uma UEPS de ensino de mais do que apenas a TRE, pois aborda Leis de Conservação na Física com o conceito de Simetrias atravessando conceitos da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade, Física Quântica e Física da Matéria Condensada. O referencial teórico adotado é da TAS de Ausubel, com alguma articulação com a TAS de Novak, e a TASC de Moreira. A conexão entre a Física Contemporânea e o ensino de Física, a partir de elementos do cotidiano dos estudantes – como Artes Plásticas, Música e Arquitetura –, o autor, que utiliza vídeos, atividades práticas com sólidos geométricos e atividades colaborativas. A UEPS foi implementada numa turma de 1ª série do EM de uma escola pública federal de ensino técnico e W. Silva identificou evidências de aprendizagem significativa.

A dissertação do MNPEF “Quiz com Aplicativo *Socrative* para o Desenvolvimento dos Conceitos De Física Moderna” (OLIVEIRA, 2020) também aborda conteúdos diversos, como Ondas Eletromagnéticas, Teoria da Relatividade de Einstein, Efeito Fotoelétrico e tópicos da Física Quântica. O autor parte da problemática de que aconteceram grandes evoluções tecnológicas em diversas áreas da sociedade, que partem da revolução da Física Moderna no século XX, como a mudança de conceitos como espaço, tempo, massa, energia. No entanto a Física tratada na escola, em geral, é anterior a esta revolução. O autor afirma que com o desenvolvimento tecnológico, a Física começa a ganhar novos espaços de ação em que só a abstração era utilizada, de forma que ele se

propõe a responder o seguinte problema: como integrar estratégias pedagógicas com as TDICs? Então Oliveira desenvolve uma UEPS para o ensino de Física Moderna com o uso de TDIC, através do desenvolvimento de um conjunto de *quiz* (que foi seu produto educacional) feitos por um aplicativo, para se adaptar ao crescente desenvolvimento tecnológico no ensino contemporâneo. Oliveira implementou a UEPS numa turma da 3ª série do EM de uma escola da rede particular, e adotando o referencial teórico da TAS de Ausubel e identificou indícios de aprendizagem significativa.

De forma menos diversa em relação aos conteúdos, mas ainda não localizado apenas na TRE, a dissertação do MNPEF “Sequência Didática para o Ensino Médio Sobre o Tempo: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita” (SOBRINHO, 2021) faz uma abordagem com reflexões filosóficas sobre o tempo, desde Aristóteles até Einstein através de uma UEPS. Partindo dos problemas de que o estudante do EM conclui este curso sem reflexão sobre um conceito tão relevante quanto o tempo e da falta de predisposição dos estudantes, o autor utiliza como referencial teórico a TAS de Novak. Sobrinho tem por objetivo criar uma experiência afetiva positiva, ao se relacionar Física e Filosofia numa discussão sobre o tempo, apresentando a TRE como resultado consensual. O público-alvo foi de duas turmas da 3ª série do EM de uma escola pública estadual, adotando-se como estratégia o uso de mapas conceituais, simulação e vídeos. O autor identificou dificuldades em exercícios de cálculos e bons resultados com os mapas conceituais.

Na mesma linha, a dissertação do MNPEF “Espaço-Tempo em Mecânicas: Crítica à Abordagem Usual dos Livros Didáticos e Uma Proposta de UEPS para o Ensino Médio” (SILVA, L. 2020) desenvolve uma UEPS sobre conceitos como espaço e tempo, unindo as mecânicas newtoniana e a relativística, em contraposição à forma afastada que são apresentadas no Ensino Médio – a mecânica de Newton na 1ª série do EM, e a relativística no final da 3ª série do EM. O autor aponta que a literatura tem se preocupado com a prática docente, indicando a necessidade de adquirir novas metodologias. Além disso, ele faz uma análise de livros didáticos e conclui que não tem uma boa abordagem conceitual. L. Silva coloca como problema a escassez de discussão sobre a evolução histórica dos conceitos, especialmente na educação básica. Seu referencial teórico é fundamentalmente a TAS de Ausubel, mas também utilizou a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica (TASC) de Moreira na construção da UEPS. Dessa forma, a aplicou numa turma da 1ª série do EM de uma escola da rede particular e teve por objetivo que os estudantes percebam a ciência como um processo em construção. Para isso, utilizou-

se como ferramentas didáticas a produção de texto, construção de mapas conceituais, experimentos e simulação, apresentando resultados positivos.

O artigo “UEPS sobre o Estudo da Cinemática no Diagrama Espaço-Tempo em Nível de Ensino Médio” (SOEIRO *et al.*, 2022) faz uma escolha semelhante, trabalhando inicialmente a cinemática galileana, com o intuito de elaborar um organizador prévio para a Teoria da Relatividade. O referencial teórico é composto pela articulação de elementos da TAS de Ausubel e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, com a estratégia da Metodologia Ativa de instruções por colegas e o uso de papel milimetrado para representar movimentos e efeitos da relatividade. Os autores fazem um produto educativo, voltado para uma eletiva do Novo Ensino Médio, com ênfase na Cinemática Relativística, na forma de uma UEPS, considerando que a Física Moderna (FM) é evidenciada nas 10 competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Apresenta-se, no entanto, resultados parciais sobre os subsunçores dos estudantes, uma vez que a sequência estava em andamento na data da publicação.

1.2 PROBLEMÁTICA

Dado os trabalhos da Revisão da Literatura este trabalho se insere na lacuna teórica que atua nas seguintes problemáticas: do ensino na Educação Básica, da aprendizagem com significado, do uso de UEPS, do ensino de Teoria da Relatividade Especial (TRE) em paralelo à Cinemática Clássica, do uso pedagógico da plataforma Arduíno e de TDICs, e na promoção de uma aprendizagem crítica.

Destaca-se que o presente trabalho possui uma relevância prática no uso da experimentação com Arduíno para o ensino de TRE, o que, a princípio, é complicado, porque fazer uma medida experimental que detecte um efeito relativístico não é possível para o Arduíno, já que seria necessário altíssimo grau de precisão. Além disso, há uma relevância teórica na forma de como, diferente dos trabalhos da Revisão da Literatura, se articulam todos os elementos das diversas teorias que compõe os princípios da UEPS, sendo utilizados tanto para elaboração desta unidade de ensino como para analisar detalhadamente os resultados.

1.2.1 Problema

O problema que esta pesquisa se propõe a responder é o seguinte:

Ocorre aprendizagem com significado e crítica sobre o conceito de Movimento na Cinemática Clássica e na Cinemática Relativística através de uma UEPS que utiliza plataforma Arduino e TDICs?

1.3 OBJETIVOS

Para resolver o problema acima, parte-se da hipótese que é possível ter essa aprendizagem significativa crítica por meio de troca de significados no diálogo professor-aluno e em atividades colaborativas; e tem-se os seguintes objetivos:

1.3.1 Objetivo Geral

Identificar evidências de aprendizagem significativa e crítica com a implementação de uma UEPS para o Ensino Médio sobre o conceito de Movimento com o qual compare-se a Cinemática Clássica e a Cinemática Relativística utilizando plataforma Arduino e TDICs.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Construir um experimento com a plataforma Arduino sobre movimento que permita abordar a Cinemática Clássica e Cinemática Relativística;
- Elaborar situações-problema contextualizadas utilizando o experimento da plataforma Arduino, simulações, vídeos e vivências socioculturais dos estudantes;
- Elaborar uma UEPS sobre Cinemática Clássica e a Cinemática Relativística;
- Utilizar mapas conceituais como ferramentas para consolidação de conceitos sobre o movimento;
- Discutir os resultados obtidos articulando todos os teóricos que compõe os princípios da UEPS.
- Elaborar um produto educacional fundamentado na UEPS advindos dos resultados obtidos

1.4 MÉTODO

Elaborou-se a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de forma que se pretenda alcançar, no processo de ensino-aprendizagem, as seguintes etapas: Identificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o conceito de Movimento e organizá-lo; elaborar este conhecimento segundo a visão científica da Cinemática Clássica; aprofundar esse conhecimento segundo a visão científica da Cinemática Relativística; e por fim comparar as duas visões.

Em geral, as aulas se deram por meio de resolução de situações-problema, sendo grande parte delas propostas para discussão e resolução em grupo, através de compartilhamento de significados. Estas situações-problema foram contextualizadas por situações cotidianas dos estudantes, por vídeos e simulações utilizados em sala de aula, e pelo experimento com a plataforma Arduíno. Além disso, utilizou-se Mapas Conceituais para organizar os conhecimentos dos estudantes sobre o conceito de Movimento, com a finalidade de se aprofundar conceitos.

Foi feita uma abordagem conceitual sobre o movimento, e, devido ao elevado nível de abstração da Teoria da Relatividade, na parte da UEPS sobre Cinemática Relativística, optou-se por trabalhar apenas o efeito relativístico da contração do espaço, partindo do entendimento que, desta forma, ainda seria feita toda uma abordagem relativística com relação ao tema, sem torná-lo muito complexo. Pode-se considerar que esta escolha faz parte da Transposição Didática feita neste trabalho.

Apesar desta UEPS não ter utilizado uma abordagem histórica filosófica, foi subjacente ao seu planejamento a concepção epistemológica da compreensão do desenvolvimento da ciência como um processo não-contínuo (SILVA, C. 2006), segundo os filósofos da ciência Popper, Kuhn e, especialmente, Lakatos (CHALMERS, 1993).

Os resultados desta pesquisa foram abordados qualitativamente segundo o referencial teórico da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel articulada com elementos de outras teorias que compõe os princípios da UEPS, a saber; a Teoria de Educação de Novak, o Modelo de Gowin, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (MOREIRA, 2019). A relação da TAS de Ausubel com elementos das outras teorias foi feita por Moreira (2011) e interpretada nesta dissertação conforme o capítulo do Referencial Teórico.

1.5 RESUMO DOS CAPÍTULOS

O capítulo 2, *Referencial Teórico*, discute brevemente os marcos teóricos que envolvem as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), a saber; a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a Teoria de Educação de Novak, o Modelo de Gowin, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira. Além disso, aborda-se os aspectos sequenciais da UEPS, apontando a função dos elementos dos marcos teóricos. Dessa forma, fundamenta-se as definições e argumentos utilizados em capítulos seguintes.

O capítulo 3, *Movimento – da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade*, é sobre a Física envolvida no conceito de Movimento na transição da Cinemática Clássica para a Teoria da Relatividade Restrita, buscando articular aspectos técnicos com contextualizações históricas filosóficas da Física. O intuito é mostrar ao leitor as concepções físicas subjacentes à construção da UEPS deste trabalho.

No capítulo 4, *Procedimentos Didáticos Metodológicos e contexto*, mostra-se o contexto geográfico e escolar em que se implementou a UEPS, o seu procedimento detalhado, apontando as respectivas motivações pedagógicas. A intenção aqui é que o leitor compreenda a quase integralidade das escolhas feitas.

No capítulo 5, *Resultados e Discussões*, mostra-se os resultados dos questionários de sondagem, mapas conceituais, atividades em grupo e avaliações, discutindo-os à luz dos marcos teóricos da UEPS. O objetivo deste capítulo é interpretar os resultados encontrados segundo os conceitos discutidos no Referencial Teórico.

No capítulo 6, *Considerações Finais*, faz-se uma análise geral da dissertação, relaciona-se os objetivos com os resultados, avaliando, assim, a UEPS e sua implementação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo busca fundamentar teoricamente todos os princípios – os quais possuem autores variados – das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), dentro da perspectiva das teorias dos seus autores. No entanto, não se pretende aqui trazer toda a amplitude e complexidade dessas teorias, mas sim fundamentar uma ideia geral, dando foco às partes que fazem parte desses princípios. O intuito é trazer a luz o que guiou a elaboração dos procedimentos metodológicos e a discussão dos resultados da presente dissertação.

Nas seções que seguem são abordadas: a *teoria da aprendizagem significativa de Ausubel*, a qual foi a mais discorrida pelo entendimento de ser a mais relevante para a UEPS; a *teoria interacionista social de Vygotsky*; a *teoria da educação de Novak* e o *Modelo de Gowin*; a *teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird*; a *Teoria dos campos conceituais de Vergnaud*; a *Teoria da aprendizagem significativa crítica de Moreira*; e por fim, as *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas*.

1.1 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

David Ausubel (1918-2008) era professor da Universidade de Columbia, médico-psiquiatra de formação, e dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional na perspectiva cognitivista, desenvolvendo a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 2019, p. 159-160).

Ausubel caracteriza a aprendizagem significativa pela *interação* entre conhecimentos novos e prévios, de forma *não-litera*l e *não-arbitrária*; isto significa que a forma como uma pessoa aprende significativamente um conhecimento não é exatamente da forma que é preparada e ensinada pela docência, mas esta pessoa interage com este conhecimento de um modo particular definido por sua estrutura cognitiva própria (MOREIRA, 2012a, p. 2).

Segundo o teórico, o modo como uma aprendizagem significativa acontece é quando uma nova informação se apoia na estrutura de conhecimentos relevantes específica do indivíduo, a qual é definida como *subsunção* (MOREIRA, 2019, p. 161). Este tipo de aprendizagem absolve e retem informações, em nível de excelência, na mente humana, através do seu funcionamento altamente organizado e hierárquico:

Conhecimentos mais específicos são ancorados em conhecimentos mais abrangentes (CAVALCANTI e OSTERMANN, 2011, p. 34-35).

Ausubel (MOREIRA, 2019, p. 162) aponta o contraste com a aprendizagem mecânica – quando uma nova informação se apresenta desconectada do que o indivíduo conhece do mundo –, que por não se ancorar em conhecimentos prévios, sua presença na estrutura cognitiva é temporária. É importante esclarecer, no entanto, que nessa perspectiva, aprendizagem mecânica e a aprendizagem significativa formam um contínuo, podendo haver transição da primeira para a segunda. Além disso, ele defende que a aprendizagem receptiva não é excludente da aprendizagem significativa, uma vez que é possível que a primeira ocorra com grande envolvimento cognitivo do estudante, sem passividade.

Para o teórico, os subsunçores presentes numa estrutura cognitiva variam em grau de abrangência, podem ser um significado, um conceito, uma proposição ou verdadeiros construtos. Eles não são simplesmente conhecimentos estáticos que ancoram novos conhecimentos, pelo contrário, são dinâmicos: Ao interagir com um novo conhecimento, ele o incorpora, mudando a si próprio. Esse processo é chamado de *assimilação*. (MOREIRA, 2012a, p. 9-10).

No entanto, há uma ressalva sobre a retenção de conhecimento com a aprendizagem significativa:

Apesar de a retenção ser favorecida pelo processo de assimilação, o conhecimento assim adquirido está ainda sujeito à influência erosiva de uma tendência reducionista da organização cognitiva: é mais simples e econômico reter apenas as ideias, conceitos e proposições mais gerais e estáveis do que as novas ideias assimiladas. (MOREIRA, 2019, p. 166-167).

Mas mesmo com a tendência de sumir aspectos mais instáveis e recentes da estrutura cognitiva, neste processo que se chama *assimilação obliteradora*, o subsunçor não volta ao que era antes. Ele permanece modificado, mas apenas com características mais gerais comparado ao que ele já foi antes da interação (MOREIRA, 2019, p. 167).

2.1.1 Caminhos e estratégias para aprendizagem significativa

Ausubel aponta duas condições para ocorrer uma aprendizagem significativa:

Uma das condições [...], portanto, é que o material seja relacionável (ou incorporável) à estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira não arbitrária e não

literal. Um material com essa característica é dito *potencialmente significativo*. [...] A outra condição é que o aprendiz manifeste uma disposição para relacionar de maneira substantiva e não arbitrária o novo material, potencialmente significativo, à sua estrutura cognitiva. (MOREIRA, 2019, p. 163-164).

O material é dito *potencialmente* significativo porque nele não há significado por si só. O significado vem das pessoas que o identifica de forma única, de acordo com seus subsunçores, através desse material. Nesse sentido, a segunda condição para uma aprendizagem significativa é a mais importante, os estudantes precisam querer relacionar o novo conhecimento, de maneira não arbitrária, com seus conhecimentos prévios, e não ir para o caminho da aprendizagem mecânica, que estão acostumados (MOREIRA, 2012a, p. 8).

Ausubel argumenta que a longa experiência dos estudantes em fazer exames com “questões típicas” cujas respostas requerem uma aprendizagem mecânica, os acostumaram a decorarem conceitos e proposições, i.e., respostas literais e arbitrárias. Assim, a melhor forma de testar se houve aprendizagem significativa, i.e., procurar evidências, não é colocar uma questão aberta, solicitando que apresentem as características de um conceito (o que poderia fazê-los darem respostas decoradas), mas sim colocar um problema inédito para os estudantes, de forma que para sua resolução seja necessário a aplicação do conceito ou da proposição em questão (MOREIRA, 2019, p. 164).

Como estratégia de ensino, Ausubel recomenda o uso de *organizadores prévios* (MOHR. *et al.* 2012), que é um material introdutório aplicado antes do que se pretende ensinar.

[...] sua principal função é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que deveria saber a fim de que o novo conhecimento pudesse ser aprendido significativamente. Na prática, organizadores prévios funcionam melhor quando explicitam a relacionabilidade entre novos conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Muitas vezes, o aprendiz tem o conhecimento prévio, mas não percebe que está relacionado com aquele que lhe está sendo apresentado. (p. 54-55).

Portanto, organizadores prévios são ferramentas que visam manipular a estrutura cognitiva, de acordo com o propósito docente (MOREIRA, 2019, p. 163).

2.1.2 Tipos e formas de aprendizagem significativa

Ausubel distingue três *tipos* de aprendizagem significativa: a *representacional* é a mais básica, na qual se atribui significado a *símbolos* (palavras, imagens, *etc.*), os associando a representações (objetos específicos, eventos particulares, *etc.*); a *conceitual*, na qual um conjunto de símbolos se organizam para dar significado a um único conceito, de forma genérica e categórica; e a *proposicional*, na qual se atribui significado na *articulação* de um símbolo ou um conceito, como quando colocados numa proposição (sentença) (MOREIRA, 2019, p. 165).

O teórico aponta que esses três tipos podem, cada um deles, se dar de três *formas* de aprendizagem significativa: por *subordinação*, quando um conhecimento novo interage com um subsunçor mais amplo, é assimilado, se reorganizando de forma ao primeiro ficar hierarquicamente inferior ao último (como uma situação particular, um exemplo, *etc.*); por *superordenação*, quando um conhecimento novo interage com subsunçores mais restritos que ele (os quais não conseguem subordinar o primeiro), assimilando-os, se reorganizando de forma ao primeiro englobar os últimos; e por fim, de modo *combinatório*, quando um conhecimento novo interage com um subsunçor de igual abrangência (não subordina ou é subordinado), ancorando um ao outro, se reorganizando de forma a serem um único e novo subsunçor (MOREIRA, 2011, p. 3).

2.1.3 Diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação

No decorrer da aprendizagem significativa, alguns processos são fundamentais na dinâmica da estrutura cognitiva. Um deles é a *diferenciação progressiva*, a qual ocorre com uma ou mais aprendizagens significativas subordinadas (quando um subsunçor assimila um novo conhecimento) e sua consequência inevitável, o subsunçor original se modifica com a interação, tornando-se mais abrangente. Esse processo acontece quando se compreende uma nova situação, um novo exemplo, ou uma extensão dentro de uma ideia mais geral, apresenta anteriormente. Nesse sentido, para promover uma diferenciação progressiva, deve-se partir de ideias, conceitos e proposições mais abrangentes, e proporcionar novos detalhes e especificidades de um ou mais casos particulares, novas situações aplicadas, novas extensões *etc.* Ausubel parte do

pressuposto no qual é mais fácil para o indivíduo partir do geral para chegar ao particular, e não o contrário (MOREIRA, 2019, p. 168-169).

Outro processo é o da *reconciliação integrativa*, ou *reconciliação integradora*, a qual ocorre com a aprendizagem significativa superordenada ou combinatória, junto com a consequência sempre inevitável do subsunçor se transformar depois da interação, tornando todos um único novo subsunçor. Acontece quando o indivíduo aprende a relação entre ideias que até então eram distintas. Para promover a reconciliação integrativa, deve-se explorar a conexão entre ideias, apontar semelhanças e diferenças, e reconciliar discrepâncias aparentes. (MOREIRA, 2019, p. 168-169).

Ainda há outros dois processos, o da *organização sequencial*, o qual significa aproveitar de como os conteúdos são estruturados hierarquicamente nos currículos, pois “fica mais fácil para o aluno organizar seus subsunçores, hierarquicamente, se na matéria de ensino os tópicos estão sequenciados [...] de modo que certos tópicos dependam naturalmente daqueles que os antecedem” (MOREIRA, 2012a, p. 21). O último processo é o de *consolidação*, o qual aponta para a importância de consolidar os conhecimentos prévios antes de avançar para uma nova etapa, com maior complexidade, já que o conhecimento prévio é o fator mais importante para a aprendizagem significativa (MOREIRA, 2012a, p. 21).

2.1.4 Papel do professor

Segundo Moreira (2019, p. 170-171), o papel da docência na aprendizagem significativa está em pelo menos quatro tarefas: Identificar e organizar a estrutura curricular da disciplina e organizá-la hierarquicamente, do mais para o menos inclusivo; Identificar os subsunçores necessários aos estudantes para aprendizagem do conteúdo; Diagnosticar o conhecimento prévio dos estudantes, que estejam relacionados ao conteúdo que se pretende ensinar; Ensinar utilizando recursos e princípios que auxiliem o aluno a assimilar a estrutura do conteúdo, organizando a sua própria. A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino.

2.2 TEORIA INTERACIONISTA SOCIAL DE VYGOTSKY

Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934) nasceu em Belarus (antiga Bielorrússia), foi um erudito com formações diversas, especializou-se em literatura e psicologia, e chefiou o Instituto de Psicologia Experimental de Moscou (GASPAR, 2014, p. 83-85).

Apesar da sua morte precoce aos 37 anos, deixou uma grande obra, com a qual defendeu que o desenvolvimento cognitivo depende do contexto sociocultural em que o indivíduo vive. Ele entendia que o desenvolvimento da linguagem, do pensamento e comportamento voluntário (*processos mentais superiores*) é feito de fora, do contexto social, para dentro, num processo interno do indivíduo, entretanto não de forma direta (como no ensino tradicional), e sim, mediada por *instrumentos* e *signos* (MOREIRA, 2011, p. 7).

Para Vygotsky, mais do que uma variável, o desenvolvimento cognitivo é a *transformação/internalização* de interações sociais em pensamento e linguagem. Essa internalização é mediada, durante uma interação social, por *signos* – que são os significados de algo – e *instrumentos* – que são objetos com alguma função – da seguinte forma: Uma criança, ao interagir com seus tutores, atribui ao instrumento da cadeira de sua casa o signo de “cadeira”, o qual, por sua vez, possui significados diferentes para a criança e para os tutores, já que estes já atribuíram a esse signo (através da socialização) uma série de outras cadeiras (instrumentos), com características particulares diferentes, os quais a criança não teve contato. Para além da identificação do instrumento, pode se incluir ao signo de cadeira implicações e consequências do seu uso, assim como uma perspectiva abstrata sobre “cadeira”. E tudo isso depende de aspectos socioculturais, pois se esta família vivesse em outra cultura ou época, o significado do signo “cadeira” também seria diferente (MOREIRA, 2019, p.108-111).

Para o teórico (MOREIRA, 2019), a interação social é o caminho para internalização do externo para o interno, produzindo aprendizagem. Ela pode ser feita por, no mínimo, dois indivíduos, de modo que aconteça dentro do que ele chama de *Zona de Desenvolvimento Proximal* (ZDP), que é definida como:

a distância entre o nível de desenvolvimento cognitivo real do indivíduo, tal como medido por sua capacidade de resolver problemas independentemente, e o seu nível de desenvolvimento potencial, tal como medido por meio da solução de problemas sob orientação ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOTSKY, 1988, p. 97 *apud* MOREIRA, 2019, p. 114).

Na perspectiva de aprendizagem, ele chega à conclusão de que a cooperação potencializa a capacidade de resoluções de problemas, quando comparadas àquelas feitas individualmente (GASPAR, 2014, p. 140).

Moreira (2011) relaciona alguns conceitos da teoria interacionista de Vygotsky com conceitos da teoria da aprendizagem significativa Ausubel. Os autores fazem paralelo da internalização de instrumentos e signos com a construção de significados através de materiais potencialmente significativos. Apontam que a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa não acontecem de imediato, mas sim através de uma troca de significados. A mesma negociação de significados pede a aprendizagem por recepção, defendida por Ausubel, que não acontece instantaneamente em ambas as teorias (MOREIRA, 2011, p. 9).

1.2 A TEORIA DA EDUCAÇÃO DE NOVAK E O MODELO DE GOWIN

Joseph Donald Novak, Professor da Universidade de Cornell, nos Estados Unidos, foi coautor de um dos livros de David P. Ausubel e, desde que ele aposentou, Novak é o principal nome que deu continuidade ao seu trabalho sobre aprendizagem significativa. Já Dixie Bob Gowin é também Professor (Emérito) da Universidade de Cornell, famoso pelo desenvolvimento do “Diagrama de V”, cuja teoria educacional que foi explorada, neste trabalho, apenas o que Moreira chama de Modelo de Gowin (Moreira, 2019).

2.2.1 Teoria da Educação de Novak

Para Novak, uma teoria da educação tem que considerar que os seres humanos não fazem apenas processos cognitivos: além de pensar, também sentem e agem. Para ilustrar esta diversidade de fatores, Moreira (2011, p. 13) resume a Teoria da Educação de Novak em uma frase: “A aprendizagem significativa subjaz à integração construtiva entre pensamento, sentimento e ação que conduz ao engrandecimento (“*empowerment*”) humano”.

Para melhor entendimento dessa frase, é importante entender que o teórico aponta que qualquer evento educativo envolve cinco elementos: *aprendiz*, que representa aprendizagem; *professor*, que representa o ensino; *conhecimento*, o currículo escolar; *contexto*, o meio social no qual este processo ocorre; e *avaliação*, pois ela afeta como será este processo. Aliás, ele defende que, além do estudante, o ensino, o currículo e o

contexto também devem ser avaliados. Neste panorama sobre os constituintes do evento educativo, ele diz que todos os eventos são uma ação tanto para troca de significados entre professor e aluno, como também afetos, afinal toda aprendizagem significativa é indissociável de emoções (MOREIRA, 2019, p. 176-177).

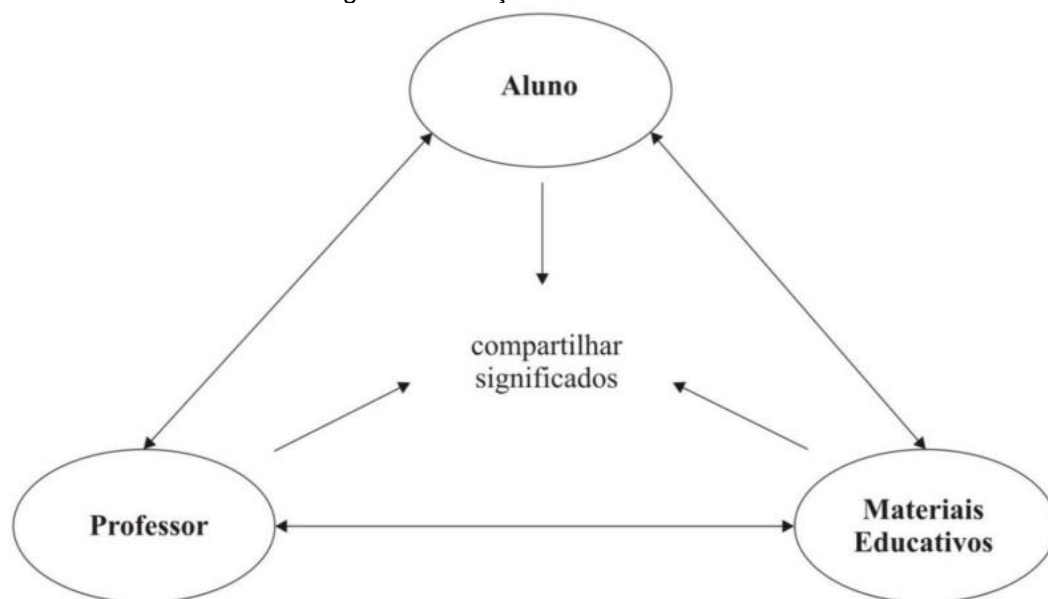
Para Novak, o conhecimento humano é construído através de aprendizagens significativas. Mas esta não significa que seja uma aprendizagem correta do ponto de vista do contexto do conteúdo curricular ou científico. Afinal, aprendizagem significativa é aquela com significado, e este por sua vez, não existe apenas no contexto do currículo escolar, mas também em todos os demais contextos da vida do estudante, por onde ele também aprende significativamente (MOREIRA, 2019, p. 178). Daí vem o conceito de *concepções alternativas*, as quais constituem estruturas conceituais bem elaboradas, com conteúdo não científico e com grande poder explicativo da realidade do aluno. E por isso mesmo são muito difíceis de serem mudadas (na mesma medida que aprendizagens significativas no contexto da disciplina são eficazes), e pior, resistem aos conceitos que conflitam com elas no processo de ensino-aprendizagem (PIETROCOLA, 2001, p. 53-54).

Assim como Ausubel, Novak afirma que para ocorrer aprendizagem significativa é preciso predisposição do estudante para aprender, mas ele vai além: esta predisposição está profundamente ligada a experiência afetiva do discente no evento educativo. Ela pode, por exemplo, ser positiva, se o discente sente que está compreendendo, ou negativa, se achar que não está. Ele ainda salienta que uma vez que se tem uma experiência afetiva positiva durante uma aprendizagem significativa, se cria um ciclo virtuoso, no qual o estudante ficará predisposto para o próximo evento educativo. E o teórico completa: para além de predisposição, é preciso também materiais potencialmente significativos e que estudante considere o conhecimento relevante para si (MOREIRA, 2019, p. 178-180).

2.2.2 O modelo de Gowin

Gowin vê uma relação triádica entre professor, material educativo e aluno, cujo objetivo do episódio de ensino-aprendizagem é compartilhar significados. A Figura 1 representa um modelo de Gowin, representando relação triádica de Gowin.

Figura 1– Relação triádica de Gowin



Fonte: Moreira (1993) *apud* Moreira (2019)

Dentro dessas relações, o professor busca modificar os significados das concepções alternativas do aluno para de acordo com significado do material curricular. Caso o aluno apresente disposição, ele busca o significado do material. Esta relação pode ser mais bem detalhada da seguinte forma: O professor apresenta os significados científicos presentes no material curricular, então o aluno, se disposto a se relacionar, devolve o que ele compreendeu. Mas se o professor avaliar que não houve sucesso, deve tentar de outro modo, até que o significado científico seja compartilhado por ambos. Nessa *negociação de significados*, o papel do professor é verificar se o significado foi captado e o do aluno é verificar se o que ele compreendeu é o que o professor pretendia. Só então, depois da compreensão clara do significado, o aluno escolhe se vai aprender significativamente ou não (MOREIRA, 2011, p. 16).

Segundo Moreira, essa relação triádica pode ainda ser quadrática, “na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, ou seja, na medida em que for também mediador da aprendizagem” (MOHR, *et al.*, 2018, p. 47).

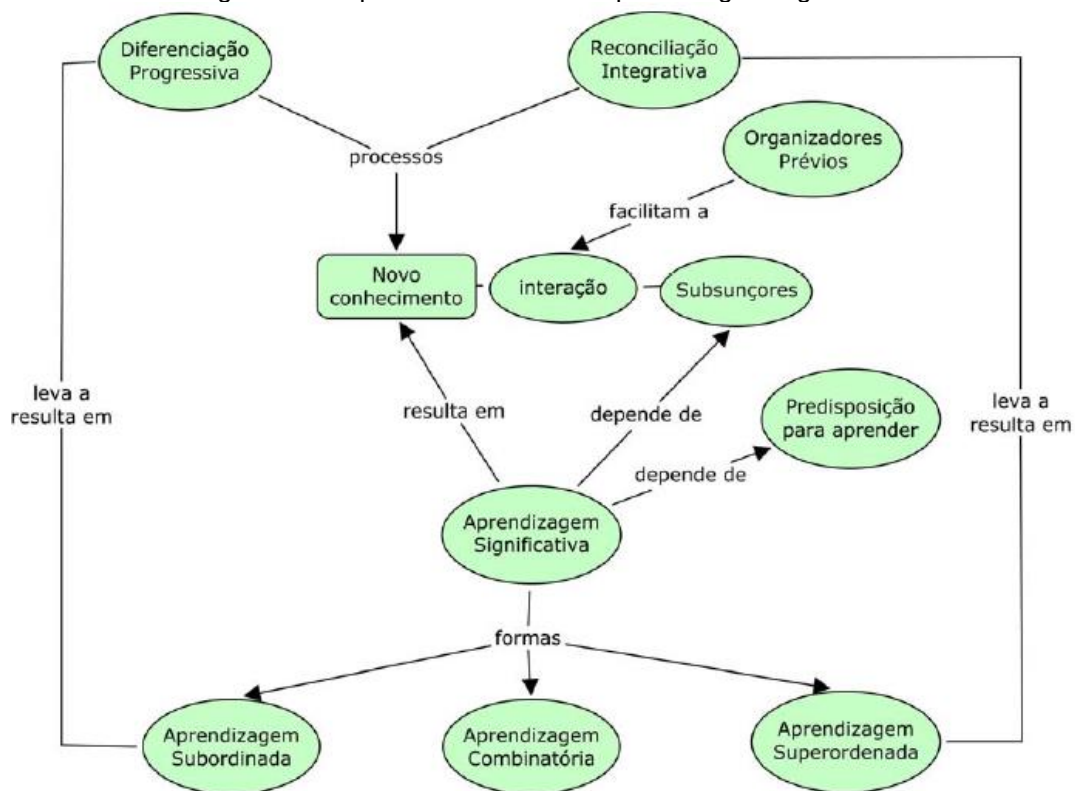
2.2.3 Mapa conceitual

Mapas conceituais são uma técnica desenvolvida na década de setenta por Novak e seus colaboradores da Universidade de Cornell e foi construída como uma estratégia

com potencial de facilitar a aprendizagem significativa de Ausubel. Os mapas são diagramas de conceitos com conectivos que mostram as relações significativas entre eles. Eles são subjetivos e não existe um “mapa certo” (MOREIRA, 2012b).

Os conceitos são destacados por figuras geométricas (sendo que a forma delas não significa nada obrigatoriamente), ligados por uma linha que contém com poucas palavras-chave para explicar o porquê da relação. A sequência conceito-ligação-conceito forma uma proposição. Eventualmente as linhas podem ser setas para indicar um direcionamento, mas não é necessário e, se for feito apenas com setas, desconfigura o mapa conceitual (seria um diagrama de fluxo). Um exemplo de mapa conceitual sobre aprendizagem significativa está representado na Figura 2 (MOREIRA, 2012b).

Figura 2 – Mapa conceitual sobre Aprendizagem significativa



Fonte: Moreira e Buchweitz (1993) *apud* Moreira (2012b)

“Mapas conceituais também não devem ser confundidos com mapas mentais que são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente” (MOREIRA, 2012b, p. 1). Moreira (2012b) aponta que não é relevante pensar em início, meio e fim, pois o mapa conceitual é estrutural e, não, sequencial. Eles podem ser organizados de forma

hierárquica, com um conceito mais geral no topo do mapa e conceitos mais particulares na parte inferior, representando uma hierarquia conceitual. Pode ser também outras configurações, desde que fique demonstrado quais são os conceitos mais importantes no contexto em questão.

Mapas conceituais podem ser usados para várias funções, como uma técnica didática, recurso de aprendizagem, meio de avaliação *etc.* Eles podem ser desenvolvidos a partir de uma única aula até um curso inteiro. Mas em sala de aula, é preferível que o estudante tenha alguma familiaridade com o tema antes de começar a fazer. Eles representam uma boa ferramenta para externalização do conhecimento prévio e para organização do conhecimento. Além disso, como o mapa conceitual é subjetivo, é mais fácil avaliá-lo a partir da explicação do aluno sobre o mapa que construiu (MOREIRA, 2012b).

2.3 A TEORIA DOS MODELOS MENTAIS DE JOHNSON-LAIRD

Nos anos noventa, a psicologia cognitiva foi cada vez mais solicitada para compreensão da aprendizagem através de *representações mentais*. Como as pessoas não captam o mundo externo diretamente, essas representações mentais são formas de, como o nome já diz, representar internamente o exterior (MOREIRA, 2011, p. 19).

Philip Nicholas Johnson-Laird é um filósofo da linguagem e raciocínio. Ele defende que existem três tipos de construtos representacionais. O primeiro tipo são as *proposições*, as quais são uma espécie de linguagem da mente e, apesar de traduzível verbalmente, é abstrata e indeterminada, podendo ter vários significados. Por exemplo, a representação mental com a descrição verbal “o homem na cadeira” pode significar que o homem está sentado, em pé, ou até deitado em cima da cadeira; não é determinado o significado. Já o tipo de construto dos *modelos mentais*, são determinados e concretos, representam com mais clareza os aspectos do mundo externo. A descrição verbal “o homem na cadeira” num modelo mental especificará, por exemplo, que o homem está especificamente sentado, ou seja, uma situação mais análoga à como o mundo externo pode se apresentar. Uma proposição pode ser verdadeira ou falsa a depender do modelo usado. Mas esse grau de especificidade não chega a esclarecer que tipo de cadeira é essa ou como é esse homem. Para esse nível de concretude, apenas o construto representacional de *imagens* pode fazer, o qual é entendido como uma visão ou perspectiva de um modelo mental (MOREIRA, 2019, p. 193-195).

Dentro do cognitivismo, Johnson-Laird utiliza essas definições (existem outras) de proposições e imagens, e introduz um inédito construto representacional, o modelo mental. Considerando que a proposição é uma linguagem da mente, o “mentalês”, incompreensível, o modelo mental é, para ele, uma forma de compreender a cognição humana – a passagem do “micro para o macro”, onde é possível se fazer distinções lógicas. Ao mesmo tempo, o modelo mental se relaciona com a imagem, sendo esta uma vista particular do primeiro (MOREIRA, 2019, p. 189-196). Dessa forma, “os modelos mentais são representações básicas para a compreensão do mundo, pois as proposições são interpretadas à luz dos modelos e as imagens são projeções particulares dos modelos” (MOREIRA, 2019, p. 203).

Para o teórico, as pessoas pensam através de modelos mentais: buscando captar a essência de objetos ou situações, os modelos os representam mentalmente em alguma medida. Diferente dos *modelos conceituais*, os quais são bem estruturados e precisos, formulados cientificamente, os modelos mentais possuem falhas e limitações, mas devem ser funcionais. É possível, no entanto, testá-lo. E verificando uma não funcionalidade, a pessoa pode modificá-lo o quanto for necessário até que esteja satisfeita com sua funcionalidade – esse processo pode ser entendido como uma aprendizagem (MOREIRA, 2011, p. 11).

Moreira (2011) faz relação com a aprendizagem significativa, a qual acontece quando o indivíduo constrói um modelo mental a partir de um novo conhecimento. Mas não qualquer modelo, porque eles geralmente são modelos de trabalho, i.e., apesar de feitos de forma análoga à estrutura de alguma situação, logo depois são descartados (perdem a função), instáveis, ficam armazenados na memória de trabalho (por um curto período); o modelo mental associado com aprendizagem significativa são funcionais para várias situações, e por isso, estáveis, armazenados na memória de longo prazo. Esse modelo é construído quando se tem que lidar com uma situação e consegue associá-lo a outros modelos pré-existentes, os quais possuem uma função que é acionada com alguma frequência – estes são os subsunçores. E assim como na aprendizagem significativa, o estudante precisa estar disposto a criar um modelo mental para resolver o problema, caso contrário, não terá capacidade de explicação sobre ele – típico da aprendizagem mecânica (p. 11-12).

2.4 TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

Gérard Vergnaud, diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica da França, é um neopiagetiano e desenvolveu a Teoria dos Campos Conceituais (TCC). Apesar de partir de concepções de Piaget, ele conta ainda com influência de Vygotsky no que tange ao papel do professor, as interações sociais e as representações simbólicas dos conceitos que os estudantes desenvolvem. O foco da TCC são os conceitos, de forma que é a conceitualização que provoca o desenvolvimento cognitivo. O teórico busca trazer as complexidades na aprendizagem em sala de aula, utilizando, de forma entrelaçada, os conceitos-chave de *campo conceitual*, *esquema* (herança de Piaget), *situação* (central para a TCC e para a UEPS), *invariante operatório*, *conceito* e uma série de outros conceitos-secundários (MOREIRA, 2019, p. 205-207).

Segundo Vergnaud, o conhecimento está localizado em campos conceituais, o qual é definido como “um conjunto de problemas e situações cujo tratamento requer conceitos, procedimentos e representações de tipos diferentes, mas intimamente relacionados” (VERGNAUD, 1983b, p. 127 *apud* MOREIRA, 2019, p. 208). Ele aponta que para dominá-lo é preciso muitos anos, com a experiência e a aprendizagem. Grandes áreas do conhecimento como a Cinemática Clássica e a Cinemática Relativística são exemplos de campos conceituais (MOREIRA, 2019, p. 207).

O teórico diz que o conceito de conceito é definido por três conjuntos: o conjunto de *situações*, os quais são os contextos e aplicações que tornam o conceito significativo; o conjunto de *invariantes operatórios*, os quais são proposições sobre o real consideradas verdadeiras e categorias de pensamento relevantes que representam o conteúdo do conceito; e o conjunto das *representações simbólicas*, das quais fazem parte a linguagem natural, gráficos, equações, *etc.*, que representam os invariantes operatórios e são utilizados para lidar com as situações. Ele afirma que analisar o uso ou a elaboração de um conceito, no contexto da aprendizagem, só pode ser feito utilizando esses três conjuntos de forma simultânea e indissociada (MOREIRA, 2019, p. 209-210).

Como já dito, as situações que tornam os conceitos significantes, que dão *sentido* a eles. Mas não são nelas ou nas representações simbólicas que está o sentido. Ele está nas *relações* do sujeito com ambas. Estas relações são *esquemas*, os quais são o conjunto de ações que balizam um sujeito em alguma situação; com eles, o indivíduo faz previsões, metas, inferências, buscas, conclusões, de forma implícita ou explícita. No entanto, para Vergnaud, só é possível falar em esquemas falando também de situações,

a ponto de ele trocar a interação *sujeito-objeto*, de Piaget, por *esquema-situação*. Podem existir vários esquemas diferentes para um sujeito ou uma turma resolver certa situação, mas se não forem eficazes, eles são levados a trocar de esquema ou elaborar um novo (MOREIRA, 2019, p. 211-214).

Vergnaud centraliza sua teoria em torno das situações que o aluno lida com seus esquemas mentais (interação *esquema-situação*). Segundo a TCC, o *desenvolvimento cognitivo* ocorre quando um sujeito desenvolve um novo esquema, aumentando seu repertório, para lidar com certa classe de situações, quando os esquemas que o indivíduo possui não são suficientes para lidar com essa nova situação (MOREIRA, 2019, p. 212-213).

A influência de Vygotsky na TCC está principalmente no papel do professor, caracterizado por uma postura organizadora do ensino e mediadora, provendo situações que sejam frutíferas para os alunos, de tal forma que eles tenham potencial de aumentarem seus repertórios desenvolvendo novos esquemas, i.e., através de situações em nível crescente de complexidade (MOREIRA, 2019, p. 220-221).

2.5 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA CRÍTICA DE MOREIRA

Marco Antônio Moreira é Professor Emérito do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul⁵, colaborador da aprendizagem significativa de Ausubel e Novak e autor da Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica. Na medida em que o livro *Teaching as a subversive activity* (Ensino como uma atividade subversiva), de Postman e Weingartner (1969)⁶, aborda o ensino, Moreira classifica sua teoria como complemento desta obra, que aborda a aprendizagem: “O ensino subversivo de Postman e Weingartner somente será subversivo se resultar em aprendizagem significativa crítica” (MOREIRA, 2019, p. 227).

Sobre a abordagem que ele faz, Moreira (2019) comenta que se analisa apenas o ensino e a aprendizagem, não tratando sobre os outros três elementos do evento educativo (o currículo, o contexto e a avaliação), pois seu foco foi a aprendizagem significativa e crítica, a qual é inseparável do ensino (subversivo de Postman e

⁵ MARCO Antônio Moreira é Professor Emérito da UFRGS. *UFRGS*, 2014. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/marco-antonio-moreira-e-professor-emerito-da-ufrgs>. Acesso em: 05 jan. 2022.

⁶ POSTMAN, Neil; WEINGARTNER, Charles. *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co., 1969. 219 p.

Weingartner), mas pontua: não se deve ignorar os efeitos desses três elementos no processo (p. 241).

Em 1969, há quarenta anos, numa época da energia nuclear e das viagens espaciais, Postman e Weingartner apontavam que apesar do dever de formar estudantes preparados para uma sociedade tecnológica e de mudanças rápidas, para lidar com conceitos como relatividade, probabilidade, incerteza, causalidade múltipla, graus de diferença, incongruência; a escola trabalhava conceitos fora de foco, maniqueístas e imutáveis, tais como: a verdade absoluta, fixa e imutável; que existe apenas uma resposta certa; de entidades isoladas que não são influenciadas por fatores externos; que cada efeito só tem uma causa; o diferente é sempre diametralmente oposto, como certo-errado; e o conhecimento é transmitido por uma autoridade superior e deve ser aceito sem questionamento. Atualmente, com desafios na sociedade que parecem maiores que aqueles, Moreira aponta que apesar da escola ter incorporado alguma tecnologia, na prática ainda defende os mesmos conceitos fora de foco e agrega mais outros, tais como: informação como algo necessário e bom; associando tecnologia sempre como algo positivo; consumir muito, mesmo que desnecessariamente, desde que garanta os direitos de consumidor; a globalização da economia como algo necessário e inevitável, sendo bom para todos; e o mercado consegue lidar com tudo com qualidade, como por exemplo a educação como mercadoria (MOREIRA, 2019, p. 223-225).

Para lidar com esse descompasso entre como a sociedade funciona e o que é discutido na escola na prática, Moreira propõe uma aprendizagem significativa subversiva, i.e., com uma postura crítica para lidar com a sociedade contemporânea. Para facilitar esta aprendizagem, ele propõe nove princípios: *da interação social e do questionamento*, no qual a negociação de significados deve envolver troca de questionamentos e há aprendizagem significativa crítica quando o sujeito faz perguntas relevantes e substantivas sistematicamente; *da não centralidade do livro didático e da não utilização do quadro de giz*, os quais versam sobre a carga simbólica de “autoridade inquestionável” que há nesses recursos, mas que, acima de tudo, traga-se caminhos novos, diversificados e menos verticais no processo de ensino-aprendizagem; *do aprendiz como perceptor/representador*, no qual aponta-se que há postura ativa do aluno em aprendizagem receptiva, se além de receber, ele perceber o conhecimento em sua perspectiva e representá-lo de forma particular; *do conhecimento como linguagem*, no qual é preciso que o sujeito entenda estas novas linguagens (da mecânica, da eletricidade, da matemática, etc.) como novas maneiras de perceber o mundo; *da consciência*

semântica, no qual é preciso ter consciência, durante a negociação de significados, que os significados estão na interpretação única que cada um faz (professor e aluno) e, não, nos livros; *da desaprendizagem*, no qual é preciso avaliar quando um conhecimento prévio está sendo realmente útil para compreender a nova aprendizagem (caso contrário, faz-se um “esquecimento” seletivo); e por fim, o *princípio da incerteza do conhecimento*, no qual é a percepção de que o conhecimento é incerto, pois a forma como é construído depende das perguntas feitas, as definições são válidas apenas em um certo contexto, e que todo conhecimento científico construído sobre o mundo utiliza metáforas (suposições, considerações, simplificações, etc.) (MOREIRA, 2019, p. 227-239).

Moreira (2019) relembra que os aspectos mais importantes para uma aprendizagem significativa é o conhecimento prévio, mas isso não basta: é preciso uma aprendizagem significativa crítica para formar pessoas com foco na sociedade contemporânea, que a compreendam e consigam analisá-la. “Aprendizagem significativa crítica é aquela perspectiva que permite ao sujeito fazer parte de sua cultura e, ao mesmo tempo, estar fora dela” (p. 226).

2.6 UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS – UEPS

A UEPS, elaborada Moreira, é uma sequência que busca estruturar um processo de ensino que resulte em uma aprendizagem significativa e crítica, cujos princípios, os quais foram fundamentados nas seções anteriores, são:

- O conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- Pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- É o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- Organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- São as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- Situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
- Em frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
- A diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);

- A avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- O papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin);
- A interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- Um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- Essa relação poderá ser quadrática, na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo, ou seja, na medida em que for também mediador da aprendizagem;
- A aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- A aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento), ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira). (MOHR. et al. 2012, p. 46-47).

A UEPS tem como coluna vertebral a Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel. A partir dela, elementos de outras teorias se encaixam para complementá-la. Para demonstrar esta articulação, estas teorias serão expressas nos próximos parágrafos de maneira reduzida mencionando apenas elementos envolvidos na UEPS, relacionados por Moreira (2011). Os próprios nomes das teorias serão trocados pelos nomes de seus autores, para simplificar. Assim, a forma como estas teorias se articula, em resumo, é como segue:

Ausubel afirma que ocorre aprendizagem significativa quando um conhecimento novo se ancora em um conhecimento prévio de um estudante. Mas isto não acontece de forma direta, passiva, mas sim, mediada. Aí vem Vygotsky, que explica **como se** faz essa mediação: a troca de significados de forma socializada. Depois, vem Gowin, explicando **como** é esta troca de significados: compartilhando dentro da relação triádica professor-aluno-material educativo. Em suma: A troca de significados da aprendizagem significativa acontece na relação triádica.

Johnson-Laird enriquece estas relações mostrando que, como os significados são diversos na sua essência e amplitude, é preciso compreendê-los como diferentes constructos, ou seja, ele mostra **como significados são representados** na mente: através de modelos mentais, que interpreta o mundo externo do abstrato ao concreto. Em suma: Uma aprendizagem significativa é quando um novo modelo mental se associa/ancora a um modelo mental pré-existente (o conhecimento prévio).

Vergnaud vai dizer **o que é essencial para o estudante aprender**: novas situações-problema. O modelo mental de um significado só se expande com novas

situações-problema. Quando o estudante descobre novos procedimentos (*esquemas*) para lidar com novas situações, ele aprende. Mas essa aprendizagem só será significativa se os seus modelos mentais se associarem a outros, ficando cada vez mais amplo. Para dominar com profundidade um *campo conceitual*, é preciso muito tempo.

Novak, seguidor de Ausubel, **amplia os elementos** que envolvem neste evento educativo: além de professor, aluno e conhecimento, também estão envolvidos o contexto e a avaliação. E mais: para o aluno querer associar os modelos mentais é preciso que se tenha **experiências afetivas positivas**.

Moreira, seguidor de Novak e Ausubel, contribui **direcionando** todo esse aparato teórico de aprendizagem significativa para os temas e habilidades mais relevantes na sociedade atual. Assim, uma aprendizagem significativa é relevante quando forma um cidadão crítico.

Seguindo os princípios mencionados, Moreira (MOHR. *et al.* 2012) propõe os seguintes passos para construção da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa:

1. Definir o tópico específico a ser abordado;
2. Propor situações que induza o estudante a externalizar seu conhecimento prévio;
3. Propor situações-problema, considerando o conhecimento prévio do estudante, em nível bem simples para que o estudante se prepare para introdução do conhecimento a ser trabalhado. É importante que o estudante perceba estas situações como problemas em sobre os quais são capazes de construir modelos mentais;
4. Apresentar o conhecimento a ser trabalhado, levando em conta a diferenciação progressiva;
5. Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo da unidade de ensino, com uma nova apresentação em nível mais alto de complexidade em relação à primeira, de tal forma a promover a reconciliação integradora; em seguida, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os/as alunos/as a interagir socialmente, negociando significados, tendo o/a professor/a como mediador/a;
6. Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém, buscando a reconciliação integrativa; seguida da proposta de novas situações-problema em níveis mais altos de complexidade em relação às anteriores, por meio de atividades colaborativas, as quais devem ser apresentadas e/ou discutidas em grande grupo com a mediação do/da docente;
7. Avaliação somativa com situações-problema, cujo resultado deve ser analisado dando igual importância a avaliação formativa durante toda a UEPS;

8. A UEPS será bem-sucedida se a avaliação do desempenho dos estudantes conter evidências de aprendizagem significativa, tais como a captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema.

A UEPS pretende assim, através de sua estrutura, baseada nos seus princípios, superar a aprendizagem mecânica, com valores educacionais voltados para a sociedade do século XXI.

2 MOVIMENTO – DA MECÂNICA CLÁSSICA À TEORIA DA RELATIVIDADE

Este capítulo discute o conceito de movimento na transição da Cinemática Clássica para a Teoria da Relatividade Restrita e busca articular aspectos destas duas teorias com devidas contextualizações históricas filosóficas da Física.

2.7 ASCENSÃO DA MECÂNICA CLÁSSICA

O que é preciso para que uma cadeira esteja em movimento? A intuição, baseada na observação imediata, nos diz que haverá velocidade em um corpo enquanto houver força agindo sobre ele. Esta conclusão foi a mesma construída por Aristóteles (384-322 a.C.). Mas o raciocínio científico descoberto por Galileu Galilei (1564-1642) aponta que a intuição pode nos levar a conclusões equivocadas sobre como funciona a natureza do movimento, contaminadas por influências externas (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 15-16).

Fatores externos, dentre os quais o mais notório é o atrito, distorcem a compreensão sobre a natureza do movimento, partindo de percepções imediatas. A experiência cotidiana nos leva a concluir que, por exemplo, uma cadeira só se movimentará enquanto houver certa força sendo aplicada nela para isso. E sendo assim, só haveria velocidade se houver certa força. No entanto, uma experiência, não empírica, mas de pensamento feita por Galileu o fez concluir o quase oposto: só deixa de haver velocidade se houver certa força. Esse experimento consistia em imaginar o comportamento de um corpo ao se movimentar com cada vez menos atrito, e então ele concluiu, por indução, que sem atrito, os corpos se movem sem parar indefinidamente. Este princípio foi formulado posteriormente por Isaac Newton (1642-1727) como a *lei da inércia* (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 16-17). “Contrariamente ao mito popular, Galileu parece ter realizado poucas experiências em mecânica. Muitas das “experiências” a que ele se refere ao articular sua teoria são experiências de pensamento” (CHALMERS, 1993, p. 110).

2.7.1 Galileu e Newton

Em seu livro, *As duas ciências*, Galileu fez sua maior contribuição à ciência, construindo fundamentos para a mecânica newtoniana substituir a aristotélica. (CHALMERS, 1993, p. 104).

A força não está ligada a velocidade, mas sim a alteração da velocidade. Esta conclusão de Galileu é a base da Mecânica Clássica formulada por Newton (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 18).

Isaac Newton se apoiou nas obras de Galileu, entre outros, construindo uma física ampla e mais formalizada, publicada em seus *Principia* em 1687. Em suas obras, destaca-se: uma concepção clara da força como causadora da aceleração; substituição da lei da inércia circular de Galileu pela *lei da inércia linear*, a *lei da gravidade*, unificando os domínios celestes e terrestres através de uma só interpretação, junto com as leis do movimento de Newton (CHALMERS, 1993, p. 105-106).

Massa e Força são elementos essenciais da Mecânica Clássica. O entendimento de que é possível compreender todos os fenômenos e reduzi-los a estes dois elementos foi, por 200 anos depois de Galileu, a compreensão filosófica que caracterizou o desenvolvimento da ciência. O *conceito mecânico* de fato trouxe grandes avanços, como um impressionante desenvolvimento da Astronomia e o desenvolvimento da Teoria Cinética da Matéria, que explica o Calor através de choque entre moléculas (massa) (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 52-56).

Em mecânica, a trajetória de um corpo em movimento pode ser predita, e seu passado revelado, caso sejam conhecidas sua condição atual e as forças que agem sobre ele. Assim, por exemplo, as trajetórias futuras de todos os planetas podem ser previstas. As forças ativas são as forças gravitacionais de Newton, que dependem somente da distância. Os grandes resultados da mecânica clássica sugerem que o conceito mecânico pode ser consistentemente aplicado a todos os ramos da física, que todos os fenômenos podem ser aplicados pela ação das forças que representam a atração ou a repulsão, dependendo somente da distância e atuando entre partículas imutáveis. (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 61-62).

2.8 A MECÂNICA CLÁSSICA

Na sua obra “Os princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, publicada em 1697, Newton introduziu o conceito de *tempo absoluto* e *espaço absoluto*, que flui uniformemente para todos sem sofrer influência de fatores externos (NUSSENZVEIG, 2013, p. 38; p. 371). É com estes perspectiva que Newton desenvolve sua teoria.

2.8.1 A Lei da Inércia e o Referencial Inercial

A primeira lei de Newton, a lei da inércia (que na verdade foi desenvolvida por René Descartes⁷), é enunciada da seguinte forma: “Todo corpo persiste em seu estado de repouso, ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja compelido a modificar esse estado pela ação de forças impressas sobre ele” (NUSSENZVEIG, 2013, p. 93).

Dois pontos devem ser discutidos ao se enunciar esta lei. O primeiro é sobre quais são as forças a que se refere. Não são apenas forças de contato, também são forças de arrasto, gravitacional, elétrica *etc.*, as quais expandem o campo de atuação desta lei para além de interrupções de movimento através de barreiras materiais. Trata-se de uma lei que aponta qual é a essência da natureza do movimento: retilíneo uniforme. Movimentos de estrelas, em relação aos quais a força gravitacional é desprezível, ilustra esse movimento em essência. O segundo ponto é sobre o movimento que se refere nesse enunciado. Todo movimento é relativo a um referencial, de forma que a depender deste último, ele pode ser classificado como uniforme, acelerado ou em repouso. Então a partir de qual referencial se analisa a validade da primeira lei? A partir do referencial que não é afetado por forças: o *referencial inercial* (NUSSENZVEIG, 2013, p. 93-94).

Como a lei da inércia classifica da mesma forma o movimento retilíneo uniforme e o repouso, um referencial, em qualquer destes estados, relativo a um referencial inercial, também será um referencial inercial. Assim, a partir de um, é possível ter uma infinidade de referenciais inerciais (NUSSENZVEIG, 2013, p. 94).

Em suma, um referencial é um sistema com instrumentos de medida. E é dito que um referencial é inercial quando a partir dele é observado um corpo que, não estando submetido a nenhuma força externa, ele fica em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MARTINS, R. 2012, p. 1-2).

2.8.2 A 2ª Lei de Newton

A primeira lei de Newton implica que qualquer variação de velocidade de um corpo, medida a partir de um referencial inercial, é resultado de alguma força agindo para tal.

⁷ Descartes forjou intelectualmente o princípio da inércia, considerando-a como uma de suas três leis da natureza: “Primeira lei da natureza: cada coisa permanece no seu estado se nada o alterar; assim, aquilo que uma vez foi posto em movimento continuará sempre a se mover; a segunda lei da natureza: todo corpo que se move tende a continuar o seu movimento em linha reta” (DESCARTES, 1997, p. 76-77).

Esta variação de velocidade é definida como a aceleração, a qual é expressa matematicamente através da taxa de variação infinitesimal da velocidade em relação ao tempo $\frac{dv}{dt} = a$, e corresponde a resposta de uma força aplicada, de tal forma que, a depender das propriedades desse corpo, esta resposta pode ser maior ou menor. O grau de resistência que determinado corpo apresenta em alterar o seu movimento é chamado de *inércia*. Ou de outra forma, a *inércia* é a tendência de um corpo manter seu movimento retilíneo uniforme ou em repouso. Para medir esta resposta, define-se o *coeficiente de inércia* m , de forma que, ao se aplicar uma força F sobre uma partícula, a aceleração a produzida será inversamente proporcional a m , como mostra a expressão:

$$a = \frac{F}{m}$$

Este coeficiente de inércia associado a partícula é chamado de *massa inercial* (NUSSENZVEIG, 2013, p. 94-96).

A partir desta relação, a segunda Lei de Newton, também chamada de *princípio fundamental da Dinâmica*, é enunciada como “A variação do momento é proporcional à força impressa, e tem a direção da força”. Partindo da definição matemática de *momento linear*, $p = mv$, a versão quantitativa da segunda lei de Newton é:

$$F = \frac{dp}{dt}$$

A qual também é comumente apresentada outra forma, considerando que a massa m não seja alterada durante a análise – e, portanto, sendo uma constante –, ficando:

$$F = m \frac{dv}{dt} = ma$$

A segunda Lei de Newton é, mais do que uma definição de força particular F_n , uma “lei geral” que pretende compreender na sua formulação quaisquer leis de forças possíveis, como a elétrica, a magnética *etc.* Inclusive quando a força atuante não seja apenas uma, mas o somatório de forças de diferentes naturezas que eventualmente estejam simultaneamente afetando determinado corpo. Neste caso, F é definido como a força resultante da soma vetorial de todas as demais forças que estão agindo sobre uma partícula, ou seja,

$$F = \sum_i F_i$$

Este resultado é conhecido como o *princípio de superposição de forças* (NUSSENZVEIG, 2013, p. 96-98).

2.8.3 A 3ª Lei de Newton

A terceira lei de Newton, conhecida como o *princípio da ação e reação*, é enunciada da seguinte forma “A toda ação corresponde uma reação igual e contrária, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas em sentidos opostos”. Para além do que já está claro no enunciado, ressalta-se que a força de “ação” e a força de “reação” são aplicadas em corpos diferentes (NUSSENZVEIG, 2013, p. 104).

2.8.4 A Lei da Gravitação Universal de Newton

A *lei de Newton da gravitação universal*, representa a interação gravitacional causada pelas *massas gravitacionais* m_1 e m_2 , separados por um deslocamento relativo, $r_{12} = |r_2 - r_1|$, onde G é uma constante de proporcionalidade chamada *constante gravitacional*, cuja equação é:

$$F_{2(1)} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} = -F_{1(2)} , \quad G = 6.67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$$

O sinal negativo antes do G é devido ao caráter atrativo desta lei. $F_{2(1)}$ é a força que o corpo 1 exerce no corpo 2, e $F_{1(2)}$, vice-versa, com o destaque para o sinal negativo, que indica, justamente, o efeito da 3ª Lei de Newton (NUSSENZVEIG, 2013, p. 110-111).

2.8.5 A Lei de Coulomb

Outra lei de força desenvolvida posteriormente que obedece ao Princípio Fundamental da Dinâmica é *lei de Coulomb*, a lei de forças elétricas entre partículas carregadas, que só teve sua configuração matemática feita em 1785, pelo cientista cujo nome está na lei. A interação elétrica acontece entre duas partículas de cargas elétricas q_1 e q_2 , separadas por um deslocamento relativo, $r_{12} = |r_2 - r_1|$, onde k_0 é a *constante eletrostática no vácuo*, cuja equação é:

$$F_{2(1)} = -k_0 \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} = -F_{1(2)} , \quad k_0 = 9 \times 10^9 N \cdot m^2 / C^2$$

A semelhança com lei da gravitação universal chama atenção, mas diferente das massas gravitacionais, as cargas aqui podem ser positivas ou negativas, sendo que a força é atrativa quando as cargas são diferentes, e repulsivas quando iguais (NUSSENZVEIG, 2013, p. 111-112).

2.8.6 As transformações de Galileu

Quando se muda de um referencial, a partir do qual está se observando o movimento de uma partícula, para outro em movimento relativo ao primeiro, as características do movimento da partícula são alteradas. Uma *transformação* dirá o quanto será alterado. Então, por exemplo, seja o referencial inercial S e outro referencial S' , com velocidade constante V em relação ao primeiro, na direção do eixo x , que, portanto, também é um referencial inercial. Na Cinemática Clássica, a medida desta mudança de referencial é dada pela *transformação de Galileu*, que nesse caso é uma translação espacial por uma distância Vt , no instante t , dada por:

$$x' = x - Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Note que as alterações só se deram na componente x , na direção em que ocorre o movimento relativo de S' . E, portanto, se o movimento fosse na direção do eixo y , o resultado seria análogo. Além disso, as medidas de tempo permaneceram as mesmas (NUSSENZVEIG, 2013, p. 347-348).

Derivando estas equações em relação ao tempo, obtemos a transformação da velocidade, quando se muda de S para S' :

$$v'_x = v_x - V$$

$$v'_y = v_y$$

$$v'_z = v_z$$

O resultado da componente x corresponde a *velocidade relativa*, ou seja, esta é resultado direto das *transformações de Galileu* e da concepção da Física Clássica sobre movimento. Em seguida, fazendo a derivada segunda, obtemos a transformação da aceleração da partícula, quando se muda de S para S' :

$$a'_x = a_x$$

$$a'_y = a_y$$

$$a'_z = a_z$$

O que significa que, quando se muda de um referencial inercial para outro, utilizando a transformação de Galileu, embora haja mudança da velocidade na direção do movimento,

não há mudança na aceleração sentida em cada referencial (NUSSENZVEIG, 2013, p. 348-349).

Na Mecânica Clássica, independente do referencial inercial a partir do qual se observa um acontecimento, o tempo será o mesmo. No entanto, a velocidade e as coordenadas mudam, de acordo com as leis de transformação (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 140).

2.8.7 Princípio da Relatividade de Galileu

Uma consequência importante da *transformação de Galileu* é sobre a lei fundamental da dinâmica, a 2ª lei de Newton, quando se muda de S para S' . Para entender isso, é preciso abordar dois pontos: Uma hipótese tácita à Mecânica Clássica, que Einstein destacou, é que a *massa inercial* não muda nesta mudança de referencial inercial:

$$m' = m$$

O outro ponto é que, para a Mecânica Clássica, as forças de interação dependem basicamente das distâncias mútuas (variações) entre partículas (como na força gravitacional e as forças de contato), ou seja, apesar da mudança nas posições de S para S' , a *variação da posição* é a mesma, quando se muda o referencial inercial:

$$r'_{12} = |r'_2 - r'_1| = |r_2 - r_1| = r_{12}$$

Estes pontos somados com o resultado da inalteração da aceleração, $a' = a$, leva a conclusão de que as forças de interação também não se alteram,

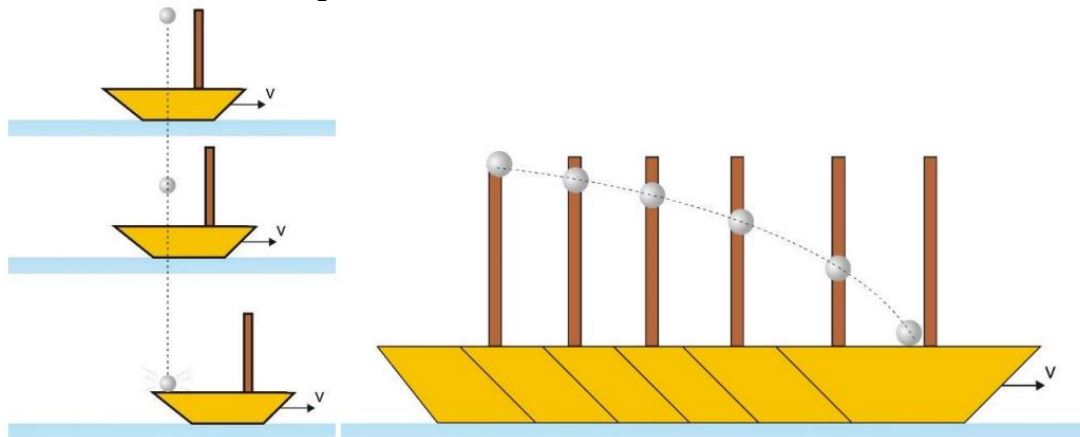
$$F' = F$$

Portanto, as forças que agem no referencial inercial S , representadas pela 2ª lei de Newton com $F = ma$, não se alteram em S' , sendo $F' = m'a'$. Sendo esta lei o princípio fundamental da dinâmica (vale para toda Mecânica Clássica), concluímos que as leis da Mecânica Newtoniana são as mesmas em qualquer referencial inercial, o que corresponde ao *princípio de relatividade de Galileu*. De outra forma, é a impossibilidade de se identificar se um objeto está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme em relação a um sistema inercial, uma vez que as forças são as mesmas em qualquer referencial desse tipo (NUSSENZVEIG, 2013, p. 349-350).

Galileu ilustra o *princípio da relatividade* com a situação de um barco em movimento retilíneo uniforme, no qual solta-se uma pedra do alto do mastro, e compara-se o referencial de dentro do barco S , no qual ele está em repouso, com o externo ao barco S' , no qual ele está em movimento relativo, conforme ilustrado na Figura 3. Galileu

argumenta que, com a mesma condição inicial da pedra solta em repouso, do referencial inercial⁸ interno S , a trajetória da pedra é retilínea e vertical, enquanto do referencial externo S' , é uma parábola. O motivo das trajetórias serem diferentes é reflexo da diferença de condições iniciais de S para S' , uma vez que, neste último, há uma velocidade horizontal da pedra, enquanto no primeiro, não. Ou seja, a forma da trajetória não é uma lei física. Mas a força atuante é a mesma tanto em S como em S' , $F = mg$ – onde g é a aceleração gravitacional. Apesar da diferença da descrição da trajetória e da velocidade entre os referenciais inerciais, as forças atuantes neles são as mesmas, não sendo possível distinguir um do outro, pois não é possível sentir efeito de nada diferente (NUSSENZVEIG, 2013, p.350-352).

Figura 3 - Pedra caindo do mastro do navio



Fonte: E. Silva *et al.* ([2019])⁹

2.8.8 Dominação da Mecânica Clássica

O conceito mecânico foi utilizado como base para interpretar os fenômenos elétricos e magnéticos: Forças que apontam na mesma direção da linha entre os dois corpos, com intensidade inversamente proporcional à distância. Apesar de ter criado conceitos artificiais como o de *fluxo elétrico* e *fluxo magnético* – substâncias sem peso e, portanto, estranhamente distantes do conceito da substância fundamental para a Mecânica, a massa –, a primeira grande dificuldade da Mecânica veio com o experimento

⁸ Apesar do referencial da Terra não ser inercial, devido ao seu movimento de translação e rotação, neste parâmetro de análise, considerar a Terra inercial é uma boa aproximação.

⁹ SILVA, E. da S.; *et al.* *Posição de queda da esfera de acordo com o pensamento aristotélico à esquerda e galileano à direita*. VI Congresso Nacional de Educação: [2019]. 1 ilustração.

de Oersted, no qual indica uma relação entre corrente elétrica e força magnética não de forma retilínea, mas perpendicular (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 76-80).

A Mecânica foi bem-sucedida ao interpretar fenômenos *ópticos*, como a trajetória da luz, a refração e a dispersão, através da compreensão de Newton da natureza da luz ser de uma partícula (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 84-88). De forma que, até o fim do século XVIII, a grande maioria dos físicos acreditavam na natureza *corpúscular da luz* (MARTINS, R. 2012, p. 12).

A Mecânica também interpretou as *ondas*, desenvolvendo a *teoria ondulatória* – cujo objeto é o que hoje se chama de *ondas mecânicas*. As ondas são reduzidas a movimentos articulados de partículas em um meio (de acordo com a Teoria Cinética da Matéria) que *transporta energia* através dele (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 90-92).

2.9 REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

O termo *revolução* começou a ser utilizado como uma mudança substancial do conhecimento científico durante o século XVIII, como por exemplo foram, na Matemática, a invenção do cálculo infinitesimal por Newton e Leibniz (de forma independente) e, na Física, as obras *Principia* também de Newton (PEDUZZI, 2006, p. 59-60).

Para que haja uma revolução, ao menos duas coisas devem acontecer: A novidade de um conhecimento ou de uma proposta, com grandes perspectivas de desenvolvimento; e a tomada da narrativa como uma teoria vigente – controle da imprensa científica, do sistema educacional e dos acentos de poder (PEDUZZI, 2006, p. 62-63).

A consolidação da obra de Newton *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, em um ambiente dominado pelos cartesianos, ilustra isso. Além da própria crítica que Newton faz à teoria dos vórtices, base da cosmologia cartesiana, articula-se todo um conjunto de ações com claro objetivo de ‘facilitar’ a aceitação dessa nova estrutura conceitual pela comunidade científica. Entre outras, pode-se citar:

- a dedicação, por Newton, da primeira edição dos *Principia* à Royal Society e seu patrono, rei James II;
- a divulgação da nova ciência em aulas populares;
- as críticas dirigidas principalmente às obras cartesianas;
- a redação de livros de acordo com os preceitos do novo espírito científico;
- a substituição paulatina nas principais universidades de professores escolásticos e cartesianos por newtonianos ortodoxos (por influência do próprio Newton);
- a eleição de Newton como presidente da Royal Society. (PEDUZZI, 2006, p.63).

Existem duas visões gerais sobre como se desenvolve a ciência: a *cumulativa* e a *descontínua*. A primeira defende que toda contribuição científica constitui um passo em direção ao desenvolvimento contínuo da ciência, de tal forma que, quando se analisa com cuidado o desenvolvimento deste novo conhecimento, este passo na verdade é composto por muitos pequenos passos de vários atores diferentes. Já a segunda visão compreende o desenvolvimento científico de forma descontínua, i.e., apesar de reconhecer que existam momentos de continuidade da ciência, também há momentos de rupturas, de mudança de paradigma (PEDUZZI, 2006, p.64-65).

2.9.1 A defesa da ciência como algo contínuo

Os filósofos aristotélicos buscavam compreender o mundo, sua essência e seus fenômenos, sem a experimentação – ao menos sem a importância que esta tem na ciência moderna –, pois a menosprezavam como método de investigação do universo. A experimentação se tornou imprescindível na ciência com Francis Bacon (1561-1626) e sua defesa ao *método experimental indutivo*. Bacon foi um dos primeiros na busca de entender o que é o método científico utilizado por Galileu e Newton que resultou em tanto progresso no conhecimento. Em sua obra *Novum Organum*, defendeu a busca do conhecimento analisando dados experimentais de forma neutra, e unindo a razão e a experiência para construir uma teoria científica, através de uma sequência de procedimentos seguros que permitiriam descobrir a realidade dos fenômenos naturais. No século XX, o *positivismo lógico* originado de Auguste Comte (1798-1857) tornou-se popular e impulsionou o *método empírico indutivo* de Bacon com um empirismo extremo, no qual uma teoria só possui significado até onde elas podem ser derivadas de comprovações experimentais – uma aversão à metafísica (CHALMERS, 1993, p. 17 e 22-23; RAICIK e PEDUZZI, 2016, p. 1-4; VIDEIRA, 2006, p. 30-34).

No entanto, as concepções baconianas não foram objeto de reflexões epistemológicas por muito tempo, até – de forma mais relevante – a partir da década de 1980 com as críticas às concepções do positivismo lógico e ao método indutivo experimental feitas por Popper, Kuhn, Lakatos, entre outros (RAICIK e PEDUZZI, 2016, p. 2 e 6). Um dos pontos críticos contra estas concepções é que não existem análise neutra de dados experimentais, sempre se parte de alguma concepção teórica anterior que contextualiza a ação experimental, e por isto mesmo, direciona a análise do cientista de acordo com esta teoria (CHALMERS, 1993). Outro ponto crítico, é que o método

científico não é um caminho contínuo até a verdade sobre a natureza, tanto porque não é um caminho contínuo como porque não se tem como identificar o que é a verdade da natureza, a realidade física (SILVA, C. 2006, p. 23-24).

2.9.2 A defesa da ciência como algo descontínuo

O *falsificacionismo* desenvolvido por Karl Popper (1902-1994) reconhece que a observação é orientada pela teoria e a impossibilidade de comprovar a “verdade científica”. Dessa forma, compreende as teorias como conjecturas especulativas que devem ser testadas por observação e experimentos, e, se houver uma refutação experimental, a teoria deve ser substituída – não havendo continuidade. Até que se prove o contrário, as teorias vigentes podem ser consideradas as melhores disponíveis, não verdadeiras (CHALMERS, 1993).

A explicação falsificacionista desse Progresso [da física desde Aristóteles, passando por Newton, até Einstein] é mais ou menos a seguinte. A física aristotélica foi até certo ponto bastante bem-sucedida. Ela podia explicar uma ampla gama de fenômenos. Podia explicar [, por exemplo,] por que objetos pesados caem no chão (procurando seu lugar natural no centro do universo). Mas, eventualmente, a física aristotélica foi falsificada de várias maneiras. Pedras jogadas do alto de um mastro de um barco movendo-se uniformemente caíram no convés ao pé do mastro e não a certa distância deste como previra a teoria de Aristóteles. [...] Uma legião de outras falsificações foi acumulada durante o século XVII. A física de Newton, contudo, uma vez que tinha sido criada e desenvolvida por meio das conjecturas de homens como Galileu e Newton, era uma teoria superior que ultrapassou a de Aristóteles. A teoria de Newton podia explicar a queda dos objetos, [...] e qualquer outra coisa que a teoria de Aristóteles pudesse explicar [...]. De acréscimo, a teoria de Newton podia explicar fenômenos que não haviam sido tocados pela teoria de Aristóteles [...] [e, por exemplo,] levou [...] à descoberta de um novo planeta: Netuno. Mas a despeito de seu sucesso, tentativas de falsificá-la eventualmente tiveram sucesso. [...] Os físicos enfrentavam então problemas desafiadores, na passagem do século XX, problemas que clamavam por novas hipóteses especulativas projetadas para superá-los de uma forma progressiva. Einstein foi capaz de aceitar esse desafio. Sua teoria da relatividade foi capaz de explicar fenômenos que falsificaram a teoria de Newton, enquanto ao mesmo tempo podia igualar a teoria de Newton nas áreas onde esta tinha sido bem-sucedida. Além disso, a teoria de Einstein produziu a previsão de novos fenômenos espetaculares. [...] A falsificação da teoria de Einstein permanece um desafio para os físicos modernos. Seu eventual sucesso assinalaria um novo passo na direção do progresso da física. (CHALMERS, 1993, p. 74-76)

Publicado em 1962, o livro de Thomas S. Kuhn (1922-1996) “A estrutura das revoluções científicas” é um marco para a História e Filosofia da Ciência, no qual defende a evolução da ciência como um processo com discontinuidades organizado numa estrutura. Ele defende que a ciência se desenvolve com um período de *ciência normal*,

através do seu *paradigma* (um campo de estudos definido, o que inclui definições, leis, conceitos, modelos, valores, teorias instrumentais *etc.*), até acontecer um período de *crise* que pode levar a uma *revolução* (descontinuidade), que por sua vez, estabelece um novo paradigma (SILVA, C. 2006, p. 65).

[...] as leis do movimento de Newton formam parte do paradigma newtoniano, e as questões de Maxwell formam parte do paradigma que constitui a teoria eletromagnética clássica. Os paradigmas devem também incluir maneiras padrão de aplicação das leis fundamentais a uma variedade de tipos de situação. Por exemplo, o paradigma newtoniano deverá incluir métodos para aplicar as leis de Newton aos movimentos planetários, aos pêndulos, às colisões de bolas de bilhar e assim por diante. A instrumentação e as técnicas instrumentais necessárias para fazer com que as leis do paradigma se apliquem ao mundo real estarão também incluídas no paradigma. (CHAMELRS, 1993, p. 124-125).

Outra teoria é a *Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica* de Imre Lakatos (1922-1974), publicada em 1974, que se propõe a melhorar o *falsificacionismo popperiano*, compreendendo a ciência como uma estrutura, na qual se desenvolve através de *programas de pesquisa*, como, por exemplo, Newton forneceu um programa de pesquisa para os físicos do século XVIII e XIX. Neste programa de pesquisa há um *núcleo* irreduzível, rígido, composto por hipóteses básicas que não devem ser rejeitadas ou questionadas. O núcleo duro da mecânica newtoniana é composto pelas leis de movimento de Newton e a sua lei de atração gravitacional. Ao redor deste núcleo há um *cinturão protetor* de hipóteses auxiliares, condições iniciais *etc.* que podem ser rejeitadas ou modificadas, caso alguma evidência experimental contrarie a Teoria. Um relato histórico que ilustra esta concepção foi quando, depois da descoberta observacional do planeta Urano, no século XIX, se calculou sua órbita segundo a teoria gravitacional de Newton, no entanto, a observação não concordou com as previsões dos cálculos. Este fato não fez questionar a teoria gravitacional de Newton, o *núcleo* da teoria, mas, sim, modificou-se as condições iniciais do seu *cinturão protetor*. propôs-se a existência de um outro planeta mais externo que estaria perturbando a órbita de Urano (CHALMERS, 1993, p. 81 e 111-117).

Quando estabelecidos, esses programas de pesquisa são classificados como *progressivos* se são bem-sucedidos em relação a novas descobertas, e *degenerescentes* se não são. Em 1846, comprovação de que o planeta Netuno estava perturbando a órbita de Urano é um exemplo de quando a Mecânica de Newton estava em fase progressiva (CHALMERS, 1993, p. 111-113 e 116).

2.10 O DECLÍNIO DA MECÂNICA CLÁSSICA

Em contraposição à teoria corpuscular da luz de Newton, Christiaan Huygens (1629-1695) desenvolveu a teoria ondulatória da luz, que rivalizou para explicação dos fenômenos ópticos. Ambas conseguiam explicar fenômenos como difração e propagação da luz, tornando-se uma “disputa” difícil. Para explicar como aconteceria o movimento da onda de luz sem um meio, no vácuo, Huygens acrescentou o conceito de um meio luminífero, o *éter*. E só muito tempo depois, em meados do século XIX, com experimentos que mostraram o aparecimento de franjas de luz e sombra, a qual a Teoria Corpuscular de Newton não conseguiu explicar, a história deu razão a Teoria Ondulatória da Luz (EINSTEIN e INFELD, 2008, p.94-100).

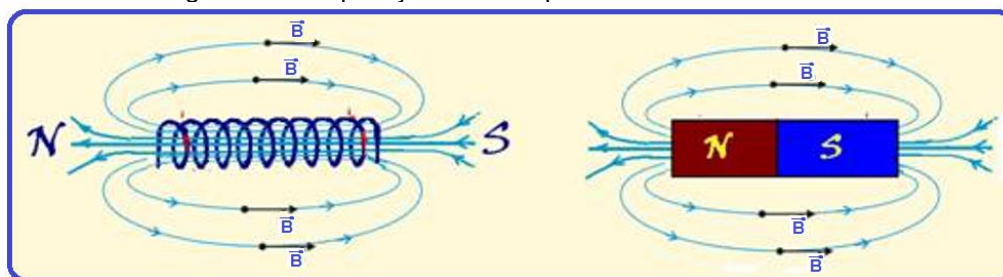
Sobre este momento, Albert Einstein (1879-1955) diz que:

Na tentativa de compreender os fenômenos da natureza do ponto de vista mecânico, foi necessário, através de todo o desenvolvimento da ciência, até o século XX, introduzir substâncias artificiais como os fluidos elétrico e magnético, os corpúsculos de luz, ou o éter. O resultado foi a concentração de todas as dificuldades em uns poucos pontos essenciais tais como o éter, no caso dos fenômenos óticos. Aqui, todas as tentativas infrutíferas de construir um éter de algum modo simples, bem como as outras objeções, parecem indicar que a falha está na suposição fundamental de que seja possível explicar todos os acontecimentos da natureza de um ponto de vista mecânico. (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 105).

2.10.1 Conceito de Campo

Para Newton, a força entre dois corpos depende apenas da distância. Não depende do tempo, uma vez que uma força atingiria um corpo com velocidade infinita. Neste sentido, o uso do conceito de *campo* como representação de fenômenos, pode parecer desnecessário. No entanto, sua utilidade é facilmente percebida quando as interações magnéticas possíveis de um solenoide com corrente elétrica são idênticas as de uma determinada barra magnética (Figura 4) – dois objetos com estruturas de natureza bem diferentes (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 111 e 114-115).

Figura 4 - Comparação dos campos de um ímã e solenoide



Fonte: Campo ([s.d.])¹⁰

As experiências de Oersted e de Faraday formam os pilares experimentais da teoria dos campos elétrico e magnético, elaborada por Maxwell. A do primeiro, mostra que a variação de um campo elétrico gera um campo magnético; a do segundo, que a variação de um campo magnético gera um campo (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 122).

Começando como um modelo útil, o campo tornou-se cada vez mais real. Ajudou-nos a compreender velhos fatos e nos conduziu a outros novos. A atribuição da energia ao campo é mais um passo no desenvolvimento, e os conceitos de substância, tão essenciais ao de vista mecânico, foram cada vez mais suprimidos. (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 123).

2.10.2 Teoria Eletromagnética de Maxwell

James Clerk Maxwell (1831-1879) desenvolveu sua teoria eletromagnética considerando a análise dos fenômenos a partir de um particular referencial em repouso em relação ao éter, embora reconhecesse que alguns fenômenos só fossem explicados por movimentos relativos, como no caso do experimento da indução eletromagnética de Faraday – a aproximação ou afastamento do ímã relativa ao solenoide. As equações de Maxwell foram escritas, da forma atual, por Oliver Heaviside (1850-1925) (MARTINS, R. 2012, p. 23-27). Segue sua formulação, onde D é o Campo de Indução Elétrica (também chamado de Deslocamento Elétrico); ρ é a Densidade de Carga Elétrica; B , o Campo de Indução Magnética; H , o Campo Magnético; E , o Campo Elétrico; J , o vetor Densidade de Corrente Elétrica (MACHADO, 2013, p. 799):

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (\text{Lei de Gauss da eletricidade})$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (\text{Lei de Gauss do Magnetismo})$$

¹⁰ CAMPO magnético gerado por uma espira circular ou por um solenoide. [sem título]. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/eletricidade/eletromagnetismo/campo-magnetico-gerado-por-uma-espira-circular-ou-por-um-solenoide/>. Acesso em: 17 fev. 2023.

$$\nabla \wedge E = -\frac{\partial}{\partial t} B \quad (\text{Lei de indução de Faraday-Lenz})$$

$$\nabla \wedge H = J + \frac{\partial}{\partial t} D \quad (\text{Lei de Ampère})$$

As equações de Maxwell são a descrição matemática dos campos elétricos e magnéticos, tendo sido a formulação mais importante da Física desde Newton. Maxwell vai além dos aparatos experimentais de Oersted e Faraday, e idealiza o comportamento do campo sem eles: A variação de um campo elétrico, independente de uma corrente elétrica, gera um campo magnético; e a variação de um campo magnético, independente de um ímã, gera um campo elétrico. Ou seja, ele é um ente real, não apenas uma forma de representar (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 123-125).

Enquanto na Cinemática Clássica pode-se prever o comportamento de uma partícula em toda trajetória, desde que se conheça as forças atuantes, a posição e a velocidade em um único instante; com a Teoria de Campo pode-se prever o comportamento do campo em todo espaço e em qualquer tempo, conhecendo-o em um único instante (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 126).

Quando [...] o conceito [de campo elétrico] foi introduzido, por Faraday, na quarta década do século XIX, ele era muito vago, e era articulado com a ajuda de analogias mecânicas e um uso metafórico de termos como “tensão”, “poder” e “força”. O conceito de campo tornou-se cada vez mais bem definido quando foram ficando melhor especificadas as relações entre o campo elétrico e as outras quantidades eletromagnéticas. Quando Maxwell introduziu sua corrente de deslocamento, foi possível dar uma grande coerência à teoria sob a forma das equações de Maxwell, que estabeleceram claramente o inter-relacionamento entre todas as quantidades do campo eletromagnético. Foi a essa altura que o sentido de “campo elétrico” na teoria eletromagnética clássica alcançou alto grau de clareza e precisão. (CHALMERS, 1993, p. 110-111).

O conceito de campo começou a ocupar o lugar da substância. Se antes, na Mecânica explicava-se os fenômenos através das partículas, agora, um novo horizonte de possibilidades se abriu, com a explicação através dos campos (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 130).

2.10.3 A velocidade da luz

A partir das equações de Maxwell, pode-se fazer uma dedução matemática sobre o comportamento do campo de uma carga oscilante: resulta-se em uma *onda eletromagnética* que irradia energia desta carga. Um resultado importante deduzido sobre esta onda diz respeito a sua velocidade: é igual à velocidade da luz. Estas previsões

teóricas foram posteriormente provadas experimentalmente por Heinrich Hertz (1857-1894) (EINSTEIN e INFELD, 2008, p.127-129).

Admitir que a luz é uma onda eletromagnética não evidenciou nenhuma contradição. Ao contrário, abriu perspectivas de estudo na Física, integrando os conceitos do Eletromagnetismo e da Óptica (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 129).

2.10.4 Onda Eletromagnética

As ondas mecânicas se movem através de um meio, como por exemplo o som que se move através do ar. Neste caso, o som se move em todas as direções com igual velocidade, a menos que exista algum tipo de alteração no meio, como ventos. A velocidade desse tipo de onda, assim como todo objeto na Cinemática Clássica, é medida a partir de um sistema de coordenadas – um referencial. Um que esteja acompanhando o meio, medirá a mesma velocidade em todas as direções, mesmo que haja vento, pois este referencial se moverá com ele. Um referencial que esteja em movimento uniforme em relação a outro, medirá velocidades diferentes – ou melhor, verá uma frente de onda mais rápida e a frente oposta mais devagar (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 140-142).

Sendo a luz uma onda eletromagnética, o meio pelo qual ela andaria deveria ser o éter. Assim, destaca-se a possibilidade de considerar o éter como um referencial privilegiado, o que retiraria a validade do *princípio da relatividade de Galileu*, no qual é impossível distinguir leis físicas em referenciais inerciais que estejam em movimento uniforme relativo entre si (EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 142-149).

2.10.5 Éter

Thomas Young (1773-1829) e Augustin Jean Fresnel (1788-1827) são os principais responsáveis pela mudança da concepção corpuscular (de Newton) para a ondulatória (de Huygens) da natureza da luz. O éter proporcionava uma explicação qualitativa sobre o movimento da luz no vácuo. Fresnel foi o autor de uma das teorias mais relevantes sobre o éter, no início do século XIX, na qual (simplificadamente) este transpassa a todas as coisas. Ela explicava a não detecção do movimento relativo ao éter quantitativamente com uma aproximação de primeira ordem de v/c . Esta teoria previa resultados como a refração, a qual foi confirmada experimentalmente por Armand-Hippolyte-Louis Fizeau (1819-1896), em meados do século XIX. Mas havia dificuldade em comprovar o

movimento da Terra em relação ao éter sem aproximação. Preocupado com isso, Maxwell projetou um experimento para tal comprovação, o qual foi desenvolvido por Albert Abraham Michelson (1852-1931), em 1881. No entanto, o resultado não foi conclusivo, pois o interferômetro utilizado não tinha boa precisão o suficiente para o objetivo. Então, em 1887, Edward W. Morley (1838-1923), se juntou a Michelson e melhorou o experimento com ele, tendo uma precisão dez vezes melhor, com precisão de 2ª ordem em v/c . Mas para frustração dos cientistas, não se detectou o movimento da Terra relativo ao éter. Em suma, existia dois experimentos, um refutando a teoria de Fresnel (de Michelson-Morley) e outro corroborando (de Fizeau). Buscando dar fim a esse impasse, alguns anos depois do experimento de Michelson-Morley, George Francis FitzGerald (1851-1901) e Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) propunham, independentemente, uma possível solução: seria possível manter a teoria de Fresnel supondo que há uma contração do braço do interferômetro ao se movimentar em relação ao éter (MARTINS, R. 2012, p. 12-27).

2.11 ASCENSÃO DA RELATIVIDADE

Em 1893, Joseph Larmor (1858-1942) publicou um trabalho no qual ele argumentava que a aparente impossibilidade do movimento da Terra ser medido em relação ao éter podia significar que as equações de Maxwell são válidas para outros referenciais também. Sendo assim, seria importante utilizar equações de transformação que modifiquem as coordenadas do referencial do éter para outros referenciais. O próprio Larmor tentou construir estas equações, mas eram incorretas (MARTINS, R. 2012, p. 27).

Henri Poincaré (1854-1912) publicou um artigo, em 1895, em que deixa claro um princípio que nortearia todos os trabalhos de então: É impossível medir o movimento da matéria em relação ao éter (movimento absoluto). Só é possível medir o movimento de uma matéria em relação a outra (movimento relativo). Além disso, ele criticou as soluções teóricas desenvolvidas, em nível de aproximações, que buscavam justificar a não detecção do movimento da matéria relativa ao éter. O cientista defende que, ao invés de aproximações, seria preciso soluções exatas (MARTINS, R. 2012, p. 28-29).

Antes a Mecânica Clássica avançava sobre todas as áreas da Física e agora ela colocada de lado, com o desenvolvimento científico indo na direção da Teoria do Campo e da Teoria Ondulatória da Luz. Ainda assim, o *princípio da relatividade de Galileu* se manteve firme.

Poincaré e Lorentz fizeram uma espécie de parceria, na qual, através das suas publicações, um contribuiu com o trabalho do outro, com críticas e extensões. Assim, Lorentz assumiu que as equações de Maxwell deveriam ser válidas também para referenciais em movimento em relação ao éter, caso contrário, seria possível utilizar estas equações para encontrar o movimento da Terra em relação a ele. Para isso, Lorentz partiu da equação que ele mesmo desenvolveu sobre a força que uma carga em movimento sofre num campo magnético (a Força de Lorentz¹¹):

$$F = q(E + v \wedge B)$$

Fazendo inicialmente as *transformações de Galileu* – uma vez que as considerava “as verdadeiras transformações de coordenadas” –, Lorentz conseguiu uma aproximação de primeira ordem em relação a $\frac{v}{c}$, em 1895, das (posteriormente batizadas por Poincaré como) *transformações de Lorentz*, as quais foram finalizadas por Larmor, em 1900, as colocando numa forma exata; e, depois, em 1904, Lorentz conseguiu utilizar estas transformações nas grandezas eletromagnéticas (que dão sentido ao seu uso):

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Assim como nas Transformações de Galileu, nessas foram consideradas apenas um movimento na direção x , de forma que se o movimento fosse na direção y , por exemplo, o resultado seria análogo. Para Lorentz, o chamado “tempo local” t não tinha sentido físico real, assim como essas transformações só são válidas dentro do Eletromagnetismo. Com essas equações, no entanto, ele provou que objetos devem sofrer contrações de comprimento, devido a consequências das equações de Maxwell, quando se movimentavam em relação ao éter. Esta contração seria devida as forças eletromagnéticas moleculares que faria a matéria estar mais compacta (MARTINS, R. 2012, p. 27-33).

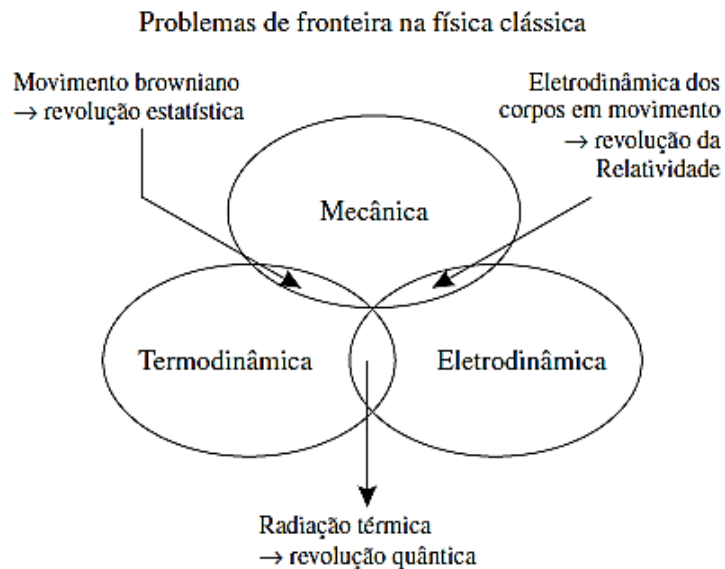
¹¹ Esta equação é resultado da falha da Mecânica Clássica, uma vez que, além da distância, também depende da velocidade da partícula, o que, de certa forma, remonta o pensamento superado de Aristóteles sobre o movimento.

Poincaré, em 1900, publicou um trabalho dando sentido ao *tempo local* de Lorentz, como sendo o tempo medido por relógios sincronizados por sinais luminosos. Em 1902, publicou um livro em que dizia não haver *espaço absoluto* – só movimentos relativos são concebíveis – e nem *tempo absoluto* – não é possível determinar a simultaneidade de forma direta. Em 1904, defendeu a necessidade de uma nova Dinâmica, que contemplasse mais do que o eletromagnetismo. Seus trabalhos influenciaram Einstein nos seus artigos que publicaria em 1905 (MARTINS, R. 2012, p. 30).

2.12 A TEORIA DA RELATIVIDADE

Einstein trabalhou nas fronteiras das grandes áreas da Física: Mecânica, Eletrodinâmica e Termodinâmica. Todo seu trabalho no ano miraculoso de 1905 girava em torno de uma teoria corpuscular interdisciplinar, que seria resposta para os problemas de ligação das grandes áreas (Figura 5). Foi na fronteira da Eletrodinâmica com a Mecânica que surgiu a Teoria da Relatividade Especial (TRE) (RENN, 2004).

Figura 5 - As fronteiras da Física onde Einstein trabalhou



Fonte: Renn (2004)

Embora tenha tido contribuições de outros pesquisadores antes e depois, a TRE tem como seu principal autor Albert Einstein, com publicações em 1905, e revolucionou a Física como se conhecia. A origem da Teoria da Relatividade Especial, como foi visto,

está na discussão de problemas da Teoria do eletromagnetismo e da Óptica. Depois da Teoria da Relatividade Especial, sua continuação não foi feita por Einstein: A Termodinâmica Relativística foi desenvolvida por Max Planck em 1907; o sofisticado tratamento tetradimensional do espaço-tempo foi iniciado por Poincaré, em 1905-1906, e completado por Hermann Minkowski (1864-1909), em 1909; e a formulação tensorial do eletromagnetismo, por Minkowski e Max Abraham (1875-1922), em 1908-1910 (MARTINS, R. 2012, p. 1 e 35-36).

2.12.1 Os postulados da Teoria da Relatividade Restrita

Einstein escreve a TRE de forma que se possa deduzir a partir de dois postulados: **1) O princípio da relatividade**, o qual é mais geral do que o da Mecânica Clássica, uma vez que, agora, as leis físicas são válidas em todos os referenciais inerciais da Mecânica, Óptica e Eletromagnetismo (e não apenas só neste primeiro); **2) o princípio da constância da luz** – segundo o próprio Einstein, este postulado, na verdade, dizia que a velocidade da luz no vácuo é independente da velocidade da sua fonte, e não que a velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais, embora pudesse tirar esta conclusão (MARTINS, R. 2012, p. 2-3).

2.12.2 Uma novidade epistemológica

Albert Einstein publicou dois artigos em 1905 relacionados à teoria da relatividade que não traziam novos resultados científicos, que já não haviam sido apresentados por Lorentz e Poincaré. O mérito do trabalho de Einstein está no método claro e simples que conseguiu chegar até os resultados e a nova concepção epistemológica da qual ele partiu. Enquanto para Lorentz e Poincaré o éter era um conceito útil que não poderia ser provado, para Einstein, era um conceito inútil que também não poderia ser provado. No entanto, para os primeiros, o conceito de éter era apenas um acessório, de forma que se fosse provada a sua não existência, a teoria deles poderiam ser ajustadas, enquanto para Einstein, ele coloca a não existência do éter como um princípio central dos seus postulados, de forma que se houvesse uma prova da sua existência, sua teoria seria refutada. Para ambos a velocidade da luz c é constante: se a luz é uma onda no éter, ela deve possuir a mesma velocidade em todas as direções (em relação ao éter, em outro referencial seria diferente), independente da velocidade da fonte, afinal sua velocidade

depende apenas do meio; se a luz é uma partícula, a princípio, não há motivo para não depender da velocidade da fonte (por causa da inércia), mas Einstein coloca esta independência da fonte como postulado. Em sua abordagem, como não existe éter, essa igualdade de velocidade em todas as direções não acontece restrita ao referencial do éter, e, sim, para todo referencial inercial. Dessa forma, se existe ao menos um referencial inercial com a fonte parada na qual a velocidade da luz tem a mesma velocidade em todas as direções, pelo princípio da relatividade o mesmo deve acontecer nos referenciais inerciais com a fonte em movimento. Outra diferença está no nível de análise, pois, enquanto Lorentz e Poincaré fazia uma análise densa, justificando em nível microscópico a contração de objetos, Einstein faz uma análise simplificada da contração, sem explicar a causa, o que deixou sua teoria mais clara. Este método de Einstein, partindo de dois postulados, resultou num método mais claro e simples, enquanto Lorentz e Poincaré não possuíam um método – pelo contrário, faziam abordagens diferentes, de acordo com as contribuições científicas existentes (MARTINS, R. 2012, p. 35-44).

Em 1905, a teoria de Einstein possuía maior amplitude que a de Lorentz. Enquanto a de Einstein envolvia afirmações mais gerais do espaço e tempo, envolvendo grandes campos da Física, a teoria de Lorentz estava restrita a teoria eletromagnética (CHALMERS, 1993, p. 165).

2.13 UMA INTRODUÇÃO À CINEMÁTICA RELATIVÍSTICA

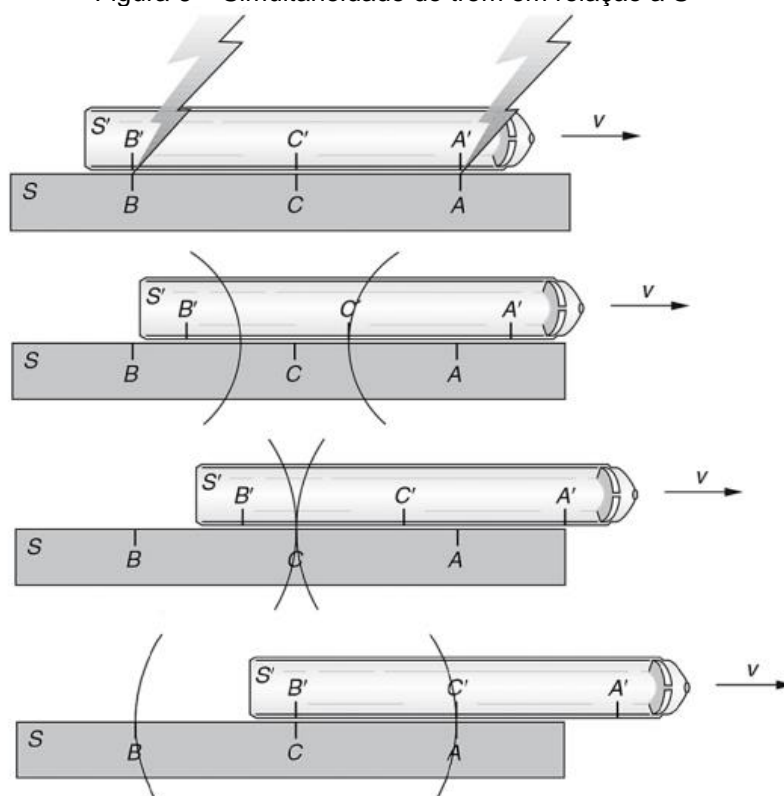
A teoria da relatividade é desenvolvida a partir das consequências dos dois postulados, tais como os resultados da chamada Cinemática. Esses resultados saem da comparação de referenciais inerciais que estejam em velocidade relativa de um para outro (MARTINS, R. 2012, p. 3).

2.13.1 Relatividade da Simultaneidade

Na Teoria da Relatividade, chama-se *eventos* acontecimentos no espaço (com dimensões desprezíveis) e no tempo (quase instantâneos) (MARTINS, R. 2012, p. 49). Considere os referenciais inerciais S e S' , de forma que este último se move com velocidade retilínea uniforme em relação ao primeiro. Em geral, assume-se que as origens O e O' , do sistema de coordenadas cartesianos de, respectivamente, S e S' , coincidem no instante que se inicia o tempo, ou seja, $t = t' = 0$ (NUSSENZVEIG, 2014, p. 153).

Um dos resultados da Cinemática Relativística é a *relatividade da simultaneidade*, na qual a simultaneidade dos eventos não é unânime para referenciais inerciais em movimento relativo (MARTINS, R. 2012, p. 4). Para ilustrar isto, considere o contexto em que um observador está na posição C (origem do referencial S), na estação, e que um outro está na posição C' (origem do referencial S'), no trem, conforme Figura 6. No início desta análise ($t = t' = 0$), as origens de S e S' coincidem, que é quando acontecemos eventos da queda de dois raios a distâncias equidistantes das origens, nos pontos B e A em S , e nos pontos B' e A' em S' ; e a partir deste instante que o trem sai em velocidade constante v , junto com o referencial S' . Então, os sinais de luz dos raios, indo em todas as direções, vai também em direção a C e C' .

Figura 6 – Simultaneidade do trem em relação a S



Fonte: Captura de tela de um vídeo¹²

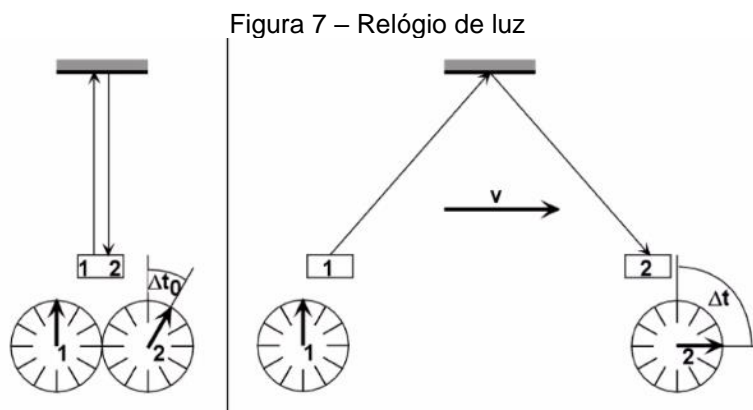
Do referencial de S , os dois sinais de luz chegam simultaneamente em C . E do referencial de S' , também chega simultaneamente, afinal, a luz tem a mesma velocidade

¹² PROFESSOR Cícero – Física & Astronomia. Física Moderna 1 – IFPE. YouTube: 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PLT1lr5RLzVzrhj_2-_F88UT8h-vC7Tnsv . Acesso em: 15 fev. 2023.

em todas as direções, em cada um dos referenciais inerciais. No entanto, quando o referencial de S analisa o movimento em S' , para ele o sinal que sai de A' chega em C' antes do que o sinal de B' , devido ao movimento do trem (NUSSENZVEIG, 2014, p. 154-155). Pelo princípio da relatividade, este resultado é análogo quando o referencial de S' analisa o movimento em S . Portanto, S e S' não concordam sobre a simultaneidade desses eventos, ou seja, ela é relativa.

2.13.2 Dilatação de Período

Outro resultado da Cinemática Relativística é a *dilatação de intervalo de tempo* ou *dilatação de período*. Para ilustrar este efeito, considere relógio de luz conforme Figura 7, ou seja, que mede um intervalo de tempo Δt a cada “ciclo” de movimento da luz, i.e., um sinal de luz que sai de emissor, em 1 (evento 1), sobe até um espelho que o reflete, e volta até um sensor, em 2 (evento 2). Considere uma altura h entre o ponto de emissão da luz e o local do espelho, e os referenciais inerciais S e S' com velocidade relativa v entre si (MARTINS, R. 2012, p. 53).



Fonte: Ribeiro (2013)¹³

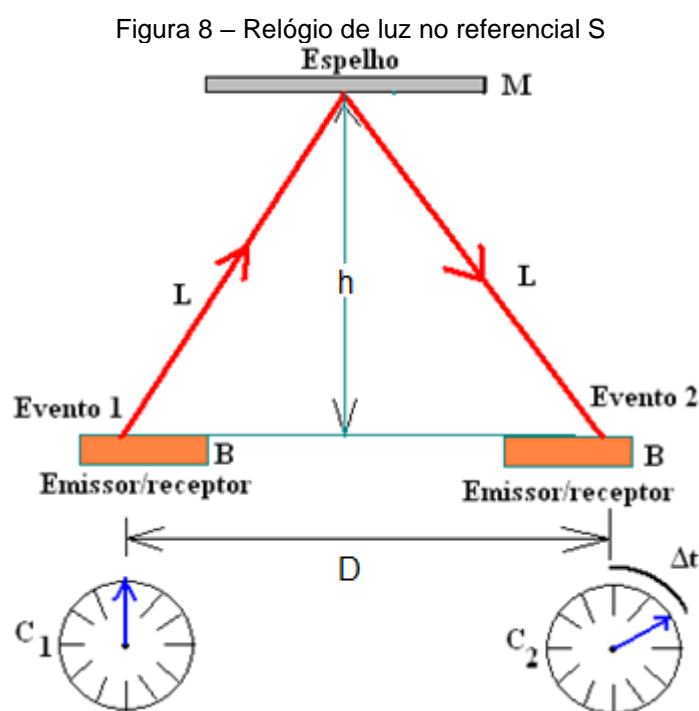
Como o movimento é horizontal, os valores verticais não se alteram, o que significa que $h = h'$. Além disso, como em S' (lado esquerdo da Figura 7) os eventos 1 e 2 acontecem no mesmo lugar, dizemos que as medidas de grandezas feitas deste referencial são *próprias*. Neste caso, S' mede o *intervalo de tempo próprio* $\Delta t' \equiv \Delta t_0$, e S ,

¹³ RIBEIRO, J. L. P. Relatividade especial. 1 transparência. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/jlp1973/relatividade-especial-slideshow-by-jair-lp>. Acesso em: 15 fev. 2023.

o impróprio, Δt . Uma observação importante é que não necessariamente S' será o referencial com grandezas próprias; aliás, é possível que nenhum referencial analisado tenha grandezas próprias (MARTINS, R. 2012, p. 73-79).

A Figura 8 mostra a trajetória do sinal de luz (com velocidade constante c) do referencial S , a qual faz um triângulo retângulo, onde a distância $L = \frac{c\Delta t}{2}$, a distância $\frac{D}{2} = \frac{v\Delta t}{2}$, e altura h , de forma que é possível aplicar o teorema de Pitágoras:

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = h^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2$$



Fonte: SILVA (s.d.)¹⁴

Isolando Δt , tem-se:

$$\frac{c^2}{4}(\Delta t)^2 - \frac{v^2}{4}(\Delta t)^2 = h^2$$

$$\frac{(c^2 - v^2)}{4}(\Delta t)^2 = h^2$$

$$\Delta t = \sqrt{\frac{4h^2}{(c^2 - v^2)}}$$

¹⁴ SILVA, Dominicano C. M. da. [Sem título]. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/dilatacao-do-tempo.htm>. Acesso em: 15 fev. 2023.

$$\Delta t = \frac{2h}{\sqrt{c^2(1 - \frac{v^2}{c^2})}}$$

$$\Delta t = \frac{\frac{2h}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Como o intervalo de tempo próprio de S' (do lado esquerdo da Figura 7) é $\Delta t_0 = \frac{2h}{c}$, então, substituindo, tem-se:

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

que é a equação da *contração de intervalos de tempo* (ou período T), válida para situações nas quais algum dos referenciais inerciais mede grandezas próprias (MARTINS, R. 2012, p. 54).

É possível deixar esta expressão mais compacta utilizando o *parâmetro de velocidade* $\beta \equiv \frac{v}{c}$:

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

Note que $\beta \leq 1$, uma vez que, segundo a Teoria da Relatividade, $v \leq c$, ou seja, é impossível qualquer velocidade v ultrapassar a velocidade da luz no vácuo c . A expressão fica ainda mais compacta utilizando o *fator de Lorentz* $\gamma \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$:

$$\Delta t = \gamma \Delta t_0$$

Note que, $\beta \leq 1 \Rightarrow \sqrt{1 - \beta^2} \leq 1 \Rightarrow \gamma \geq 1$. Ou seja, o fator de Lorentz é sempre maior que um, exceto quando $v = c$, que então será igual a um. Com isso, podemos concluir, pela igualdade dada por $\Delta t = \gamma \Delta t_0$, que

$$\Delta t \geq \Delta t_0$$

ou seja, em relação a S , o intervalo de tempo Δt é menor, indicação de que foi contraído (NUSSENZVEIG, 2014, p. 163).

2.13.3 Contração do espaço

Utilizando a notação falada anteriormente, as *equações de Lorentz* ficam:

$$x' = \gamma(x - vt)$$

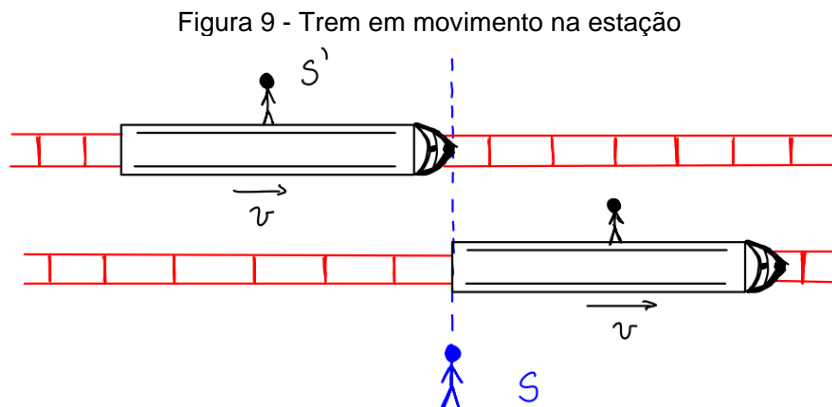
$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \gamma \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

Uma observação importante é que as equações de Lorentz não valem apenas para relação entre referenciais inerciais, onde para um deles a(s) grandeza(s) avaliada(s) é(são) própria(s) (MARTINS, R. 2012, p. 58).

Para o efeito de *contração de objetos*, considere dois referenciais inerciais S e S' , representados pelos observadores da Figura 9, de forma que estão em movimento relativo. O referencial S' está em repouso em relação ao trem, cujas extremidades são os pontos x'_1 e x'_2 , de forma que o seu comprimento próprio é $L_0 \equiv x'_2 - x'_1$.



Fonte: Captura de tela de um vídeo¹⁵

Para encontrar o comprimento do trem L em relação à S , consideramos as extremidades do trem para este referencial, que no instante t valem $x_1(t)$ e $x_2(t)$, ou seja, medidas simultaneamente em relação à S . Assim, o comprimento fica:

$$L \equiv x_2(t) - x_1(t)$$

Da transformação de Lorentz na componente x' , isolamos x :

$$x' = \gamma(x - vt)$$

$$\frac{x'}{\gamma} = x - vt$$

$$x = \frac{x'}{\gamma} + vt$$

¹⁵ PROFESSOR Cícero – Física & Astronomia. Física Moderna 1 – IFPE. YouTube: 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PLT1lr5RLzVzrhj_2-_F88UT8h-vC7Tnsv . Acesso em: 15 fev. 2023.

. Voltando ao comprimento L em relação a S , substituímos na relação à cima:

$$L = \frac{x'_2}{\gamma} + vt - \frac{x'_1}{\gamma} - vt$$

Note que este valor de t é do referencial S e não de S' , o que permite que os termos com vt sejam eliminados com a sua soma. Se t fosse valor em S' , não poderiam ser eliminados, já que não seriam iguais, uma vez que a simultaneidade é relativa, e, portanto, os valores de tempo que são iguais em S não são em S' . Voltando ao cálculo:

$$L = \frac{1}{\gamma}(x'_2 - x'_1)$$

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

Esta equação é a *contração de Lorentz-Fitzgerald*. Ela implica em $L \leq L_0$, ou seja, o comprimento do trem em relação a S é menor que o comprimento próprio, ele contraiu (NUSSENZVEIG, 2014, p. 160).

2.13.4 Constância da velocidade da luz

Uma forma de ilustrar como era a concepção de movimento na Mecânica Clássica está representado na Figura 10, na qual está a equação da velocidade, onde para lidar com as diferentes situações, a velocidade se flexibiliza para compreender os fenômenos. Ou seja, a velocidade é relativa e o espaço e o tempo são absolutos

Figura 10 - Equação da velocidade com velocidade relativa

$$\underset{\substack{\swarrow \\ \text{relativo}}}{\text{velocidade}} = \frac{\overset{\substack{\nearrow \\ \text{absoluto}}}{\text{espaço}}}{\underset{\substack{\searrow \\ \text{absoluto}}}{\text{tempo}}}$$

Fonte: Nasser (2010)¹⁶

Já como é movimento na Cinemática Relativística está ilustrado na Figura 11, na qual também traz a equação da velocidade, mas agora surge algo a mais: a velocidade

¹⁶ NASSER, B. B. Conceito de velocidade, espaço e tempo segundo Galileu. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. 1 imagem. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4419/3239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 maio 2022.

da luz é inflexível, é um limite da natureza. Assim, para compreender a diversidade de situações, neste caso, quem se torna flexível é o espaço e o tempo. Ou seja, como a velocidade da luz se torna absoluta, o espaço e tempo se tornam relativos.

Figura 11 - Equação da velocidade com velocidade constante

$$c = \frac{\text{espaço} \rightarrow \text{relativo}}{\text{tempo} \rightarrow \text{relativo}}$$

Vel. da luz absoluta

Fonte: Nasser (2010)¹⁷

2.13.5 Mudança de Velocidade entre Referenciais Inerciais

Para encontrar a transformação da velocidade na direção $x'(t')$, parte-se das transformações de Lorentz (onde a velocidade relativa entre os referenciais v , que é uma constante, será chamada de V , para evitar confusão),

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma(x - Vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \gamma\left(t - \frac{V}{c^2}x\right)$$

fazendo a diferencial de x' e de t' (note que γ , V e c são constantes), tem-se:

$$dx' = \gamma(dx - Vdt)$$

$$dt' = \gamma\left(dt - \frac{V}{c^2}dx\right)$$

Assim,

¹⁷ NASSER, B. B. Conceito de velocidade da luz, espaço e tempo segundo Einstein. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Exatas) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010. 1 imagem. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/4419/3239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 maio 2022.

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma(dx - Vdt)}{\gamma\left(dt - \frac{V}{c^2}dx\right)}$$

$$v'_x = \frac{\left(\frac{dx}{dt} - V\right) dt}{\left(1 - \frac{V}{c^2} \frac{dx}{dt}\right) dt}$$

$$v'_x = \frac{v_x - V}{\left(1 - \frac{V}{c^2} v_x\right)}$$

que é a transformação da componente v'_x para outro referencial inercial. Para a componente v'_y , como $dy' = dy$, tem-se:

$$v'_y = \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{\gamma\left(dt - \frac{V}{c^2}dx\right)}$$

$$v'_y = \frac{dy}{\gamma dt \left(1 - \frac{V}{c^2} v_x\right)}$$

$$v'_y = \frac{v_y}{\gamma\left(1 - \frac{V}{c^2} v_x\right)} = \frac{\sqrt{1 - \beta^2} v_y}{\left(1 - \frac{V}{c^2} v_x\right)}$$

E para v'_z , analogamente, tem-se:

$$v'_z = \frac{\sqrt{1 - \beta^2} v_z}{\left(1 - \frac{V}{c^2} v_x\right)}$$

(MARTINS, R. 2012, p. 62-63; NUSSENZVEIG, 2014, p. 164-165). Comparando com a adição de velocidade da Cinemática Clássica, $v' = v + V$, evidencia-se que na Teoria da Relatividade, a regra é mais complicada (MARTINS, R. 2012, p. 4).

2.13.6 A realidade da Teoria da Relatividade Restrita

A teoria da relatividade afeta todas as áreas da física, uma vez que, caso contrário, seria possível fazer uma medida absoluta de velocidade a partir destas áreas. Assim, todas as áreas devem fazer adaptações relativísticas de forma que suas leis sejam *covariantes*, i.e., ter a mesma forma em todos os referenciais inerciais (MARTINS, R. 2012, p. 8).

A cinemática relativística pode ser descrita suscintamente através das *Transformações de Lorentz*, as quais acoplam as medidas de posição e tempo, observadas de dois referenciais diferentes, S' e S (estabelecendo uma relação espaço-

tempo). Contudo, todos os efeitos da TRE são pequenos quando comparados com as velocidades da realidade macroscópica porque são efeitos da segunda ordem em $\frac{v}{c}$ (MARTINS, R. 2012, p. 4-5). Para velocidades menores que 10% a velocidade da luz, os efeitos relativísticos são desprezíveis (NUSSENZVEIG, 2013, p. 348).

Para entender melhor este nível precisão (ou aproximação), toma-se o fator de Lorentz:

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

E faz uma expansão utilizando a série de Taylor:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f^{(n)}(a)(x-a)^n}{n!}$$

Ficando com:

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}\beta^2 + \dots$$

De forma que para $v \ll c$, ou seja, para $\beta \ll 1$, temos a aproximação:

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}\beta^2$$

Assim, temos os termos de 1ª e 2ª ordem em relação a $\beta = \frac{v}{c}$. Para uma aproximação de 1ª ordem, as transformações de Lorentz,

$$x' = \gamma(x - Vt)$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

se reduzem as transformações de Galileu, onde $x \ll ct$,

$$x' = x - Vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

As transformações de Lorentz também se reduzem às de Galileu no limite $c \rightarrow \infty$, o que significaria sinais “instantâneos”, com velocidade infinita (NUSSENZVEIG, 2014, p. 159).

2.13.7 A Teoria da Relatividade é uma extensão da Cinemática Clássica?

Sobre se a Mecânica Newtoniana é uma derivação da Teoria Relativística, Thomas Kuhn afirma que isto não procede. Ele argumenta que o fato de se poder reduzir os efeitos relativísticos para pequenas velocidades, $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1$, a ponto de os resultados serem semelhantes aos da Cinemática Clássica não significa que eles sejam iguais. Como, por exemplo, a contração do espaço, $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, que para $\left(\frac{v}{c}\right)^2 \ll 1$, é macroscopicamente $l = l_0$, e, no entanto, microscopicamente, o efeito relativístico existe e é inexplicável no arcabouço conceitual da Cinemática Clássica. A forma como veem o movimento, portanto, partem de paradigmas diferentes. Os conceitos de espaço e tempo, por exemplo, em cada uma das teorias, apesar de manter a nomenclatura, são diferentes. Esta redução pode ser conveniente para fins de simplificação matemática, mas não é real (PEDUZZI, 2006, p. 74-75).

Popper afirma que as teorias de Galileu e Newton são falsas a luz da Teoria de Einstein, porém, isto não significa que a última é verdadeira. Pode-se dizer que ela chegou mais próximo da verdade que a Teoria de Newton, assim como esta última chegou mais próximo que a Teoria de Galileu (CHALMERS, 1993, p. 200).

Na perspectiva da Teoria da Relatividade Especial de Einstein, a Teoria Cinemática de Newton não corresponde aos fatos. Não faz jus à Mecânica Clássica tratá-la como uma versão simplificada da teoria relativística, uma vez que ela possui outro arcabouço teórico, com outra perspectiva sobre a natureza (CHALMERS, 1993, p. 204-206).

2.13.8 A realidade além das Teorias

Popper e Lakatos defendem uma posição objetivista da ciência, na qual algo objetivo existe independentemente de a consciência humana conseguir elaborar sobre. Um forte argumento a favor dessa visão é que teorias científicas podem ter resultados, consequências ou implicações que vão além do arcabouço inicial. Como, por exemplo, quando Maxwell desenvolveu sua teoria eletromagnética, tinha por objetivo explicar os fenômenos eletromagnéticos de forma mecânica: Através do éter. Mas uma consequência dessa teoria, desenvolvida por G. F. Fitzgerald em 1881, dois anos após a morte de Maxwell, foi a *onda eletromagnética*, cuja identificação com a luz abriu espaço para a

criação da Teoria da Relatividade Especial de Einstein que veio substituir justamente a mecânica newtoniana que Maxwell procurou inicialmente contribuir. Ou seja, apesar da elaboração do conhecimento humano, as teorias lidam com propriedades que podem estar além da concepção humana, propriedades objetivas (CHALMERS, 1993, p. 153-156).

3 CONTEXTO E PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS METODOLÓGICOS

Este capítulo traz uma apresentação dos procedimentos das UEPS com as suas devidas motivações, bem como das escolhas didáticas e metodológicas contextualizadas de tais aplicações.

2.14 LOCALIZAÇÃO E PERFIL DA TURMA

A implementação dessa UEPS foi em uma turma do 1º ano do Ensino Médio Regular, no turno vespertino, do Colégio Estadual Renato Viana (CERV) com 38 estudantes, na Unidade Curricular Eletiva chamada “Astronomia”, da parte diversificada da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018). A escola é pública e estadual, e é a única instituição com a etapa do Ensino Médio na sede da cidade em que se localiza, Anagé-BA (Figura 12). Anagé possui cerca de 20.000 habitantes¹⁸ e faz limite com o Município de Vitória da Conquista-BA.

Figura 12 – Localização de Anagé na Bahia



Fonte: WIKIPÉDIA (2022)¹⁹

¹⁸ WIKIPÉDIA. *Anagé*. [s.l.:s.n.], 2022. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Anag%C3%A9>. Acesso em: 15 dez. 2022.

¹⁹ Ibid. 1 mapa.

2.15 DESENVOLVIMENTO DA UEPS

Esta unidade de ensino seguiu os 8 passos propostos por Moreira (ARAÚJO *et al.*, 2012, p. 47-49), conforme discutidos no capítulo 2, *Referencial Teórico*. Sendo que o oitavo passo, sobre análise do êxito da UEPS, está contemplado no capítulo 5, chamado *Resultados e Discussões*.

Quanto ao primeiro passo, sobre a definição do tópico específico a ser abordado, foi escolhido o tema sobre o movimento, em uma perspectiva da física clássica até a introdução de conceitos do movimento da física relativística, com uma abordagem qualitativa. No conjunto de conceitos físicos abordados neste tópico, estão velocidade, referencial inercial, velocidade relativa, trajetória, inércia, trajetória relativa e contração do espaço.

De acordo com o passo 1 das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, estes conceitos foram escolhidos a partir do entendimento de que são pré-requisitos básicos, substanciais e necessários para abordar, de acordo com o método escolhido, ideias para a compreensão da transição da Cinemática Clássica para a Mecânica Relativística, de acordo com um dos objetivos específicos.

Como esta transição é um tema muito amplo e a Teoria da Relatividade de Einstein é assunto muito complexo e abstrato (pouco intuitivo) para serem abordados em uma única UEPS, optou-se por trabalhar apenas o conceito de movimento, de forma qualitativa, e trabalhando-se apenas um resultado da Cinemática Relativística, a contração do espaço. Esta não é uma abordagem histórica filosófica, embora ela esteja indiretamente presente, subsidiando a abordagem desta unidade de ensino e sendo uma motivação da sua escolha.

2.15.1 Cronograma de implementação

Esta UEPS foi implementada de 29 de setembro a 07 de dezembro de 2022, dividida em 8 encontros, sendo que a maior parte deles com duração de duas hora-aulas (100min), totalizando 14 hora-aulas de aplicação.

Para além do cronograma apresentado, cita-se alguns fatores que influenciaram no seguimento contínuo-cronológico da UEPS no seu período de aplicação, tais como: calendário das Eleições 2022 (já que a escola é uma zona eleitoral), a suspensão das

aulas devido aos jogos da Seleção Brasileira de Futebol Masculino na Copa do Mundo²⁰ e as fortes chuvas que ocorreram no município de Anagé, que por vez, impossibilitou o transporte parcial ou integral dos estudantes da zona rural daquele colégio, os quais representam sua grande maioria. Não obstante, manteve-se aplicação da sequência.

O cronograma de implementação da UEPS está no Quadro 1, no qual estão os encontros em que aconteceram as aulas, o passo da UEPS que foi trabalhado em cada encontro, o tempo pedagógico aproximado utilizado em cada atividade, a atividade ou as estratégias didáticas adotadas, e o tema ou o(s) objeto(s) de conhecimento abordado(s) em cada estratégia. Neste último, há espaços do quadro que estão com um travessão que significa que há diversos temas abordados, sem um foco em especial.

Quadro 1 – Cronograma de implementação da UEPS

Momento (Data)	Passo da UEPS	Tempo pedagógico (min)	Estratégia / Atividade	Tema / Objeto de conhecimento
Encontro 1 (29/09)	1 e 2	60	Questionário de Sondagem	-
		40	Confecção de mapa conceitual coletivo	Movimento
Encontro 2 (10/10)	3	40	Exposição dialogada	Conhecimento, ciência e revolução científica
		40	Exposição dialogada	Referencial, trajetória e movimento
		20	Atividade 1 em grupo: Situações-problema	Velocidade relativa e trajetória relativa
Encontro 3 (17/10)	3 e 4	20	Discussão de respostas	Atividade 1 em grupo
		30	Ação em grupo	Alteração do mapa conceitual coletivo
		20	Experimento com Arduino	Velocidade
		30	Atividade 2 em grupo: Situações-problema	Velocidade e trajetória relativa
Encontro 4 (07/11)	3 e 4	30	Simulação expositiva	Movimento relativo
		30	Vídeos	Inércia e trajetória
		40	Atividade 3 em grupo: Situações-problema	Movimento relativo, inércia, trajetória relativa e velocidade
Encontro 5 (21/11)	4 e 5	20	Discussão de respostas	Atividade 3 em grupo
		30	Simulação interativa	Inércia e trajetória

²⁰ Conforme notícia o site de notícias G1 Bahia, disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2022/11/09/governo-da-bahia-altera-expediente-nos-orgaos-estaduais-em-dias-de-jogos-do-brasil-na-copa-do-mundo.ghtml>. Acessado em: 15 dez. 2022.

Encontro 6 (29/11)	5	15	Experimento com Arduino	Velocidade
		30	Exposição dialogada	Movimento e Física Clássica
		30	Exposição dialogada	Movimento e Física Relativística
		25	Atividade 4 em grupo: Situações-problema	Velocidade relativa e espaço relativo
Encontro 7 (30/11)	5 e 6	20	Revisão e discussão de respostas	Comparação das visões clássica e relativística
		30	Atividade 5 em grupo: Situações-problema	
Encontro 8 (07/12)	7	100	Avaliação somativa	-
			Avaliação da UEPS	-

Fonte: Próprio autor

2.15.2 Encontro 1

Neste encontro, apresentou-se os conceitos que seriam trabalhados ao longo das próximas aulas, que estão de acordo com o passo 1 da UEPS. Em seguida, aplicou-se um questionário de sondagem e na sequência, confeccionou-se um mapa conceitual coletivo, como bem sugere o passo 2.

2.15.2.1 Questionário de sondagem

Nesta etapa, as atividades têm como objetivo determinar a base do conhecimento por parte dos estudantes acerca do tema proposto, visto que o conceito de movimento está presente no cotidiano de todos. Neste ponto não deve haver preocupação com o rigor conceitual, é apenas um momento inicial para motivar os estudantes e buscar o entendimento sobre determinados conceitos.

Entregou-se um questionário de sondagem, que está no Apêndice A, para os estudantes, o qual consiste em questões abertas e fechadas – sobre movimento, ponto de vista, referencial, trajetórias, distancias e velocidades –, em nível introdutório, buscando-se a exposição de seus conhecimentos prévios e possíveis *concepções alternativas*.

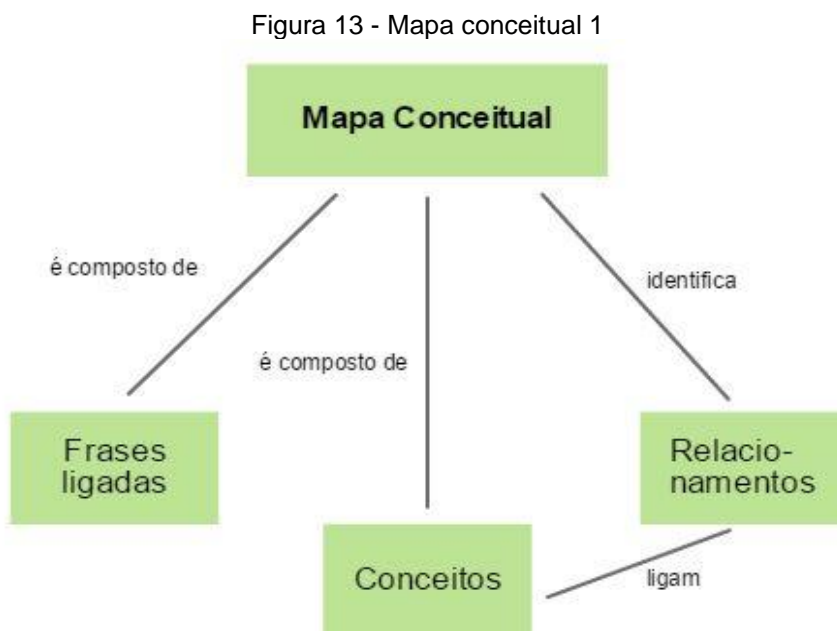
Solicitou-se para os estudantes que respondessem de acordo com as “suas visões” pessoais sobre as questões do teste, enfatizando que não existe resposta errada.

As respostas dadas ao questionário foram avaliadas devidamente para elaborar as próximas aulas/passos

2.15.2.2 Mapa conceitual coletivo

Em um segundo momento, elaborou-se um rascunho de mapa conceitual no quadro branco, junto com a turma, sobre o tema *Movimento*; melhor dizendo; confeccionou-se um mapa conceitual coletivo. Inicialmente, apontou-se algumas diferenças entre mapa mental e mapa conceitual, e mostrou-se alguns exemplos de mapas conceituais.

O primeiro mapa conceitual mostrado está apresentado na Figura 13 que é sobre mapa conceitual e foi apontado como um exemplo de mapa mais correto.



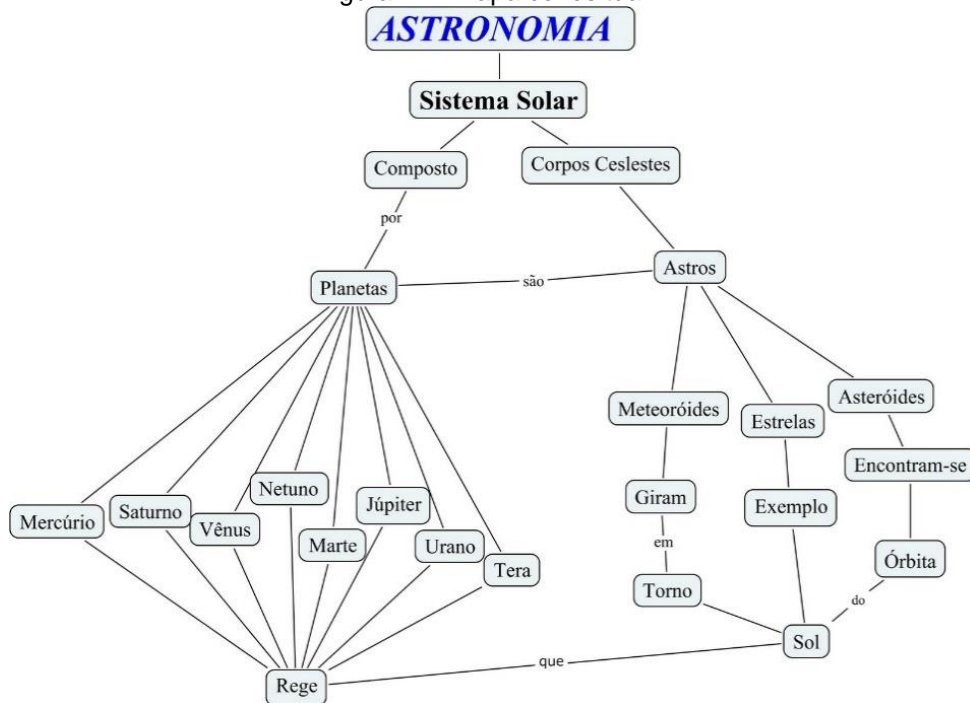
Fonte: Significados ([s.d.])²¹

Realizou-se observações do que seriam alguns erros nos mapas conceituais 2 e 3. Os erros apontados no mapa conceitual 2, está apresentado na Figura 14. Estes erros foram circular palavras que não são conceitos (“Exemplo”, “Encontram-se”, “Rege”,

²¹ SIGNIFICADOS de um mapa conceitual. [Sem título]. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.significados.com.br/mapa-conceitual/>. Acesso em: 20 set. 2022.

“Composto” etc.) e a falta de hierarquia dos conceitos representada nas suas posições relativas.

Figura 14 - Mapa conceitual 2



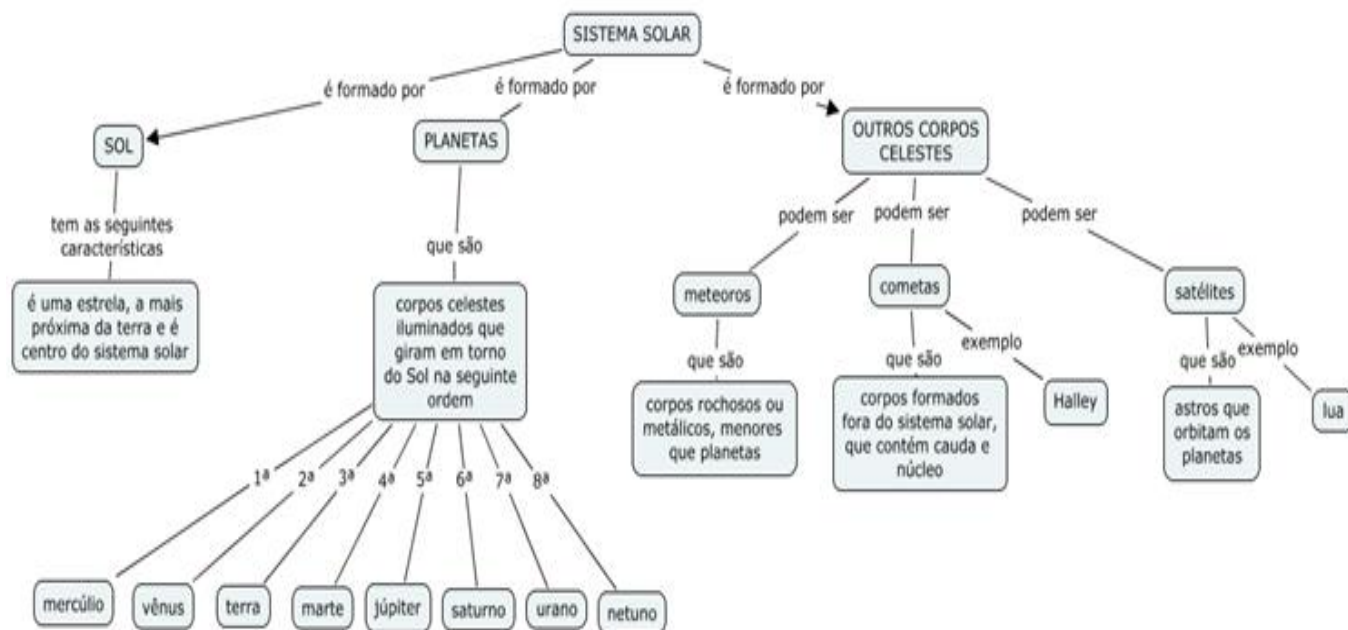
Fonte: ASTRONOMIA (2011)²²

O erro apontado no mapa conceitual 3 está representado na Figura 15 e se encontra inserido em um conjunto de muitas palavras dentro de um mesmo círculo, ao invés de apenas um único conceito.

Após este procedimento solicitou-se aos estudantes que mencionassem algumas palavras-chave, conceitos ou elementos que considerem estar ligados a ideia de Movimento, as quais foram listadas no quadro branco. Esta parte foi importante para uma previa avaliação deste primeiro momento da aplicação da UEPS. A partir dessas palavras e em diálogo com as proposições que se fazia em sala, buscou-se organizá-las em um mapa conceitual, ainda que com problemas estruturais, a fim de ter uma organização inicial, que deverá ser aprimorada em aulas futuras. A intenção aqui é organizar e reorganizar os *modelos mentais* dos estudantes sobre o movimento ao longo das aulas, em um processo progressivo e contínuo.

²² ASTRONOMIA solar: Rafael, Jaqueline. *Mapa conceitual*. 2011. 1 ilustração. Disponível em: <http://rafaeljaquelineastronomia.blogspot.com/2011/06/mapa-conceitual.html>. Acesso em: 20 set. 2022.

Figura 15 - Mapa conceitual 3



Fonte: PLANO (2013)²³

Assim, finalmente, iniciou-se a confecção do mapa conceitual coletivo sobre movimento, utilizando-se o quadro branco. No topo do quadro, foi escrito o primeiro conceito, “movimento”, e então foi consultado os estudantes sobre as possíveis palavras para a construção do mapa conceitual. Durante todo o processo, foi repetido os mesmos passos: Perguntou-se qual das palavras escolhidas por eles estavam ligadas ao apresentado no quadro, perguntou-se em qual posição eles gostariam que a colocasse, e por último, perguntou-se como eles acham que deveria acontecer a ligação entre aqueles conceitos. Além disso, uma atenção foi dispensada para uma eventual estagnação do mapa conceitual, e assim se dispôs para uma intervenção.

Esperou-se que fosse construído um mapa conceitual inicial e foi orientado que cada um dos estudantes fizesse o registro no seu caderno do conteúdo apresentado no quadro.

A elaboração desse mapa conceitual foi avaliada para a construção de novos mapas conceituais das próximas atividades.

²³ PLANO de aula Sistema Solar – módulo 6 (reformulado). [Sem título]. 2013. 1 ilustração. Disponível em: <http://ciencializandoja.blogspot.com/2013/12/plano-de-aula-sistema-solar-modulo-6.html>. Acesso em: 20 set. 2022.

2.15.3 Encontro 2

Neste encontro, fez-se, em nível introdutório, duas exposições dialogadas e aplicou-se uma atividade em grupo; sendo a primeira, com finalidade de preparar para introdução do conhecimento, sem necessariamente a intenção de ensinar, e a segunda, a atividade em grupo, com o propósito de dialogar com o conhecimento prévio ou para subsidiar a organização prévia, conforme o passo 3 da UEPS.

2.15.3.1 Exposição dialogada – Conhecimento, Ciência e Revoluções Científicas

Para introdução da sequência didática, fez-se uma breve exposição dialogada sobre construção do conhecimento, ciência e revolução científica, com o auxílio de *slides*. Estes slides estão disponíveis no produto educacional, apresentados no Apêndice J. Já que a sequência trata de aspectos de duas perspectivas científicas sobre o movimento da Cinemática Clássica e da Mecânica Relativística, o propósito dessa introdução é mostrar que uma revolução científica não é como uma mudança de opinião pessoal (CHALMERS, 1993), ou seja; está devidamente embasada nos fundamentos científicos e filosóficos.

Inicialmente foi feita discussão com os estudantes sobre o papel dos sentidos humanos na construção do conhecimento, através da seguinte situação:

Como saber se a sua comida está estragada antes comer?

Debateu-se a forma como se pode perceber este tema e após, se essas conclusões poderiam estar erradas. A ideia aqui é de trazer uma situação em que se pode construir conhecimento do mundo através dos sentidos humanos, e ao mesmo tempo questionar a veracidade desse conhecimento.

Em seguida foram colocadas outras duas questões para os estudantes:

Como descobrir, de forma segura, que há corrente elétrica em um fio?

Como você sabe que o planeta Netuno existe?

A intenção aqui é discutir a limitação dos nossos sentidos para a construção desses conhecimentos, por exemplo: a corrente elétrica de um fio comum é invisível, inaudível e inodora, e o planeta Netuno não é visível a olho nu. A partir dessa conclusão, apresentou a Ciência e Tecnologia como ferramentas que ampliam a capacidade humana de produzir conhecimento. No caso da corrente elétrica, um *Amperímetro*. Na Figura 16 está apresentado um bom exemplo para ilustrar esta ferramenta ou recurso que poderia verificar se há corrente elétrica no fio.

Figura 16 - Multímetro



Fonte: COMO (2018)²⁴

Já no caso da situação de Netuno, contou-se que sua descoberta não foi vista com uma ferramenta como um telescópio, mas sim foi prevista matematicamente, isto é, através de uma conclusão racional dentro de uma teoria científica (CHALMERS, 1993, p. 72-73) – A teoria da gravitação universal de Newton. O propósito foi apontar a ciência como uma ferramenta ou mecanismo que aumenta a capacidade humana de construção de conhecimento, assim como aparatos tecnológicos.

A partir da situação anterior, provocou-se os estudantes com a pergunta: O que é ciência? Essa questão é muito complexa e requer longas digressões (CHALMERS, 1993), mas destrinchar esse tema não é o foco dessa UEPS, apesar de se tratar de um ponto importante para se trazer as discussões sobre revoluções científicas, pois, a transição dos conceitos da Cinemática Clássica para a Relativística, tem um impacto com a contextualização da época em que estas aconteceram, especificamente ao final do século XIX e início do XX. Essa provocação tem por objetivo conceituar ciência de forma mais generalista – embora dentro das perspectivas modernas de ciência (CHALMERS, 1993; SILVA, 2006) – para subsidiar as discussões que são feitas nas próximas aulas. Assim, definiu-se ciência como uma estrutura lógica com evidências que correspondem à realidade, fazendo a observação de que existem vários métodos possíveis de se fazer ciência.

²⁴ COMO usar multímetro – Amperímetro digital. [Sem título]. 2018. 1 fotografia. Disponível em: <https://www.desterroeletricidade.com.br/blog/eletrica/1691/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Para ilustrar o que é lógica, fez-se o simples silogismo que segue, com o objetivo de que os estudantes expressem a conclusão de que “Bill gosta de futebol”.

Suposição: Todos os meninos da sala gostam de futebol;

Situação: Bill é um menino da sala;

Conclusão: Bill gosta de...

Em seguida, abordou-se a situação da seguinte forma: Imagine que se pergunte “Bill” se ele gosta de futebol e ele responda que não. O que podemos dizer sobre esta “teoria” (o silogismo)? A intenção agora é discutir a segunda parte daquele conceito de ciência, a correspondência com a realidade.

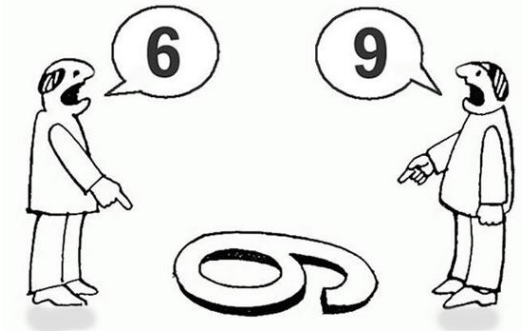
Depois de conceituar ciência, falou-se de dois processos que ocorrem com ela após novas descobertas, tendo como discussão a dicotomia entre Evolução e a Revolução Científicas. Para ilustrar a primeira, mostrou-se como ocorreu a descoberta de Netuno, citada anteriormente e mais detalhadamente explicada no capítulo 3, *Movimento – Da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade Restrita*. Essa nova descoberta foi explicada pela mesma teoria de Newton que já existia e a incrementou, deixando-a mais próxima da descrição da realidade, isto é, evoluindo a Teoria da Gravitação Universal. Assim, há uma Evolução quando uma descoberta é absorvida pela teoria.

Já uma Revolução Científica acontece a partir de uma ou mais descobertas que não conseguem ser explicadas pela teoria vigente, a qual é abalada por elas. Para ilustrá-la, comentou-se que a Teoria Clássica (conforme referência sobre a Física Clássica nas aulas da UEPS) supunha que o espaço e o tempo não se distorcem, mas em 1919, uma expedição fez uma observação em Sobral – CE, a qual significou a primeira evidência experimental que o espaço se distorce. Esse fenômeno não conseguia ser explicado pela Teoria Clássica, mas conseguia ser explicado pela Teoria Relativística de Einstein, a qual veio a substituí-la a anterior – ocorreu uma revolução científica (OLIVEIRA, A. 2019).

Para finalizar esta introdução, utilizou-se convenientemente uma imagem, representada na Figura 17, que estava na **questão 12** do questionário de sondagem (APÊNDICE A), sobre pontos de vistas entendendo a realidade externa de forma diferente, escolhida porque foi considerada um ponto crítico das respostas dos estudantes – isto é, aquelas cujo conteúdo foi ambíguo, sem consenso e com dificuldade de elaboração (a conferir no capítulo de Resultados e Discussões), demonstrando potencial de debate, como constatado nesta pré-avaliação deste passo. A partir da imagem, a mesma provocação do questionário:

Afinal, para o que os dois homens estão apontando?

Figura 17 - 6 ou 9?



Fonte: SEIS (2017)²⁵

O propósito foi discutir as respostas dos estudantes a fim de discutir que talvez não consigamos dizer se é um 6 ou um 9, mas independentemente da existência de uma opinião, isto é, independente do ponto de vista sobre o objeto, o objeto existe. A realidade pode não ser alcançada por nossas teorias, mas ela existe independente delas (CHALMERS, 1993, p. 153-156). Dessa forma, apresentou-se, então, as duas teorias sobre o conceito de movimento que serão discutidas nas próximas aulas: A Teoria Clássica (Mecânica Clássica), cujo principal nome é Isaac Newton; e a Teoria Relativística (Teoria da Relatividade Restrita), de Albert Einstein.

2.15.3.2 Exposição dialogada – Referencial, Trajetória e Movimento

Nesse segundo momento da aula fez-se uma exposição dialogada com auxílio de *slides* (conforme disponível no produto educacional, Apêndice J), sobre o conceito de referencial associado ao Movimento e à Trajetória, a nível introdutório. Começou-se com o seguinte questionamento aos estudantes:

Nesse momento, vocês estão parados ou em movimento?

Questionou-se também o motivo pelo qual os estudantes estão dando suas respostas. Esperou-se que os estudantes respondessem que estão parados, talvez argumentando que estão sentados nas carteiras.

Para desenvolver a discussão, introduziu-se o conceito de referencial como “um observador” a partir do qual mede-se algo, isto é, sobre determinado ponto de vista.

²⁵ SEIS ou Nove? – [Sem título]. 2017. 1 ilustração. Disponível em: <https://pratiqueobemhoje.com/2017/09/18/seis-ou-nove/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Através deste conceito, apresentou-se a seguinte situação-problema associado ao *GIF*. A Figura 18 representa a ilustração do *GIF* discutido neste momento da aula.

Do referencial da menina, as pessoas da escada rolante estão paradas ou em movimento?

Definindo “estar em movimento” como “mudar de posição”, buscou-se discutir as respostas dos estudantes a fim de desassociar-se à ideia de Movimento com caminhar, como é o caso das pessoas na escada rolante, que se movimentam sem dar um passo, ou seja, elas se movem sem mexer o corpo (caminhar).

Figura 18 - Garota observa escada rolante



Fonte: APENAS (2017)²⁶

Com o mesmo intuito, apresentou-se outro *GIF*, no qual uma pessoa tenta subir a escada rolante no sentido contrário do seu movimento, de forma que a pessoa fique na mesma posição, conforme representado na Figura 19, com a seguinte situação-problema:

Do referencial (lugar de observação) de quem filmou a mulher abaixo, ela está parada ou em movimento?

Nesta situação-problema, buscou-se discutir as respostas dos estudantes ainda como diferenciar a ideia de caminhar com estar em movimento, mas agora trazendo uma situação oposta à anterior: a pessoa mexe o corpo (caminha), mas não muda de posição (não se movimenta, conforme definição).

²⁶ APENAS uma garotinha simpática. *Simpatia é uma coisa que poucos tem*. 2017. 1 *GIF*. Disponível em: <https://naomesmo.com.br/apenas-uma-garotinha-simpatica/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Figura 19 - Mulher na escada rolante



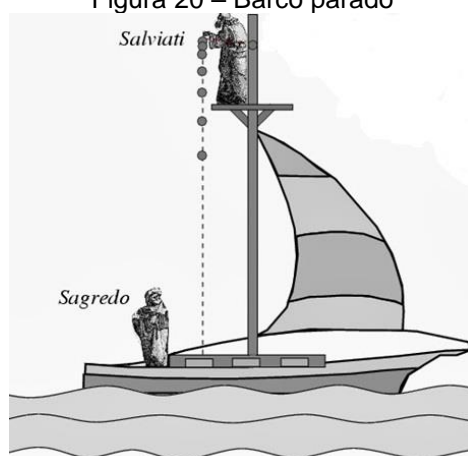
Fonte: EDUCAÇÃO (2019)²⁷

Mulher na escada rolante Fato que permite discutir que a situação de estar parado ou em movimento depende do referencial com qual se observa: Uma pessoa pode estar mexendo-se e seu corpo não sair do lugar, como no exemplo de alguém caminhando na esteira de uma academia, do referencial ou do ponto de observação de alguém parado em relação a esteira; ou estar em movimento sem mexer o corpo, como no exemplo de todos da sala, que apesar de estarem sentados em suas respectivas carteiras, estão em movimento junto com a Terra, do referencial de alguém que observa nosso planeta transladar o Sol. Assim, o movimento depende do referencial, isto é, a percepção do movimento é *relativa*. Posteriormente, fez-se exposição dialogada sobre o desenho da trajetória de uma pedra ao cair do topo do mastro de um navio em duas situações, parado, conforme ilustrado na Figura 20 e em movimento, representado na Figura 21. Na primeira, apontou-se que tanto para o referencial de dentro do barco como fora dele – “na praia” – a pedra faria a mesma trajetória, retilínea e vertical, uma vez que o barco está em repouso. Depois de apontar esta situação, fez-se a seguinte questão para a turma:

Se a correnteza estivesse movimentando o barco para frente, a pedra cairia no mesmo lugar?

²⁷ EDUCAÇÃO e retrocesso social. [Sem título]. 2019. 1 GIF. Disponível em: <https://escolapt.wordpress.com/2019/12/13/educacao-e-retrocesso-social/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Figura 20 – Barco parado



Fonte: Ilustração adaptada pelo autor²⁸

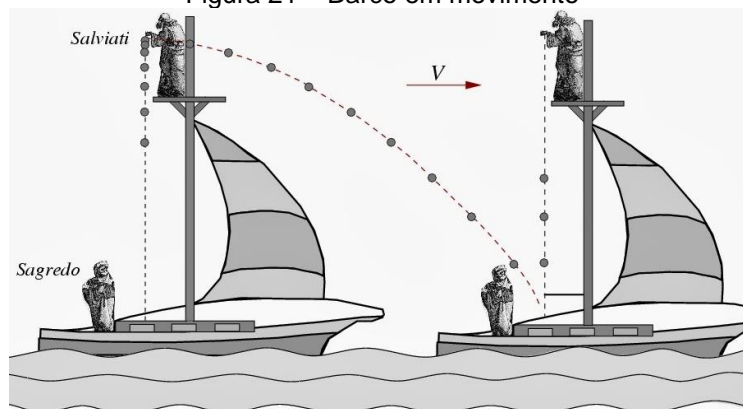
O objetivo foi identificar uma noção intuitiva dos estudantes sobre o conceito de inércia em situações reais como esta do barco.

Fez-se outra questão para discussão: se você soltar seu celular do teto da parte de dentro de um carro em movimento, ele cai onde?

Aqui, fez-se uma *negociação de significados* na direção de concluir que o movimento do carro não influi no local de queda do celular quando comparado com a situação do carro parado. Dessa forma, fazer uma devida e providencial comparação dessa situação com a da pedra caindo no barco em movimento.

Depois disso, na segunda situação, do barco em movimento, apontou-se que a trajetória não é mais retilínea e vertical quando se considera o referencial “da praia” (local de onde se observa o barco se movimentar), conforme apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Barco em movimento

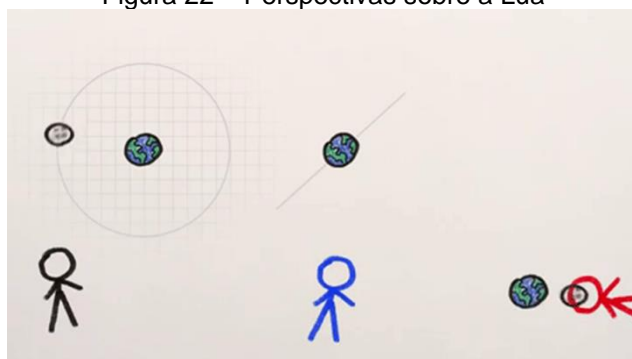


²⁸ Adaptada a partir de imagem coletada no site Reflexões e Ressonâncias. Disponível em: <http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

Fonte: Ilustração adaptada pelo autor²⁹

Utilizou-se do recurso didático *GIF*, representado na Figura 22, para questionar os estudantes qual é o desenho da trajetória em cada referencial que foi mostrado na tela. A intenção foi a de que os estudantes comecem a trabalhar com desenhos de trajetórias, que serão parte da tarefa de resolução de situações-problema das próximas aulas.

Figura 22 – Perspectivas sobre a Lua



Fonte: RELATIVIDADE (2018)³⁰

Nota: Esta é uma captura de tela de um GIF.

Discutiu-se novamente com os estudantes, em outra situação-problema proposta, a de uma bolinha que pula verticalmente para cima e para baixo, dentro de uma nave espacial em movimento, ilustrada por três *GIF* representando nas Figura 23, Figura 24 e Figura 25. Na primeira situação, com o referencial de dentro da nave (Figura 23), questionou-se aos estudantes:

Como é o desenho da trajetória da bolinha, do referencial da pessoa ao lado?

Figura 23 – Bola numa caixa



²⁹ Montagem a partir de imagem coletada no site Reflexões e Ressonâncias. Disponível em: <http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

³⁰ RELATIVIDADE 1. [Sem título]. 2018. 1 GIF. Disponível em: <https://showdafisica.quanta.org.br/2018/07/13/relatividade-1/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Fonte: DILATAÇÃO ([s.d.])³¹
Nota: Esta é uma captura de tela de um GIF.

Esperou-se que respondam uma trajetória vertical e retilínea.

Posteriormente, apresentou-se a situação de que a pessoa na verdade está numa nave espacial em movimento em relação à Terra. A Figura 24 representa a situação abordada. Diante disso, eles são novamente questionados ou incitados a pensar

Como é o desenho da trajetória da bolinha, do referencial da pessoa da Terra?

Figura 24 – Homem observa uma nave



Fonte: DILATAÇÃO ([s.d.])³²
Nota: Esta é uma captura de tela de um GIF.

Neste momento, as respostas dos estudantes foram discutidas até que cheguem à conclusão de que o desenho da trajetória da bolinha é retilíneo e diagonal para cima e para baixo, conforme ilustra o *GIF* representado pela Figura 25.

Figura 25 – Trajetória externa à nave



Fonte: DILATAÇÃO ([s.d.])³³
Nota: Esta é uma captura de tela de um GIF.

³¹ DILATAÇÃO do tempo e contração do espaço. [Sem título]. [s.d.]. 1 GIF. Disponível em: <https://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-restrita/>. Acesso em: 06 out. 2022.

³² Ibid.

³³ Ibid.

2.15.3.3 Atividade 1 em grupo

Por fim, foi solicitado que os estudantes se dividissem em grupos de 4 ou 5 pessoas, para fazerem uma atividade. Com os grupos feitos, foram entregues as situações-problema impressas para o grupo em uma folha (Apêndice B) e foi feita a orientação da necessidade de os membros dos grupos discutirem entre si antes de responderem, sendo importante a participação de todos.

São duas situações-problema. Uma foi sobre a comparação do movimento de uma mosca dentro de um carro com vidros fechados, em velocidade constante, do referencial de dentro e de fora do carro.

Questão 1- *Imagine que você está sentado sozinho no banco de trás dentro de um carro. O carro está estacionado com os vidros e portas completamente fechados. Você não consegue ouvir quase nada do lado de fora. De repente, você começa a ouvir um zumbido. Então você descobre duas coisas: a primeira, que é uma mosca; a segunda, que você não está mais só. Este agradável inseto está voando, sem pressa de ser feliz. Ele faz seu voo de trás de você até o vidro da frente do carro, do para-brisa.*

a) *Do seu referencial, o que você diria do movimento da mosca?*

b) *Imagine agora que o carro estivesse sendo dirigido por alguém a uma velocidade de 70 km/h, mas todas as outras situações são iguais: você no banco de trás, a trajetória da mosca, e os vidros e portas fechados de forma que não há nenhuma brisa dentro do carro. Comparando com a situação do carro parado, a mosca estaria com uma rapidez diferente por que o carro está em movimento, no seu referencial? Explique.*

c) *E para o referencial de quem está fora do carro, existe diferença da rapidez da mosca quando se compara a situação com o carro parado e em movimento? Explique.*

A outra situação-problema foi para desenhar duas trajetórias de um ioiô que está dentro de um carro em movimento. O primeiro desenho é do referencial de dentro do carro, e o segundo, de fora do carro (parado em relação a ele).

As respostas dadas nessa atividade em grupo foram consideradas e avaliadas para elaboração das próximas aulas.

2.15.4 Encontro 3

Neste encontro, fez-se discussões das respostas anteriores, apresentando um princípio geral que aquela situação seguiu (passo 4). Além disso, foi proposta uma desejável alteração do mapa conceitual, pois, através deste método, complementou-se a avaliação da UEPS. Utilizou-se de um aparato experimental com a plataforma Arduino. Aplicou-se uma atividade em grupo, com o propósito de fomentar o diálogo com os conhecimentos prévios e/ou funcionar como organizador prévio, conforme sugerido no passo 3.

2.15.4.1 Revisão e discutindo respostas da atividade em grupo

As atividades em grupo foram revisadas através dos conceitos trabalhados nas últimas aulas, naquelas situações-problema, agora dando nome aos conceitos envolvidos, através de exposição dialogada com auxílio de *slides* (conforme disponível no produto educacional, Apêndice J): O primeiro conceito é o que envolve uma pessoa “mexer o corpo”, mas não sai do lugar (andando no sentido contrário da escada rolante), ou não “mexer” o corpo e sair do lugar (os estudantes a bordo do planeta Terra); isto que foi trabalhado na última aula é o chamado *princípio da relatividade*, que é a impossibilidade de se saber se um objeto está parado ou em movimento – é preciso adotar um referencial a partir do qual se conclui tal situação.

O segundo conceito trabalhado foi o de *velocidade relativa*, fazendo referência a **questão 1** da atividade em grupo da última aula (4.2.3.3) sobre a mosca dentro do carro, utilizando o questionamento inicial:

A mosca dentro do carro em movimento tem qual velocidade?

Esperou-se que os estudantes respondessem que depende do referencial, e para os que não o fizeram discutiu-se suas respostas até que chegassem nesta conclusão.

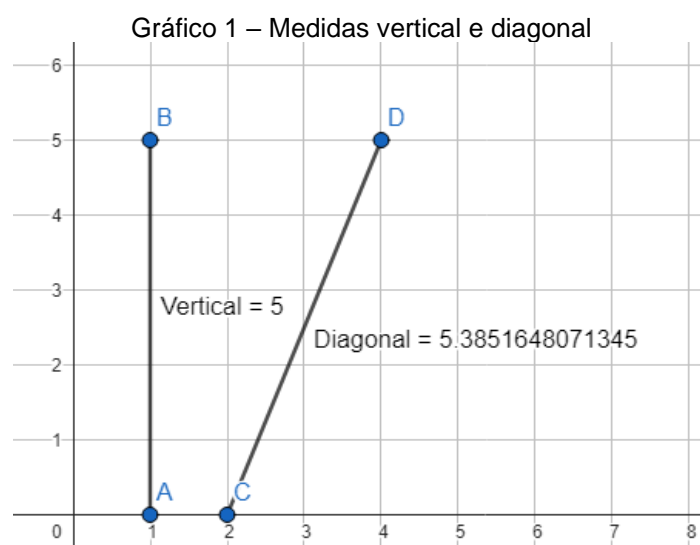
Em seguida, foi corrigida no quadro a **questão 2** (4.2.3.3) sobre o desenho da trajetória do ioiô em referenciais diferentes, perguntando o que responderam em cada item da pergunta antes de desenhar a resposta no quadro.

Questão 2- *O ioiô é um brinquedo que uma das formas de o jogar é lançá-lo para baixo, e ele fará um movimento de subida e descida, repetidamente.*

- a)** Desenhe abaixo de forma pontilhada como seria a trajetória desse ioiô, conforme foi descrito acima. Utilize setas, se necessário.
- b)** Agora imagine que a pessoa acima jogando ioiô está em um carro fechado em movimento. Desenhe abaixo a trajetória do ioiô, do referencial de alguém parado fora do carro. Use setas se necessário.
- c)** Se fosse para você medir, você diria que uma distância é diferente da outra? Comente sua resposta.

As respostas diferentes foram desenhadas no quadro e discutidas até se chegar na conclusão correta, através de *negociação de significados*.

No item **c**, foi verificado na atividade de grupo (conforme descrito no capítulo 5, Resultados e Discussões) que vários estudantes responderam que os tamanhos das trajetórias seriam iguais, mesmo visualizando desenhos diferentes, indicando ausência de noções geométricas básicas sobre distâncias, como a ilustrada no Gráfico 1.

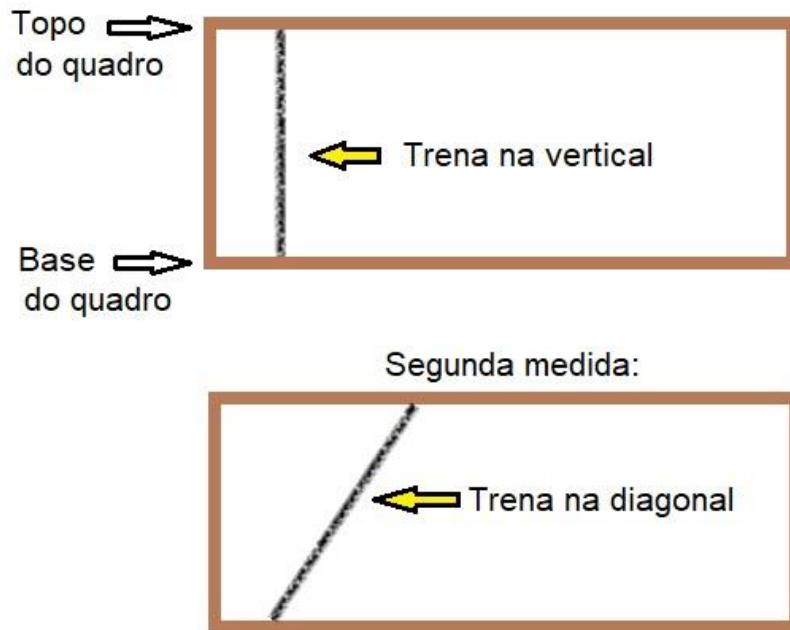


Fonte: Próprio autor³⁴

Por esse motivo, foi preparado uma simples experiência que busca superar essa dificuldade. Com o auxílio de uma trena, fez-se comparação de duas medidas da base até o topo do quadro, conforme ilustrada na Figura 26; a primeira é feita na vertical e a segunda na diagonal.

³⁴ Feito no site <https://www.geogebra.org/calculator>

Figura 26 – Medidas do quadro com trena
Primeira medida:



Fonte: Próprio autor³⁵

O objetivo é mostrar a medida diagonal é maior nessas condições e fazer analogia com os desenhos das trajetórias do ioiô da **questão 2**.

2.15.4.2 Alteração do mapa conceitual

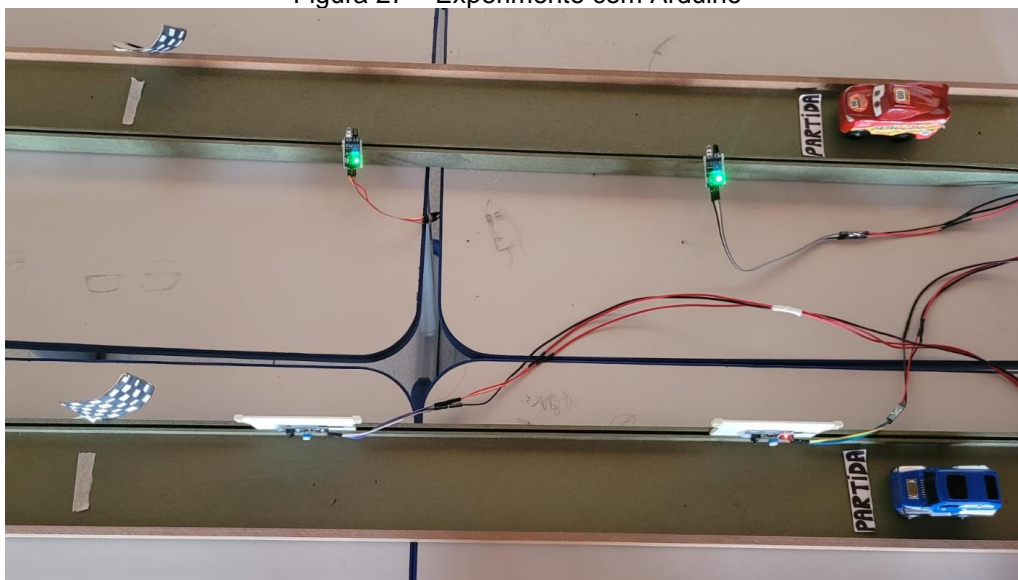
O mapa conceitual feito com a turma não foi terminado no mesmo momento da aplicação da atividade e desta forma, alterou-se parcialmente o cronograma e propôs-se que os estudantes completassem o mapa conceitual da última aula, com os mesmos grupos da última atividade em grupo, e se sentissem à vontade para retirar conceitos que eles sentissem ou observassem que não fizessem m sentido e/ou acrescentassem novos conceitos que acharem mais adequados ou pertinentes. Esta parte foi importante, pois observou-se que a cada momento os estudantes mostraram mais segurança diante das situações-problema propostas.

³⁵ Feito no aplicativo Paint

2.15.4.3 O Experimento com Arduino

O aparato experimental apresentado na Figura 27 possui a seguinte estrutura: dois carrinhos de brinquedo com motor elétrico (carro vermelho e carro azul), cada um em cima da sua própria pista, que estão em posições paralelas; em cada pista, há uma chegada e dois sensores de movimento associados ao Arduino, com o qual se calcula as velocidades de cada carrinho. O cálculo das medidas é projetado na TV da sala em tempo real. No Apêndice J, no material de apoio do produto educacional, mostra-se a montagem do aparato experimental.

Figura 27 – Experimento com Arduino



Fonte: Próprio autor

Antes da execução do experimento, retomando a **questão 3** do questionário de sondagem (Apêndice A), visto que todos demonstraram conhecer radares de velocidade nas respostas, este pareceu um bom caminho para se conectar com conhecimento prévios dos estudantes. Assim, foram perguntados:

Como funciona o radar de velocidade nas rodovias?

As possíveis respostas dos estudantes devem ser discutidas na direção da resposta correta: Os radares de velocidade nas pistas³⁶ funcionam de forma semelhante ao experimento. A saber, se mede quanto tempo um veículo demorou para passar entre

³⁶ MATTEDE, Henrique. Como funciona um radar de velocidade?. *Mundo da elétrica*, [20--]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-radar-de-velocidade/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

o primeiro sensor e o posterior; a partir daí, utilizando a já conhecida distância entre os sensores, se calcula a velocidade através da equação de velocidade média – ou seja, a velocidade é em quanto tempo o veículo passa pela distância entre os sensores.

Então, utilizou-se apenas um carrinho do experimento, a fim de demonstrar a medida da velocidade, tal como faz o radar de velocidade das rodovias.

Em seguida, foi solicitado que algum voluntário da turma utilizasse o segundo carrinho, participando de uma espécie de corrida entre eles. A única função dos participantes é “soltar” o carrinho ligado no momento certo do início da disputa, o que vai definir a velocidade é o desempenho do motor de cada veículo. Como são brinquedos de mesma origem, com baterias em estados semelhantes, possuíam aproximadamente a mesma velocidade, de forma que o resultado foi empate.

Iniciou-se então uma segunda disputa, com quase tudo igual, exceto pela pista de um dos carrinhos que terá a linha de chegada mais distante do que a do outro. Os carrinhos partiram simultaneamente de pontos paralelos (*evento 1*), os pontos de largada, com mesmas velocidades. Portanto, cada carrinho alcançou o ponto de chegada (*evento 2*) em momentos diferentes. Assim, um dos carrinhos saiu vencedor.

O objetivo desse experimento foi preparar o *modelo mental* dos estudantes para, em aula futura, fazer uma metáfora com a qual se entenda a *contração do espaço* da Teoria da Relatividade Restrita. Na metáfora, associa-se os tamanhos das pistas com os tamanhos das trajetórias de eventos vistos de diferentes referenciais inerciais; e associa-se o carrinho em uma (outra) pista com o objeto em um (outro) referencial. A forma como foi realizado este procedimento está descrito na seção 4.2.7, neste capítulo.

2.15.4.4 Atividade 2 em grupo

Nesta etapa, retomou-se as discussões dos grupos do encontro 3 com as avaliações das atividades propostas (Apêndice C). Foi feita a orientação de que cada um dos membros dos grupos discutisse entre si antes de responderem as atividades, incentivando a participação de todos.

A atividade é composta por duas partes. Na primeira (**questões 1 e 2**), são perguntas abertas sobre o experimento com Arduíno.

Questão 2- Em relação a segunda corrida de carrinhos:

a) Qual foi o resultado da disputa?

- b)** *O que fez esse resultado acontecer e não outro diferente?*
- c)** *Foi uma disputa justa? Explique.*
- d)** *Considerando que você esteja proibido de modificar o tamanho das pistas, o que o carrinho perdedor teria que fazer para ganhar a corrida?*

Dentre estas questões, o item **d** da **questão 2**, é uma situação-problema na qual esperou-se que os estudantes respondam que é preciso alterar a velocidade de um dos carrinhos, ou, em algum nível, permitindo concluir, após as devidas discussões, que devido ao *espaço ser fixo*, a alteração da velocidade poderá tornar os *eventos simultâneos* na saída e chegada.

Essa situação teve por objetivo preparar o *modelo mental* dos estudantes em relação à parte inicial da metáfora, conforme citada anteriormente. Trata-se da interpretação do conceito de movimento para Física Clássica, segundo o qual as mudanças de referencial inercial produzem alterações nos valores de algumas grandezas, que são resolvidas com a introdução de velocidade relativa, com o espaço e o tempo absolutos, conforme está descrito em mais detalhes no capítulo 3, *Movimento – da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade Restrita*. Nesta metáfora, o *espaço fixo* explorados no experimento representa o conceito de *espaço absoluto* na Física Clássica.

Na segunda parte da atividade em grupo apresentou-se outra situação-problema.

Questão 3- *Anteriormente, vimos que a trajetória de um mesmo acontecimento pode ser de tamanhos diferentes a depender do referencial, como na imagem abaixo (Figura 21), que mostra a queda de uma pedra em um barco em movimento:*

Nesse acontecimento, a pedra sai da mão de Salviati no mesmo instante, tanto do referencial da praia como do barco. E, em ambos os referenciais, a pedra cai aos pés de Sagredo (no convés) no mesmo instante, apesar das trajetórias terem sido diferentes.

- a)** *Em qual referencial a trajetória da pedra foi maior? Por quê?*
- b)** *Como uma trajetória é maior que a outra, como você acha que é possível a pedra chegar no convés no mesmo instante, nos dois referenciais? Explique.*

O objetivo dessa situação-problema, no item **b** da **questão 3**, foi verificar se os estudantes já conseguem justificar a simultaneidade dos eventos com o conceito de

velocidade relativa, para que alguns subsídios dessa elaboração possam ser usados futuramente.

Todas as respostas e discussões advindas deste momento da aplicação da UEPS foram analisadas enquanto passo importante para subsidiarem as próximas etapas/aulas.

2.15.5 Encontro 4

Neste encontro, trabalhou-se o passo 4 da UEPS, contudo, ao avaliar as respostas dos estudantes nas atividades anteriores (conforme o capítulo 5, Resultados e Discussões), fez-se necessário trabalhar mais uma situação inicial para o conceito *inércia*, de acordo com o passo 3, para uma melhor *consolidação de conceitos*. Para isso, optou-se por utilizar um vídeo de um experimento. Destaca-se aqui que a cada passo e etapa da aplicação da UEPS realizou-se esta avaliação pontual e progressiva para melhor intervenção e diagnóstico da situação, com a perspectiva da obtenção de um resultado exitoso.

Seguindo, foram selecionados dois vídeos e uma simulação. Primeiro, a simulação para retomar o conceito de movimento relativo de uma forma mais geral (passo 4); em segundo, um vídeo de um experimento para explorar o conceito de inércia (passo 3); e depois, outro vídeo de uma simulação que aborda a relatividade das trajetórias, envolvendo os dois temas que foram trabalhados acima (passo 4). Para finalizar, foi aplicada uma atividade em grupo (passo 4).

2.15.5.1 Simulação expositiva – Movimento relativo

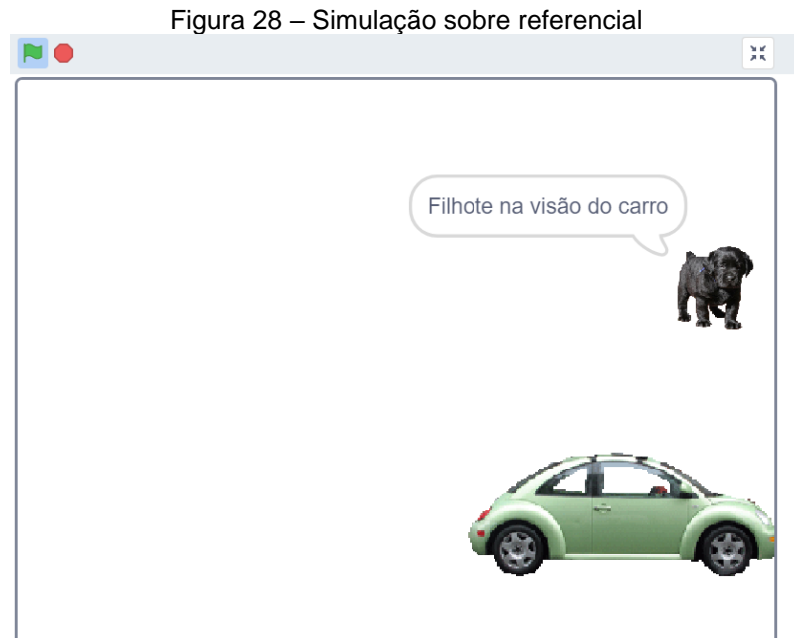
A simulação do Scratch³⁷ sobre movimento relativo, representado na Figura 28, mostra o movimento relativo de um cachorro a um referencial, que é do carro, e depois o contrário. A intenção é relembrar o assunto de referencial sob uma nova perspectiva, através da exibição dessa simulação.

Inicialmente, relembrou-se o conceito do princípio da relatividade com abordagem da ideia mais geral. Depois, executou-se a simulação, como forma de mostrar um exemplo

³⁷ Disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/168378029/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

da situação trabalhada, promovendo a diferenciação progressiva com questionamento à turma:

O que vocês observaram desta simulação?



Fonte: Captura de tela da Simulação³⁸

Foram discutidas as reações na seguinte direção: Esta simulação é interessante, pois comparado com a vida cotidiana, mostra apenas o cão e o carro, excluindo todos os demais elementos de contexto, a partir dos quais se poderia interpretar que o carro está movimentando de forma absoluta. O que seria um equívoco, uma vez que sempre se adota um referencial observar um movimento, mesmo que não se saiba que o está adotando.

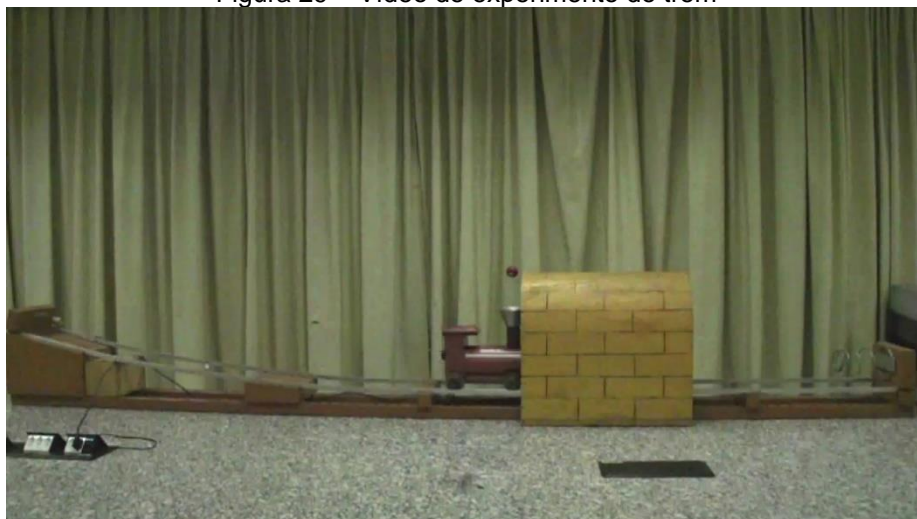
Optou-se por apresentar estes novos momentos, após a apresentação do experimento, pois os estudantes demonstraram imprecisões e dificuldades com relação a inércia.

³⁸ Simulação do site Scratch. Disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/168378029/>. Acesso em: 04 nov. 2022.

2.15.5.2 Vídeo – Experimento sobre inércia

O vídeo³⁹, do Laboratório Virtual do Instituto de Física da USP, utilizado para explorar o conceito de inércia é de um experimento no qual um trem em miniatura avança em direção a um pequeno túnel com velocidade aproximadamente constante. Uma captura do vídeo segue representado na Figura 29. Esse trem possui um mecanismo onde seria sua chaminé, com o qual se lança uma bolinha para cima, na direção vertical. Ao se aproximar da entrada do túnel, ele faz esse lançamento de forma que a bolinha sobe, sobrevoa o túnel e cai exatamente na mesma entrada da chaminé pela qual ela saiu, depois do túnel. Depois desse movimento reproduzido em velocidade normal, o vídeo dá sequência repetindo o mesmo movimento em velocidade lenta.

Figura 29 – Vídeo de experimento do trem



Fonte: Captura de tela do vídeo do experimento⁴⁰

Com o vídeo pausado no início, mostrou-se o trem e explicou-se o mecanismo do lançamento da bola a partir da chaminé. Esta breve exposição foi feita considerando o trem parado, o que significa dizer que o movimento da bola consiste em ir, na direção vertical, para cima e depois para baixo de volta à chaminé. Elucidado este ponto, acrescentou-se, então, um novo elemento: o trem em velocidade aproximadamente

³⁹ Disponível em: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.html>. Acesso em: 04 nov. 2022.

⁴⁰ MAIDANA, Nora Lía; VANIN, Vito R. *Velocidade Relativa: Trem*. [20--]. 1 vídeo. Disponível em: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.html>. Acesso em: 04 nov. 2022.

constante. Então se reproduz o vídeo até a eminência da bola ser lançada, quando se pausa novamente. E a turma é consultada:

O que vai acontecer com a bolinha nessa situação?

Aqui, o objetivo foi de trabalhar uma situação inicial sobre inércia, de modo acessível e problemático.

Pelas respostas anteriores em outras situações nas quais os estudantes apresentaram dificuldades em relação ao conceito de inércia esperou-se que os estudantes respondessem que a bola cairá no mesmo local do trilho onde foi lançada, antes do túnel. Estas discussões e análises estão no capítulo 5, Resultados e Discussões.

Após ouvir e organizar as possibilidades apresentadas pelos estudantes, reproduziu-se o vídeo de onde parou, até o seu final.

Então fez-se discussões com a turma em relação às suas respostas, evidenciando os pontos conflitantes, vide capítulo de Resultados e Discussões.

2.15.5.3 Vídeo – Simulação sobre trajetória relativa

O vídeo do YouTube⁴¹, do canal Física na Lixa, utilizado para trabalhar os desenhos de trajetórias sob diferentes referenciais é uma gravação de uma simulação. As Figura 30 e Figura 31 representam os desenhos das trajetórias discutidas a seguir. Ela consiste no lançamento de uma bola dentro de um ônibus em movimento. O lançamento é vertical e a bola deixa um rastro vermelho, desenhando, assim, sua trajetória. A depender do referencial escolhido na simulação, o desenho da trajetória será diferente.

O objetivo desse momento da aula é unir em uma única situação o que foi trabalhado na primeira simulação (movimento relativo) e no vídeo anterior (inércia), com foco em como deve ser o desenho das trajetórias em situações de movimento relativo de lançamentos.

Na primeira parte do vídeo, mostrada na Figura 30, está escolhido o referencial externo ao ônibus, parado em relação a ele. Nesta configuração, vê-se o desenho da trajetória da bola se movimentando em relação à Terra, uma parábola.

⁴¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kk8xk8COODI>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Figura 30 – Vídeo da simulação do lançamento no ônibus 1



Fonte: Captura de tela do vídeo do Youtube⁴²

Foram traçados paralelos dessa situação com a do vídeo do trem (4.2.5.2), para promover a *reconciliação integrativa*. Em ambos os vídeos, têm-se lançamentos verticais com as respectivas bolas acompanhando o veículo, mesmo sem conexões físicas entre os dois.

Na segunda parte do vídeo, a que está representada na Figura 31, está escolhido o referencial interno ao ônibus e em movimento com ele. Nesta configuração, vê-se o desenho da trajetória da bola movimentando-se em relação ao ônibus, que é o um segmento de reta vertical.

Também foram feitos paralelos dessa situação com a primeira parte deste vídeo e a simulação feita no início da aula (4.2.5.1), para promover a *reconciliação integrativa*: O efeito da mudança de referencial, demonstrada na simulação, é representada nesse vídeo por meio dos diferentes desenhos das trajetórias de cada referencial.

⁴² FÍSICA na lixa. *Movimento Relativo - Relative Motion*. Youtube, 09 maio 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kk8xk8COODI>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Figura 31 - Vídeo da simulação do lançamento no ônibus 2



Fonte: Captura de tela do vídeo do Youtube⁴³

2.15.5.4 Atividade 3 em grupo

Por fim, pediu-se que os grupos da última aula fossem retomados para a entrega de novas atividades, impressas em uma folha e que segue no Apêndice D. Foi feita a orientação da necessidade de os membros dos grupos discutirem entre si antes de responderem, sendo importante a participação de todos.

A atividade tem duas partes. A primeira (**questões 1**) é uma nova situação-problema cuja resolução correta precisa passar pelos conceitos trabalhados nesta aula. É importante chamar atenção para que os estudantes desconsiderem os efeitos da resistência do ar nesta questão. Na *Figura 32* está representado uma ilustração para explorar o momento proposto desta aula.

Questão 1- Na imagem (*Figura 32*) abaixo está ilustrado uma pessoa em alto mar à espera de socorro. A ajuda vem na forma de um avião em alta velocidade. Da sua altitude, ele soltará uma boia para a pessoa.

⁴³ FÍSICA na lixa. *Movimento Relativo - Relative Motion*. Youtube, 09 maio 2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kk8xk8COODI>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Figura 32 – Avião sobrevoando náufrago



Fonte: Captura de tela do vídeo do Youtube⁴⁴

- a) Do referencial do piloto do avião, quem está em movimento?*
- b) E do referencial da pessoa em alto mar?*
- c) Considerando os conceitos que trabalhamos, em qual lugar o avião deve soltar a boia para que ela caia o mais perto possível da pessoa em alto mar?*
- d) Por que neste lugar e não em outro?*
- e) Desenhe abaixo a trajetória da queda da boia, no referencial do homem em alto mar.*
- f) Desenhe abaixo a trajetória da queda da boia, no referencial do piloto do avião.*

Uma das partes da metáfora (citada em 4.2.4.3) é associar os tamanhos das pistas, explorados pelo experimento de Arduino, com os tamanhos de trajetórias. Para dar suporte a tal procedimento a segunda parte desta atividade em grupo (**Questão 2**) teve por objetivo trabalhar os fundamentos da parte Clássica por metáfora, na qual o aumento da velocidade é sempre a solução conforme discutido no capítulo 3, *Movimento – da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade*.

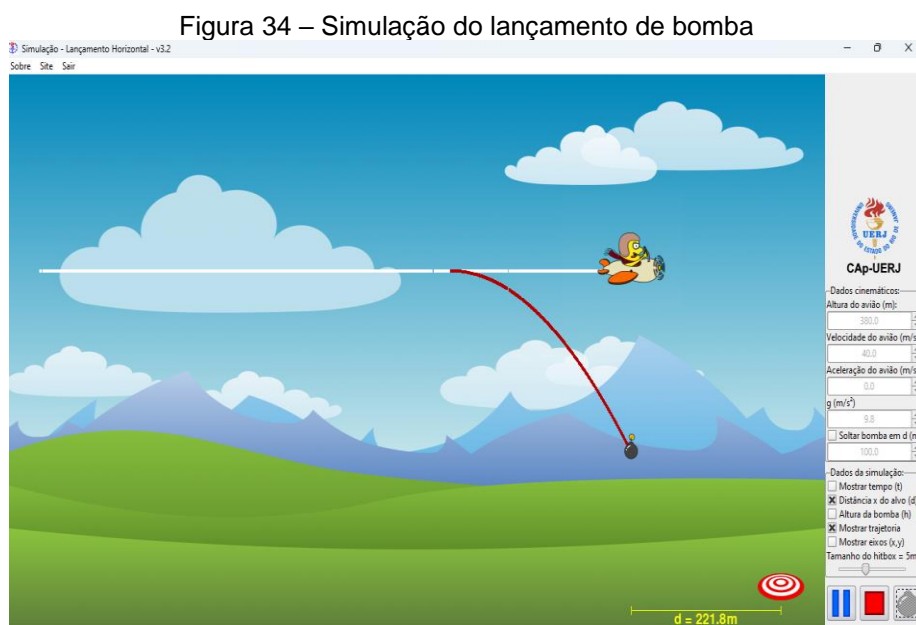
Questão 2- *Duas pessoas querem se encontrar no ponto B do mapa abaixo. As duas sairão de carro e querem chegar ao local no mesmo instante. Mas uma sairá do ponto A e a outra do ponto C. A Figura 33 representa a proposição dada na questão 2.*

⁴⁴ QUEMSABEFAZ. Cap.4 - Simulação de Trajetória de Queda. Youtube, 25 mar. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QxVUTCmksRA>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Quanto a correção dos itens **a** e **b** da mesma questão, fez-se de forma dialogada.

2.15.6.1 Simulação

A simulação interativa⁴⁶ sobre queda livre da SimFi CAP-UERJ, representada na Figura 34, é composta por um avião que pode soltar uma bomba, cujo objetivo é acertar no alvo. O avião voa na horizontal e se escolhe em qual momento se solta a bomba, acionando um comando da simulação. É possível alterar alguns parâmetros, como a altura, velocidade e aceleração do avião. Além disso, é possível escolher e exibir as trajetórias do avião e da bomba, a altura na qual está o avião, dentre outras opções.



Fonte: Captura de tela de uma simulação⁴⁷

Os estudantes foram informados sobre o funcionamento da simulação e que a bomba será solta quando pedirem, de forma que foram desafiados a conseguirem acertar o alvo, sem limite de tentativas definidas.

Durante as tentativas, alterou-se alguns parâmetros e fez-se as intervenções para os comentários dos pontos dos conceitos físicos relacionados ao lançamento, como descrito abaixo.

⁴⁶ Disponível em: <https://simfi.itch.io/lanamento-horizontal>. Acesso em: 10 nov. 2022.

⁴⁷ Simulação do site Simulações de Física para Sala de Aula. Disponível em: <https://simfi.itch.io/lanamento-horizontal>. Acesso em: 10 nov. 2022.

De início, ao se fazer o primeiro lançamento sem exibir a trajetória da bomba, destacou-se o fato de a bomba não cair no mesmo lugar que é solta. Fez-se, então, paralelo com a **questão 1** da atividade. O Apêndice D mostra a atividade proposta.

Em seguida, exibiu-se a trajetória da bomba e depois de algumas tentativas, aumentou-se a velocidade do avião. Os estudantes foram avisados sobre esta alteração. A partir desta alteração, destacou-se a forma que é alterada a trajetória da bomba em relação aos lançamentos anteriores. Posteriormente, comentou-se que a tendência da bomba é de acompanhar o movimento do avião quando ela começar a cair e que essa tendência é uma consequência do conceito de inércia.

2.15.7 Encontro 6

Neste encontro trabalhou-se situações em níveis mais altos de complexidade, de acordo com o passo 5 da UEPS, neste encontro trabalhou-se situações em níveis mais altos de complexidade. Fez-se metáforas entre uma questão trabalhada anteriormente com a Cinemática Clássica e entre o experimento com Arduino com a Cinemática Relativística. Com esta nova perspectiva, escolheu-se o contexto de várias situações-problema já trabalhadas, fazendo paralelos entre elas, promovendo a reconciliação integradora.

2.15.7.1 Experimento com a plataforma Arduino - Parte 2

Inicialmente foi executado parte do mesmo experimento com Arduino do encontro 3 (4.2.4.3): A corrida de dois carrinhos, com ajuda de algum estudante voluntário, com pistas iguais, velocidades iguais e que termina em empate. A segunda rodada da corrida, no entanto, se repete o experimento com uma das pistas maiores que a anterior, tendo como resultado a vitória de um dos carrinhos.

Se antes o objetivo do experimento com a plataforma Arduino era preparar o *modelo mental* dos estudantes para fazer a supracitada metáfora, agora, foi o de retomar esse modelo para dar início a ela.

Fez-se o mesmo questionamento da situação-problema da Atividade 2 em Grupo. O item **d** da questão **2**, Apêndice C, traz detalhes trabalhados nesta atividade apresentada aos estudantes, com o objetivo de se fazer correções de eventuais compreensões equivocadas:

Considerando que você esteja proibido de modificar o tamanho das pistas, o que o carrinho perdedor teria que fazer para ganhar a corrida?

Esperou-se que os estudantes respondessem que precisaria de uma alteração da velocidade do carro. Caso não fosse, debater-se-ia as respostas em direção à correta.

2.15.7.2 Exposição dialogada – O movimento na Cinemática Clássica

Nesta etapa, fez-se uma exposição dialogada com auxílio de *slides* (conforme disponível no produto educacional), sobre o conceito de movimento na Teoria Clássica.

Inicialmente, pontuou-se que os conceitos trabalhados até então foram vistos segundo a Teoria da Física Clássica, cujo principal nome é do Físico Inglês Isaac Newton.

Em seguida foi perguntado o que responderam na **questão 2** da Atividade 3 em Grupo (Apêndice D) e corrigido com auxílio de horários de relógio. A Figura 35 mostra um mapa com relógio explorado nesta atividade. Ao lado dos pontos, estão os horários nos quais se estava neles.

Figura 35 - Mapa com relógio



Fonte: Ilustração adaptada pelo autor⁴⁸

Nesta nova abordagem da **questão 2**, as questões dirigidas (itens **a** e **b**) aos estudantes, a partir da Figura 35, foram são as seguintes:

⁴⁸ Adaptada a partir de imagem coletada no site Gazeta Digital. Disponível em: <https://www.gazetadigital.com.br/sites/enem/2018/Fasciculo03.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2022.

Uma pessoa sai do ponto **A** e outra do ponto **C**, ambas às 11:30hrs. Elas querem chegar juntas no ponto **B** às 11:45hrs. Elas não vão parar em nenhum momento. Qual trajeto é maior, da pessoa **A** ou **C**? O que a pessoa que sai do ponto **C** precisa fazer para que isso aconteça?

Esperou-se, pelas respostas que deram na atividade de grupo 3 (vide capítulo 5, de Resultados e Discussões), que concluíssem que para se encontrarem simultaneamente no ponto **B**, a pessoa de **C** precisa possuir uma velocidade maior que a de **A**.

Após essa conclusão, apontou-se a semelhança dessa solução com a dada pelos estudantes no experimento com a plataforma Arduino (4.2.7.1), isto é, em ambos os casos, visto que um caminho é maior que o outro, houve necessidade de aumentar a velocidade de um dos objetos.

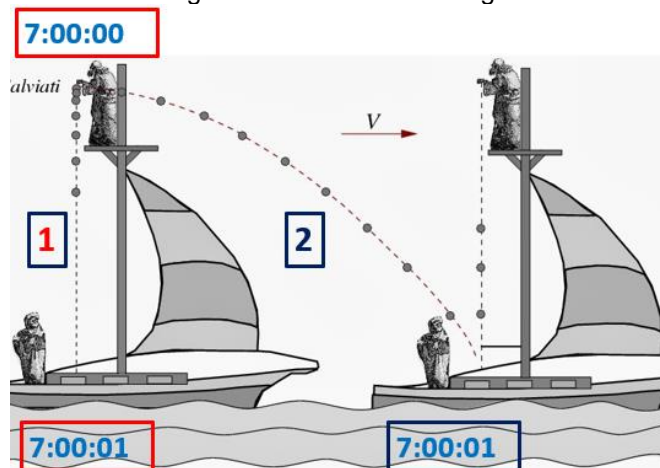
A intenção de utilizar essa situação-problema junto com o experimento é de buscar estabelecer conexão com os *subsunçores* dos estudantes, ou ainda que sirva de *organizador prévio*.

Em seguida, foi colocada uma série de situações trabalhadas anteriormente, mas agora em um nível maior de complexidade. Se antes elas foram utilizadas na definição do desenho das trajetórias ou para se comparar aos seus tamanhos em diferentes referenciais, agora, foram trabalhadas buscando-se diferenciação para velocidade em cada referencial.

As figuras destas situações ganham um novo modelo visual que foi usado a partir desse ponto da UEPS, para facilitar as explicações, colocou-se um padrão de cores. Assim, a cor vermelha representa um referencial (**referencial 1**) e a cor azul marinho, outro (**referencial 2**). Os números **1** e **2** estão nas figuras representando os seus referenciais, ao lado das suas respectivas trajetórias. Os relógios no **referencial 1** são rodeados por um quadrilátero com sua cor característica, o vermelho, e os relógios no **referencial 2**, com azul marinho. Eles marcam os horários (momentos do tempo) iniciais e finais de seus referenciais.

A primeira situação é a da questão 3, da atividade 2 em grupo (Apêndice C), na qual compara-se o lançamento de uma pedra do alto do mastro de um navio em movimento, do referencial do barco (**referencial 1**) e de outro parado em relação ao movimento dele (**referencial 2**), representada na Figura 36.

Figura 36 - Barco com relógio



Fonte: Adaptada pelo autor⁴⁹

Assim, após explicar o contexto dessa situação do barco, iniciou-se uma nova situação-problema da seguinte forma:

Imagine que a pessoa que está no **referencial 1** está monitorando o movimento da pedra com um relógio. Então ele registra que a pedra foi solta às 7:00:00hrs e chegou ao convés às 7:00:01hrs, um segundo depois. Agora imagine que outra pessoa no **referencial 2**, lá da praia, também esteja monitorando o movimento da pedra com um relógio. E ele também registra que a pedra foi solta às 7:00:00hrs – o relógio dos dois estão sincronizados. O **referencial 2** vai registrar que a pedra caiu em qual horário?

Esperou-se que a resposta a este problema seja que a pedra chegue também às 7:00:00hrs, como é intuitivo se imaginar.

Perguntou-se: A trajetória de qual referencial é maior?

Esperou-se que respondam a do **referencial 2**.

Assim, iniciou-se a metáfora apontando que, comparando a trajetória maior e horários iguais desses referenciais, isto significa que a velocidade da pedra no **referencial 2** tem que ser maior que no **1**; da mesma forma que, na situação anterior (Figura 35), o encontro só acontece em horários iguais porque a velocidade de uma das pessoas é maior.

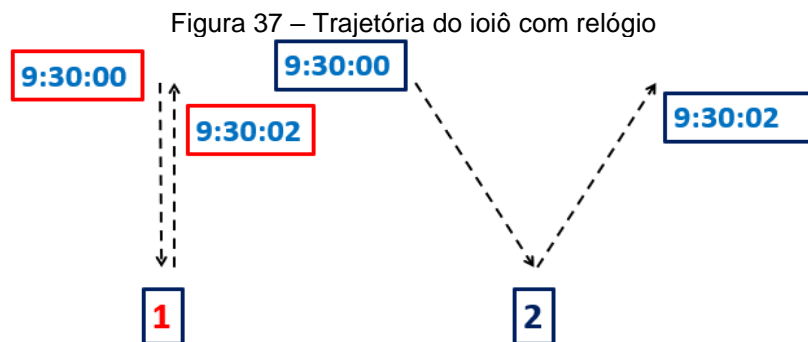
Em seguida, apresentou-se a segunda situação-problema, a da **questão 2**, da atividade 1 em grupo (Apêndice B), na qual comparou-se a trajetória do movimento de um

⁴⁹ Adaptada a partir de imagem coletada no site Reflexões e Ressonâncias. Disponível em: <http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

ioiô dentro de um carro em movimento, do referencial do carro (**referencial 1**) e de outro parado em relação ao movimento dele (**referencial 2**).

Então mostrou-se os desenhos das trajetórias, que estão representada na Figura 37 – os quais já haviam sido construídos pelos estudantes na atividade 1 em grupo (Apêndice B) – e elaborou-se a seguinte questão:

Novamente, imagine que há pessoas em cada referencial monitorando o movimento do ioiô (de descer e subir). Considere que ele é lançado às 9:30:00hrs e sobe novamente às 9:30:02hrs, dois segundos depois. A velocidade de qual referencial é maior? E por quê?

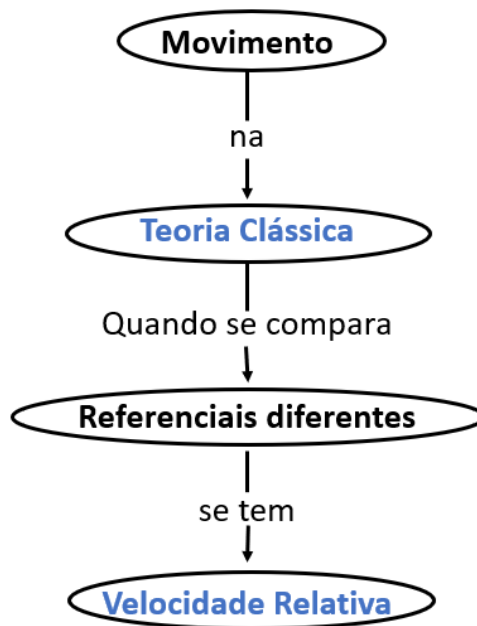


Fonte: Próprio autor.

Esperou-se que respondam a do **referencial 2**, pois sua trajetória é maior. Diante de possíveis respostas divergentes, há necessidade de discutir resgatando a metáfora feita com a situação do encontro, apresentado na Figura 35.

Relembrou-se então que a velocidade que depende do referencial chama-se *velocidade relativa*. Em seguida, mostrou-se um mapa mental sobre o movimento. Este mapa mental está representado na Figura 38. Comentou-se que quando se analisa este conceito, comparando-os aos diferentes referenciais inerciais (um em movimento em relação ao outro), sempre teremos como resultado uma velocidade relativa. Esta é sempre a resposta dada na teoria clássica. Associar uma situação específica dentro deste guarda-chuva, representado no mapa mental da Figura 38, é uma forma de promover a reconciliação integradora

Figura 38 – Mapa mental na teoria clássica



Fonte: Próprio autor

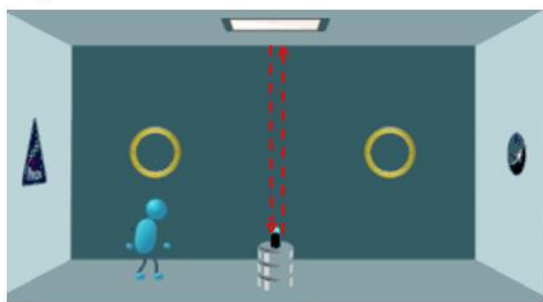
Posteriormente, apresentou-se a terceira situação-problema (conforme disponível no produto educacional), na qual compara-se a trajetória do movimento de uma bola dentro de uma nave em movimento, do referencial da nave (**referencial 1**) e de outro parado em relação ao movimento dela (**referencial 2**).

Então mostrou-se os desenhos das trajetórias. Na Figura 39 está representada as trajetórias da bola em diferentes referencias. Foi apresentado a questão, com a denominação da grandeza.

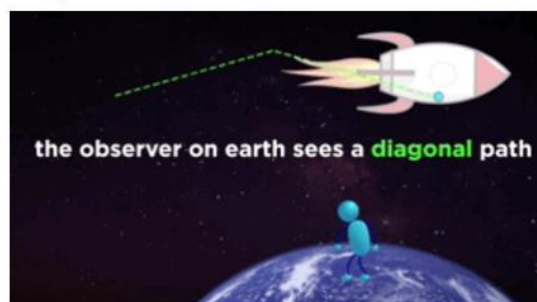
Qual *velocidade relativa* é maior? Por quê?

Figura 39 – Trajetórias da bola na nave em diferentes referenciais

Trajétória no referencial de dentro da nave:

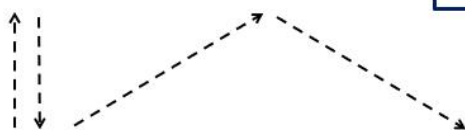


Trajétória no referencial de fora da nave:



1

2



Fonte: Montagem do autor⁵⁰

Esperou-se que os estudantes respondessem que é a velocidade do **referencial 2**, pois a trajetória é maior neste referencial. Caso a resposta fosse muito divergente, haveria necessidade de efetuar a negociação de significados.

Mostrou-se novamente o mapa mental da Figura 38, agora com a mesma leitura do mapa nesta nova situação, que é o resultado da Teoria Clássica, promovendo a reconciliação integradora.

Em seguida, apresentou-se a terceira situação-problema (**questão 1**, atividade 1 em grupo, Apêndice B), na qual compara-se a velocidade de uma bola dentro de um carro em movimento, do referencial do carro (**referencial 1**) e de outro parado em relação ao movimento dele (**referencial 2**).

Então mostrou-se os desenhos das trajetórias da mosca em cada referencial. Esta trajetória está representada na Figura 40. E fez-se a seguinte pergunta:

A velocidade da mosca no **referencial 1** é igual à do **referencial 2**? Por quê?

⁵⁰ Montagem com imagens retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-restrita/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Figura 40 – Trajetória da mosca em diferentes referenciais
Referencial de dentro do carro:



Referencial de fora do carro:



Fonte: Montagem do autor⁵¹

Esperou-se que respondam que não, pois a trajetória no **referencial 2** é maior.

Mais uma vez, apontou-se para o mapa mental (Figura 38), fazendo a sua leitura sobre esta nova situação, como consequência da Teoria Clássica, mais uma vez, promovendo a conciliação integradora.

Para finalizar esta etapa, comentou-se que nem tudo depende do referencial. Apesar de que, como foi visto, algumas variáveis físicas dependem do referencial, como a velocidade e a trajetória. Mas outras variáveis ficaram imutáveis nas situações vistas, como o tempo e o acontecimento dos eventos.

Eventos como a mosca sair do fundo do carro e chegar à sua frente (Figura 40) aconteceram nos dois referenciais. O ioiô sair da mão e voltar até ela são eventos que também não foram modificados quando se muda o referencial.

E complementando, os estudantes foram desafiados sobre a situação da queda da pedra a partir do topo do mastro do navio em movimento (Figura 36): Quais são os dois eventos nesta situação?

Esperou-se que respondam a soltura da pedra e sua queda no convés.

⁵¹ Montagem com imagens retiradas do site PrePara ENEM. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/aceleracao-escalar-media.htm>. Acessado em: 06 out. 2022.

2.15.7.3 Experimento e exposição dialogada – Movimento para Física Relativística

Neste terceiro momento, fez-se uma exposição dialogada com auxílio de *slides* (conforme disponível no produto educacional), sobre o conceito de movimento numa perspectiva introdutória da Teoria Relativística.

A partir da configuração do experimento com Arduino que estava visível na sala, para ser explorado, observou-se que uma pista estava maior (uma linha de chegada mais distante) que a outra, iniciou-se com seguinte questão:

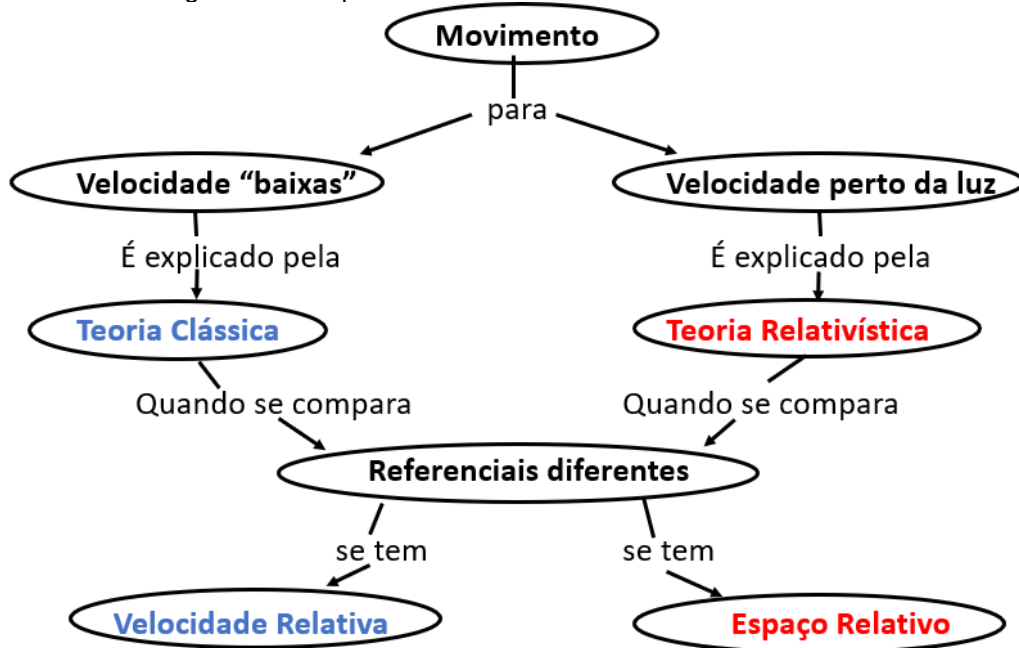
Considerando que você esteja proibido de modificar a velocidade dos carrinhos, mas que você pudesse modificar o local da linha de chegada. O que teria que acontecer para ambos atravessarem a linha de chegada ao mesmo tempo?

Esperou-se que os estudantes respondam que recuaria a linha de chegada mais distante, ou em alguma medida, que cheguem à conclusão de que, diante da impossibilidade de alteração da velocidade, a única solução é a redução da pista.

A intenção dessa questão foi trabalhar a base da parte relativística da metáfora (que foi feita mais adiante nesta aula), na qual a diminuição de uma das pistas de corrida é associada à contração do espaço, que ocorre como consequência da impossibilidade de se ultrapassar a velocidade luz.

Comparou-se a perspectiva sobre o conceito de *movimento* da Teoria Clássica (TC) com a Teoria Relativística (TR) utilizando um mapa mental, que segue representado na Figura 41. Comentou-se que, apesar da TC ter sido superada pela TR, ela ainda é funcional para velocidades “baixas” (menores que 10% da velocidade da luz). Assim, na perspectiva da TC, comparando referenciais inerciais diferentes, sempre se tem como resultado uma velocidade relativa. No entanto, para velocidades próximas da velocidade da luz, a TR diz que se tem como resultado um espaço relativo.

Figura 41 – Mapa mental teoria clássica e teoria relativística



Fonte: Próprio autor.

Esclareceu-se em referência às respostas equivocadas dadas na **questão 5**, do questionário de sondagem (vide capítulo 5, de Resultados e Discussões), que a luz é o objeto mais rápido que existe, chegando a mais de 1.000.000 km/h. Observar objetos próximos dessa velocidade é uma situação incomum para os seres humanos, de forma que, por esse motivo, não se percebe os efeitos do *espaço relativo* no nosso cotidiano.

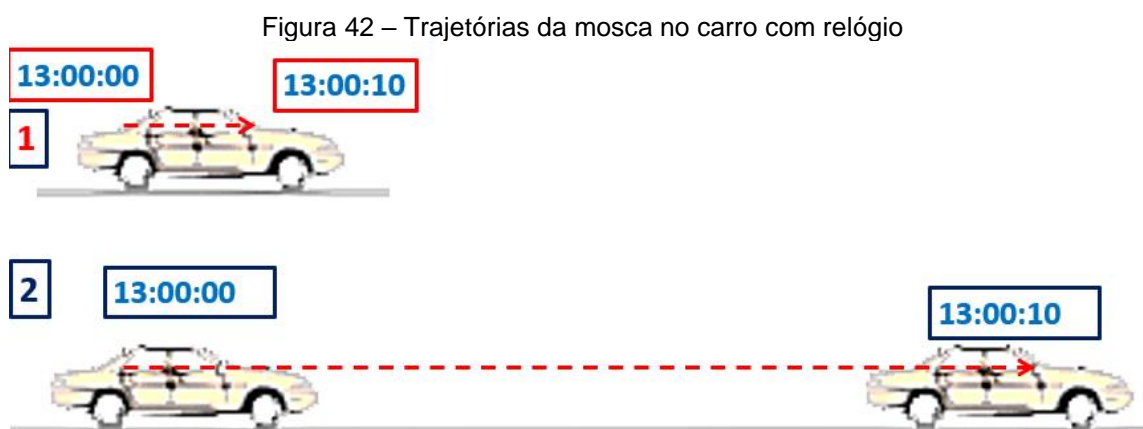
Em seguida, apontou-se o seguinte paralelo: Assim como a velocidade relativa é a velocidade que depende do referencial, o espaço relativo é o espaço que depende do referencial. Se um referencial estiver próximo da velocidade da luz, o espaço terá seu tamanho contraído. Mas cuidado, ao contrário do que possa parecer, o *espaço* não é uma sala onde ficam os objetos, e sim, o lugar onde fica a sala. Dessa forma, se você utilizasse uma régua de 30 cm para fazer uma medida de um objeto de 5 cm num espaço contraído, ele continuaria medindo 5 cm, porque a própria régua está sendo contraída também!

Apontou-se um quesito essencial:

Mas afinal, o que diz a teoria relativística de Albert Einstein? Ele trabalhou com a seguinte ideia: A natureza não permite que se ultrapasse a velocidade da luz. Na prática, o que aconteceria na situação da mosca se o carro estivesse próximo da velocidade da luz?

Descreveu-se a situação-problema da mosca, já tratada anteriormente (Figura 40), agora com auxílio de relógios. A Figura 42 representa o movimento de uma mosca com

um relógio acoplado ao seu movimento: A mosca sai às 13:00:00hrs do fundo do carro e chega à sua frente às 13:00:10hrs, dez segundos depois. Comparando-se os referenciais de dentro do carro (**referencial 1**) e de fora dele (**referencial 2**), nota-se que a trajetória do **referencial 2** é maior. Para percorrer esse caminho maior e chegar no mesmo horário, segundo a Teoria Clássica, vocês disseram que a velocidade de um dos objetos é maior, não é isso? Mas agora, para teoria relativística, a velocidade do objeto está proibida de “ser maior”. O que acontece então? A natureza encontra a mesma solução que vocês encontraram na corrida dos carrinhos: contrai o espaço! A contração do espaço é consequência de não poder ultrapassar a velocidade da luz.



Fonte: Montagem do autor⁵²

Mostrou-se novamente o mapa mental com as visões clássica e relativística (Figura 41), agora mostrando a sua leitura nesta situação, buscando acomodar este contexto específico neste novo mapa mental, i.e., buscando reconciliação integrativa.

Por fim, trouxe-se um exemplo real de contração do espaço: Os Múons são partículas criadas por raios cósmicos em contato com nossa atmosfera, a 15 km de altitude. A Figura 43 representa estas partículas Múons quando entram na atmosfera. Mesmo com uma velocidade de 99,98% da velocidade da luz, elas deveriam sumir⁵³ antes de chegar ao solo, porque possuem um tempo médio de vida muito curto, 0,0000022 segundos.

⁵² Montagem com imagens retiradas do site PrePara ENEM. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/aceleracao-escalar-media.htm>. Acessado em: 06 out. 2022.

⁵³ Na realidade, nem todos deveriam sumir, já que se trata de uma média. O fato é que não deveria ser encontrado tantos na superfície, se a Mecânica Newtoniana estivesse certa.

Figura 43 – Múons na atmosfera



Fonte: A vida (2011)⁵⁴

Mas elas são encontradas em grandes quantidades na superfície terrestre. Somente a teoria relativística consegue explicar isso: A distância de 15 km foi contraída porque os Múons estavam próximos da velocidade da luz.

Então, recapitulou-se o mapa mental da Figura 41, apontando mais uma vez a visão geral, promovendo reconciliação integradora.

2.15.7.4 Atividade 4 em grupo

Por fim, pediu-se que formem grupos de 4 a 5 pessoas, para que sejam entregues atividades, impressas em uma folha (Apêndice E). Foi feita a orientação da necessidade de os membros dos grupos discutirem entre si antes de responderem, sendo importante a participação de todos.

Na atividade, são três questões abertas, sendo que a última, **questão 3**, é uma nova situação-problema cuja resolução correta precisa utilizar conceitos da teoria da relatividade trabalhadas em aula.

Questão 1 - Nas suas palavras, o que significa Velocidade Relativa?

Questão 2 - Nas suas palavras, o que significa Espaço Relativo?

Questão 3 - Imagine uma nave espacial que está com uma velocidade muito próxima da velocidade da luz. E ela quer destruir um disco voador a sua frente com míssil veloz.

⁵⁴ A VIDA do Múon. [Sem título]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/2RelatividadeEspecial/2Avidadomuon/Avidadomuon.html>. Acessado em: 24 nov. 2022.

Já que segundo a Teoria Relativística de Einstein, nenhum objeto pode ultrapassar a velocidade da luz, o que vai acontecer com o movimento do míssil do seu referencial?

As respostas dadas nesta atividade foram analisadas para a elaboração da próxima aula.

2.15.8 Encontro 7

Neste encontro, discutiu-se as respostas da última atividade, conforme representado no Apêndice E, para finalizar o passo 5, ao mesmo tempo que se utilizou uma situação-problema para trabalhar o passo 6, e finalizou-se com uma nova atividade em grupo.

De início, fez-se a observação de que o *princípio da relatividade* utilizado até aqui, no qual todo movimento depende de um referencial, se refere sempre a *referenciais inerciais*, isto é, aqueles que estão parados ou em velocidade constante em relação ao objeto de interesse.

Como não foi objetivo dessa UEPS trabalhar *referencias não inerciais*, optou-se por esse não detalhamento sobre os tipos de referenciais durante as aulas, restringindo a esta observação.

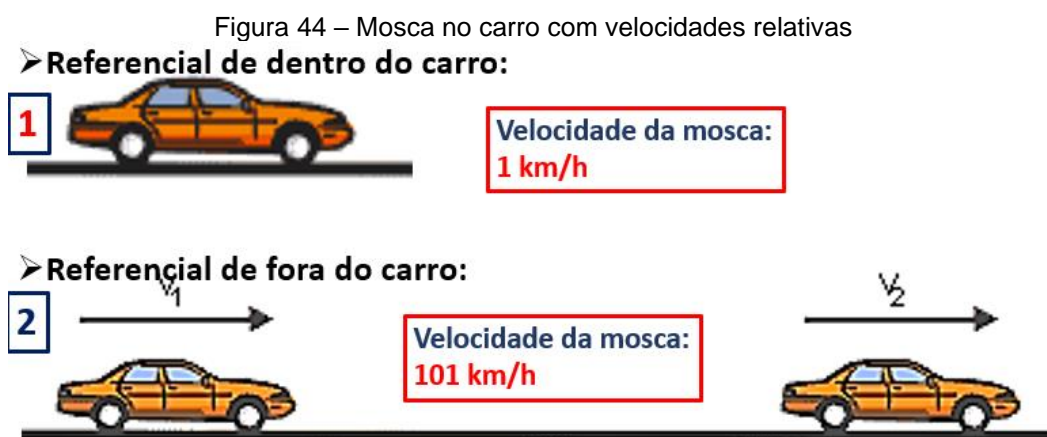
2.15.8.1 Correção de atividade

Discutiu-se as respostas da **questão 1 e 2**, da atividade 4 em grupo (Apêndice E), de forma a partir da definição geral do conceito até exemplificá-lo numa situação-problema, ou seja, promovendo a diferenciação progressiva, e assim dar início ao passo 6.

Antes, foi questionado sobre as repostas em cada questão, com o objetivo de promover uma interação com este momento da aula. Na correção da **questão 1**, sobre o significado de velocidade relativa, utilizou-se o contexto da situação-problema da mosca no carro (**Questão 1**, Apêndice B):

A velocidade relativa é uma velocidade que depende do referencial. Então digamos que, nessa situação, representada na Figura 44, em que uma mosca esteja voando com uma velocidade de 1 km/h, medida do referencial de dentro do carro. Mas esse carro está em movimento, digamos a 100 km/h. Então se fosse possível alguém medir a velocidade

da mosca (apenas) do referencial de fora do carro, ela teria a velocidade dela junto com a do carro, ela estaria a 101 km/h, neste referencial. A mosca, portanto, possui velocidades diferentes a depender do referencial que se mede.



Fonte: Montagem do autor⁵⁵

Na correção da **questão 2**, sobre o significado de espaço relativo, utilizou-se o mesmo contexto anterior, partindo da definição geral para a situação específica (diferenciação progressiva), ao mesmo tempo que apontando diferenças e semelhanças entre as perspectivas (reconciliação integrativa):

Assim como a velocidade relativa é uma velocidade que se altera a depender do referencial, o espaço relativo é um espaço que se altera a depender do referencial. Nesta mesma situação, imagine que o carro esteja na velocidade da luz. Então, não se pode somar a velocidade da mosca com a do carro porque isso é proibido pela natureza. Então o que vai acontecer?

Esperou-se a participação de algum estudante, com disposição para se explicar a situação novamente se necessário. Em seguida, foi feita a conclusão: Como consequência, o espaço contrai. A distância que a mosca percorre fica menor no **referencial 2**.

Em seguida, mostrou-se novamente o mapa mental que compara o conceito de *movimento* da Teoria Clássica (TC) e a Teoria Relativística (TR) (Figura 41).

⁵⁵ Montagem com imagens retiradas do site PrePara ENEM. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/aceleracao-escalar-media.htm>. Acessado em: 06 out. 2022.

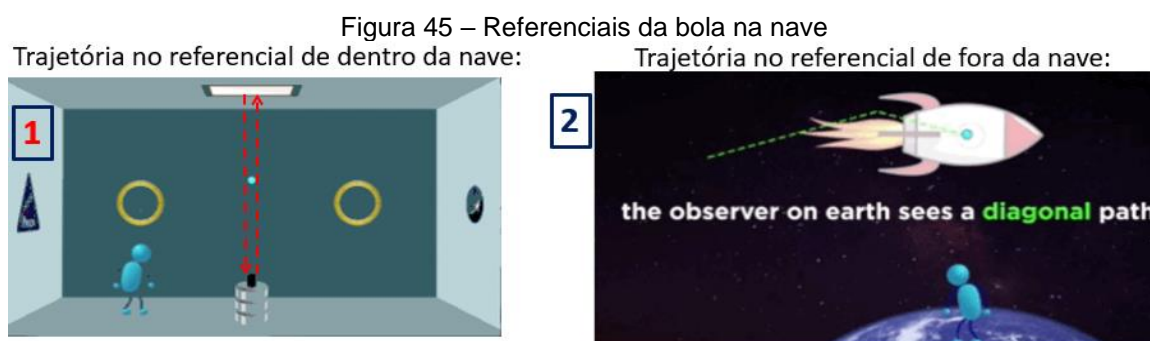
O objetivo foi contribuir para a organização do *modelo mental* dos estudantes, associando a velocidade relativa com a teoria clássica, e o espaço relativo, com a teoria relativística.

Na correção da **questão 3**, da situação-problema do míssil lançado de uma nave que está com velocidade próxima à da luz na perspectiva da teoria relativística, também foram analisadas as respostas.

Esperou-se que respondam que o espaço será contraído, uma vez que não é possível ultrapassar a velocidade da luz. Com disposição para, se diferente disso, a resposta ser discutida, negociando significados, com o auxílio da situação vista anteriormente da mosca no carro com velocidade da luz.

2.15.8.2 Situação-problema – A Física Clássica e a Relativística

Em seguida, foram apresentadas duas situações-problema, já trabalhadas em sala, agora comparando a visão da Física Clássica e da Teoria da Relatividade Restrita sobre elas. A Figura 45 mostra diferentes trajetórias para análise desta situação-problema: A primeira delas é do homem numa nave em movimento que observa o lançamento de uma bola verticalmente. No referencial dele (**referencial 1**) comparado com um referencial externo à nave (**referencial 2**).



Fonte: Montagem do autor⁵⁶

Depois de contextualizar a situação, a turma foi questionada:

Para a Teoria Clássica, qual velocidade relativa é maior? Do **referencial 1** ou do **2**?

⁵⁶ Montagem com imagens retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/relatividade-restrita/relatividade-restrita/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Esperou-se que respondam que a do **referencial 2**, seja porque a trajetória é maior ou porque a velocidade da nave é agregada ao movimento da bola. Respostas diferentes, seriam discutidas.

A fim de comparar esta mesma situação com a perspectiva relativística, os estudantes foram questionados:

Imagine que a nave está viajando próxima da velocidade da luz. Para a Teoria Relativística, o que acontece com o movimento no **referencial 2**?

Esperou-se que respondam que o espaço contrai, porque não se pode ultrapassar a velocidade da luz. Respostas diferentes seriam discutidas.

A segunda situação-problema é do movimento do ioiô dentro de um carro em movimento, conforme representado na Figura 37, visto no referencial interno ao carro (**referencial 1**) comparado com o referencial externo a ele (**referencial 2**).

Depois de contextualizar a situação para os estudantes, foram indagados sobre:

Para Teoria Clássica, o que ocorre no **referencial 2** comparado ao **referencial 1**?

Esperou-se que respondam que o ioiô possui uma velocidade maior no **referencial 2**, seja porque a trajetória é maior ou porque a velocidade do carro é somada ao movimento da bola.

A fim de também comparar esta mesma situação com a perspectiva relativística, uma nova questão foi feita:

Para a Teoria Relativística, o que acontece com o movimento no **referencial 2** (imaginando o carro próximo a velocidade da luz)?

Esperou-se que respondam que o espaço será contraído, devido a impossibilidade de se ultrapassar a velocidade da luz.

Finalizando este momento, promovendo a reconciliação integradora, mostrou-se aquele mapa mental que compara o conceito de *movimento* da Teoria Clássica (TC) e a Teoria Relativística (TR) (Figura 41), com o objetivo de que visualizem as situações trabalhadas dentro dessa perspectiva.

2.15.8.3 Atividade 5 em grupo

Por fim, entregou-se à última atividade em grupo. Esta segue detalhada no Apêndice F. Pediu-se que se formassem grupos de 4 a 5 pessoas. Esta atividade é composta por duas situações-problema, sendo a primeira a mesma que foi trabalhada na aula.

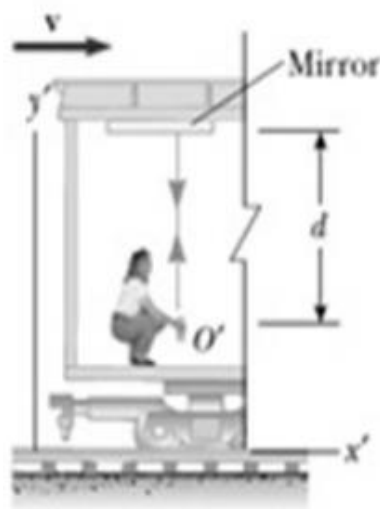
Questão 1- Na situação em que há uma mosca dentro do carro, a qual vai em baixa velocidade do fundo do carro até sua frente, vista dos dois referenciais abaixo (Figura 40). Segundo a Teoria Clássica, velocidade da mosca no referencial 1 é igual à do referencial 2? Por quê?

O objetivo foi que todos os estudantes compreendam a situação através da elaboração da resposta em grupo. As respostas dadas durante as aulas, por representarem uma pequena amostra, podem significar que apenas a “exceção” compreendeu e não a “regra”.

A segunda questão, cujo enunciado busca envolver os estudantes nela, é uma nova situação-problema a qual deve ser trabalhada na perspectiva clássica e relativística.

Questão 2- Imagine um super trem que viaja perto da velocidade da luz e que possui um espelho no teto. Está neste trem uma aluna do 1º ano B Vespertino do CERV e do lado de fora dele, um aluno da mesma turma. A estudante se agacha e acende uma lanterna apontando verticalmente para cima, em direção ao espelho, conforme a figura abaixo. A luz sai da lanterna, reflete e volta em direção à frente da lanterna. A Figura 46 representa a situação explorada nesta atividade.

Figura 46 – Luz no trem 1

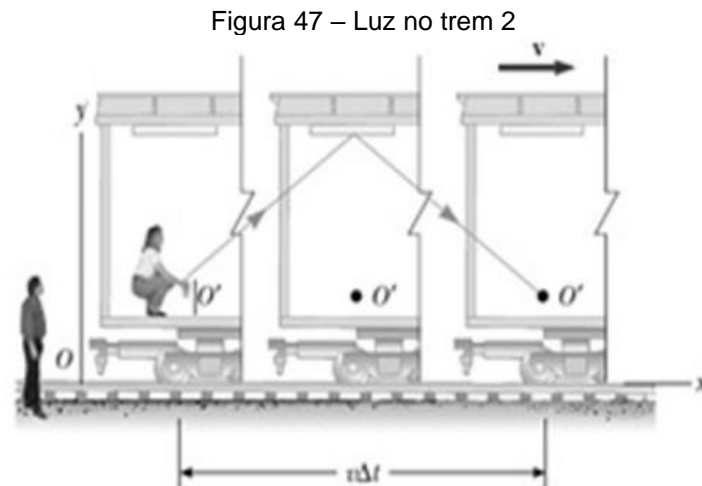


Fonte: Montagem do autor⁵⁷

⁵⁷ Montagem com imagens retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/8406103/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

O aluno que está do lado de fora do trem tem a habilidade mágica de observar a trajetória da luz através das paredes do trem.

Ele enxerga a seguinte trajetória, que segue representada na Figura 47.



Fonte: Montagem do autor⁵⁸

- Para a Teoria Clássica, o que acontece com o movimento no referencial do lado de fora do ônibus?
- Para a Teoria Relativística de Einstein, o que acontece com o movimento no referencial externo ao trem?
- Por que ocorrem os efeitos da Teoria Relativística de Einstein?

Depois de entregues, essas atividades foram corrigidas, comentadas por escrito em um momento extraclasse e devolvidas aos respectivos grupos.

2.15.9 Encontro 8

Neste encontro, aplicou-se as avaliações, conforme passo 7 da UEPS.

⁵⁸ Montagem com imagens retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/8406103/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

2.15.9.1 Avaliação somativa e avaliação da UEPS

Entregou-se as avaliações, a somativa desta UEPS cujos detalhes estão no Apêndice G, bem como a avaliação da UEPS, detalhada no Apêndice H. Estas avaliações foram entregues individualmente aos estudantes em um único arquivo dividido em duas seções, com ordem respectiva. Enfatizou-se que era mais importante que entregassem uma resposta elaborada com o conhecimento que possuíam, se preocupando menos se estava correta ou não. Na parte da avaliação da UEPS, foi ressaltado a importância do comprometimento de todos, sem prejuízo da correção da avaliação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, fez-se análise qualitativa dos resultados dos procedimentos didáticos metodológicos, de acordo com as perspectivas dos princípios da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa de Moreira (MOHR *et al.*, 2012), os quais possuem partes de teorias de autores diversos, vide capítulo do Referencial Teórico, capítulo 2.

Com a finalidade de preservar a identidade dos estudantes participantes da pesquisa, seus nomes foram trocados por E1, E2, E3, E4, ..., E36, e os grupos formados por eles foram representados por G1, G2, G3, ..., G12; sendo que, quando os grupos se reformulavam substancialmente, recebiam um novo número.

2.16 ENCONTRO 1

Nesta seção, apresenta-se e analisa-se as respostas do questionário de sondagem (APÊNDICE A) e do mapa conceitual coletivo, os quais fazem parte do passo 2 dessa Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.

2.16.1 Questionário de sondagem

Na **questão 1** do questionário de sondagem buscou-se identificar qual solução o estudante apresenta para uma situação em que é preciso chegar em uma posição do espaço com um tempo limitado e fixo, numa situação: *“Imagine que você está na sede da prefeitura de Anagé e possui pouco tempo para chegar até o seu colégio para a primeira aula, qual(is) estratégia(s) você usaria para não perder essa aula?”*.

A intenção é verificar se há subsunçores para dar suporte aos procedimentos metodológicos que se utiliza nessa UEPS, sobre o conceito de movimento na perspectiva da Mecânica Clássica (MC) e da Teoria da Relatividade Especial (TRE), na qual se associa pistas e ruas com o conceito de espaço, numa situação de comparação entre referencias inerciais em movimento relativo ao outro, de forma que, para se manter a realidade física desses dois referenciais, a solução da MC é o aumento de velocidade e da TRE é a contração do espaço.

Todos os estudantes participantes apresentaram como solução o aumento de velocidade para se chegar no ponto espacial citado (colégio) dentro daquele intervalo de tempo:

“Eu iria andar um pouco mais rápido” (E5); “Eu vinha [sic] correndo para chega [sic] na hora certa” (E6); “Mandaria meu pai ir me busca [sic]” (E10); “Eu iria correndo” (E22).

Os modelos mentais (conforme discutido por Johnson-Laird (MOREIRA, 2019)) dos estudantes se mostraram funcionais para lidar com esta situação. Estes resultados apontam para a existência de subsunçores a partir dos quais possam seguir com os novos passos sugeridos pela UEPS.

Alguns estudantes acrescentaram na sua solução a alteração da trajetória:

“Eu iria começar a correr e ir pelo caminho mais perto” (E13); “Pegaria um moto-taxi [sic], pois o ponto fica próximo à prefeitura. Ou correria por um atalho para chegar na hora” (E16); “Eu iria correndo ou eu pegaria um caminho mais perto” (E26); “Tentaria evitar fazer curvas e atravessar a rua, além de andar mais rápido” (E35).

Estas respostas apontam para esquemas (conforme já indicados por Vergnaud (MOREIRA, 2019)) mais elaborados para resolver a situação, uma vez que considerou também a possibilidade de alterar a trajetória. Esta possibilidade demonstrada é um conhecimento prévio relevante para a parte que abordará a contração do espaço.

Na **questão 2** deste questionário buscou-se verificar como os estudantes interpretavam uma situação prática, próxima da realidade deles, em que não se controla a velocidade, depois que se altera a trajetória: *“Imagine que você e sua família programou viajar de carro nas férias e precisa chegar às 8:00h da manhã em uma pousada, e para isso, vocês sairão às 5:00h da manhã. Então, no meio do caminho o motorista pega um atalho de última hora. No que isso muda na sua programação inicial?”.*

Todos os participantes responderam que haveria algum tipo de efeito na viagem. A grande maioria deles responderam que o tempo final da trajetória seria menor que o planejado, com diferentes níveis de elaboração: *“Isso vai fazer com que cheguemos mais cedo pelo motivo de pegar um caminho mais curto” (E25); “Bom [, pelo] que sei sobre atalhos eu chegaria em [sic] 7:40 ou 7:50 [hrs,] por aí” (E23); “Chegaríamos mais cedo, se não acontecesse nenhum imprevisto” (E31); “Se o motorista pegar um atalho certo, a gente chega na pousada mais cedo” (E32); “Muda o trajeto e o tempo (pode demorar mais ou menos)” (E34).*

Embora o E23 faça uma previsão de novos horários de chegada precipitadamente, uma vez que não se tem nenhuma dimensão do tamanho do atalho (e, portanto, quais seriam suas consequências), sua resposta indica que ele completou lacunas da situação proposta com vivências particulares, nas quais atalhos possam ter reduzido essas medidas de tempo específicas num percurso; ou seja, a questão foi bem sucedida na

tentativa de acionar conhecimentos prévios de E23: ele construiu um *modelo mental* e esteve disposto a associá-lo a outros modelos mentais pré-existentes (vide Johnson-Laird (MOREIRA, 2019)). De forma semelhante e menos evidente, E31, E32 e E34 trouxeram suas concepções pessoais de atalho para interpretar a situação, em que não é necessariamente um menor caminho.

Destaca-se também que E23 e E31 levantaram uma hipótese, através do “se”, condicionando sua conclusão a ela, o que aponta para *esquemas* com certo nível de elaboração. De forma geral, fica evidenciado que todos os estudantes identificam velocidade, distância e tempo como variáveis interdependentes. Trabalhar as relações e complexidades entre essas grandezas é fundamental para a proposta dessa UEPS.

Seguindo, alguns responderam a esta questão 2, da seguinte forma: “*Eu chegaria mais rápido na pousada*” (E2); “*A gente chegaria mais rápido e aproveitaria mais a viagem*” (E20). Aqui chama a atenção o uso de “mais rápido”, que é um atributo de velocidade, para se referir ao tempo, uma vez que a velocidade do carro não foi uma questão do debate. Isto sugere uma concepção alternativa sobre a ligação entre velocidade, distância e tempo, na qual podem estar indissociada em alguma medida. Avalia-se que esta construção pode apresentar um possível obstáculo epistemológico para a aprendizagem com essa UEPS.

Na **questão 3**, verifica-se o conhecimento dos estudantes sobre os radares de velocidades nas pistas, com o intuito de partir desse suposto conhecimento para se explicar e introduzir outro recurso didático para esta UEPS, que é o experimento com Arduíno: “*Você já viu um desses Radares de Velocidade que ficam nas pistas? Para que eles servem?*”.

E todos responderam que conhecia radares, mesmo que uma parte nunca tivesse o visto: “*Sim, servem para fiscalizar a velocidade dos carros*” (E11); “*Radar serve para multar motoris [sic] irresponsáveis [sic]*” (E23) “*Não. Eles servem para medir a velocidade e o tempo*” (E26); “*Para controlar a velocidade [d]o carro, se tiver correndo muito, ganhará multa*” (E29).

Nas questões 4 e 5 foram perguntados sobre o entendimento da grandeza velocidade e, particularmente, na questão 5 traz o seguinte: “*Qual é a coisa que você imagina que possa ser mais rápida?*”, apesar de uma parte relevante dos estudantes terem respondido que são os automóveis, aeronaves ou espaçonaves; a maioria dos participantes responderam que seria a velocidade da luz. E dos que responderam este

último, quando perguntados, na **questão 6**, “*O que te faz pensar que essa seja a coisa mais rápida?*”. As respostas neste item se desdobraram em três eixos:

Eixo I: Os que justificavam pela incapacidade de acompanhar a velocidade da luz com o olho humano: “*porque não vemos quando a luz acende de tão rapido [sic] que é*” (E25); “*Porque não conseguimos ver sua velocidade*” (E28).

Eixo II: Os que não conseguiram ou não justificaram sua resposta: “*porque ela é a mais rápida*” (E30); “*não sei*” (E31).

Eixo III: Os que demonstraram conhecer de uma fonte aparentemente segura: “*Algum documentario [sic] ou video [sic] sobre os estudos de Albert Ainsten [sic] se não me engano, ou outro video [sic] falando sobre anos luz, e eu tirei minhas próprias conclusões*” (E11); “*A ciência que através de estudos afirma que é uma das coisas mais rápidas*” (E16).

Os dois primeiros eixos apontam para um subsunçor sobre velocidade da luz, que aparenta não ser elaborado a ponto de ser um *conceito* sobre a grandeza em questão, conforme definido por Ausubel (MOREIRA, 2019), uma vez que não atribui ao objeto “velocidade da luz” muitos símbolos, apenas o de “objeto mais rápido”; assim como no caso exemplificado acima do primeiro eixo, da resposta de não conseguir acompanhar a luz com os olhos; aparentando, portanto, ser um subsunçor construído com uma *aprendizagem significativa representacional* (vide seção sobre Ausubel do capítulo 2, *Referencial Teórico*). De forma geral, algum conhecimento prévio relativo à velocidade da luz pode ser positivo para se trabalhar aspectos da Teoria da Relatividade Restrita. Esta é uma parte de uma avaliação progressiva para seguir com os próximos passos.

A **questão 7** e a **questão 8** solicitam aos estudantes que façam desenhos ou representações de uma rodovia no trecho que sobe uma serra famosa no município de Anagé, de duas perspectivas diferentes, respectivamente. Do início do aclive e sobrevoando a ele. A **questão 9** indaga se os desenhos das rodovias são iguais. A grande maioria respondeu que não, como era esperado. A **questão 10** traz: “*Por que você diria que ocorreram diferenças ou semelhanças? Comente*”.

A maioria dos estudantes apontaram a mudança de perspectiva como a razão das diferenças “*Porque de cima é uma imagem e de [sic] debaixo outra*” (E12); “*Porque de perto voce [sic] ver [sic] uma coisa e de longe voce [sic] ver [sic] outra*” (E36); “*Porque dependendo do ponto de vista a pessoa enxergaria a pista diferente*” (E25); “*No helicoptero [sic] eu veria maior a área e mais coisa [sic], [e já] no caminho eu so [sic] veria uma parte da estrada e o que tivesse perto de mim*” (E11).

Os estudantes indicaram pelas suas respostas que há algum conhecimento prévio relacionado à diferença de perspectivas sobre um mesmo evento específico do cotidiano deles, o que é uma base importante, a partir da qual pode-se discutir a diferença de resultados medidos a partir de referenciais inerciais diferentes. Uma excelente indicação para abordagem de um dos pontos cruciais desta proposta de ensino.

Na **questão 11**, os estudantes foram perguntados se “[...] *as coisas do seu cotidiano dependem do ponto de vista [...]*”, todos marcaram alguma alternativa (das várias opções) que afirmava depender do ponto de vista, sendo que uma parte marcou, especificamente, que todas dependem. Já na **questão 12**, que traz uma figura para interpretação, conforme mostrado na Figura 17, foi perguntado o significado desta figura para os estudantes, que analisaram sob seu ponto de vista. Destaca-se dois eixos de respostas: Eixo I – A maioria dos estudantes respondeu que são perspectivas diferentes dos dois homens: “*Depende do ponto de vista de cada pessoa*” (E34); Eixo II – uma parte respondeu, de forma semelhante, que os dois estão debatendo suas visões sobre o objeto: “*Eles estão discutindo se é um 6 ou um 9*” (E21). Na **questão 13**, buscou-se trazer o estudante para a seguinte discussão: “*Ainda sobre a imagem acima, na sua opinião para o que os dois homens estão apontando? Explique*”. E, em suas respostas, foram evasivos – como E20: “*Aponta para um número*” – ou inconclusivos – como E13: “*Para o que cada um ver [sic] [...]*”.

O intuito dessas questões foi de verificar se há conhecimento prévio para dar suporte tanto às discussões sobre referenciais inerciais, bem como, de forma mais ampla, às discussões sobre as diferentes perspectivas da Cinemática Clássica e Teoria da Relatividade Restrita. E ficou sinalizado que há conhecimento prévio para fazer tal abordagem. Em especial, as respostas da **questão 13** pareceram um interessante ponto de discussão, por seu caráter incerto e carente de argumentos, i.e., o *modelo mental* dos estudantes parece não ter sido suficiente para lidar com essa questão de forma satisfatória.

A **questão 14** pergunta-se aos estudantes se eles diriam que “[...] *existem coisas que não dependem do ponto de vista de quem olha [...]*”, e, embora divididas, a maior parte das respostas alegaram que sim. Aqui, o objetivo foi verificar se há conhecimento prévio para se discutir a realidade objetiva para além da diversidade de subjetividades sobre ela.

Já a **questão 15** traz o contexto de uma situação que associe medidas com números em diferentes referencias, buscando-se verificar se consideram alguma

relatividade até em situações assim: “*Você acha possível uma mesma pista medir dois valores de distância diferentes, a depender do ponto de vista da pessoa que mede? Argumente com suas palavras*”. Esta questão é relevante, pois envolve subsídios que, em última análise, serão trabalhados para abordagem sobre a contração do espaço.

A grande maioria das respostas se dividiram em dois eixos:

Eixo I: A maioria disse que é possível: “*Acho que sim*” (E7); “*uma pessoa que esta [sic] de perto ve [sic] uma distancia [sic] menor e uma pessoa que esta [sic] de longe ve [sic] uma distancia [sic] maior*” (E27); “*Sim. São valores de distancias [sic] e ponto de vista diferentes então acredito que seja [sic] resultados diferentes um do outro*” (E13); “*Se uma pessoa olha uma curva de pé no começo dela ela pode não saber o tamanho dessa curva ao certo, mas uma pessoa olhando de cima pode*” (E16). Eixo II: Neste, disseram que não é: “*não, pois independente [sic] de onde se ver [sic], a pista não diminuirá [sic] o tamanho*” (E31); “*Não, acho que a distancia [sic] é sempre a mesma*” (E32).

Embora em nenhuma das respostas há referência à contração do espaço, existem considerações sobre a perspectiva de que os resultados numéricos são afetados pelo ponto de vista. Em relação à parte das respostas sobre o valor da medida não ser alterado, ao associar esta resposta com aquela da **questão 11**, conclui-se que estes estudantes entendem que a perspectiva, ou ponto de vista altera percepções, contudo mantendo a grandeza numérica como inalterável.

2.16.2 Mapa Conceitual Coletivo

No segundo momento, realizou-se a elaboração de um mapa conceitual coletivo, que foi construído junto com a turma – um mapa conceitual inicial. Neste mapa, surgiram os seguintes elementos: palavras-chaves e conceitos, que estão ligados a grandeza Movimento. A saber: Velocidade, andar, mexer, retilíneo uniforme, adrenalina, luz, disparo de arma, km/h, carro, tempo.

Chama atenção a escolha de “retilíneo uniforme”, pois é um conceito mais científico que de senso comum.

Durante a construção do mapa conceitual, percebeu-se que a participação ativa dos estudantes foi baixa. A turma apresentou dificuldade para identificar a melhor ligação entre os conceitos do mapa conceitual. Isto ficou bastante claro com o comentário de um estudante para seu colega, após ele ter sugerido o uso de uma das palavras listadas e não saber como conectá-lo: “*O problema é esse, tem saber como ligar as palavras*”. Neste

momento foram feitas intervenções, inclusive com sugestões de ligação em alguns casos, mas foram poucas sugestões, para manter a construção coletiva do mapa e incentivar a participação dos estudantes. No fim, o mapa, que está representado na Figura 48 abaixo, ficou incompleto (não se utilizou todas as palavras), pois o horário da aula foi insuficiente para elaboração do mapa em sua completude.

Figura 48 – Mapa conceitual coletivo construído coletivamente na turma



Fonte: próprio autor.

A partir da abordagem realizada até então, com a análise do questionário de sondagem e a construção do mapa conceitual coletivo, observou-se que os estudantes apontaram elementos importantes sobre movimento que propiciou dar seguimento ao passo 3, que segue relatado no encontro subsequente.

2.17 ENCONTRO 2

Nesta seção, analisa-se as interações dos estudantes nas exposições dialogadas sobre Conhecimento, Ciência e Revoluções Científicas e sobre Referencial, Trajetória e Movimento, como também as respostas da Atividade 1 em Grupo (cujas perguntas estão no Apêndice B), os quais fazem parte do passo 3 dessa UEPS.

2.17.1 Exposições dialogadas

Neste momento, optou-se por fazer uma exposição dialogada sobre Conhecimento, Ciência e Revoluções Científicas. Os estudantes, em geral, participaram do diálogo. Em especial, foi dada uma atenção mais intensa ao conceito abordado na **questão 12**, sobre

os pontos de vista sobre determinado objeto, entendendo-se que a realidade externa pode ser diferente, conforme mostra a Figura 17.

Na segunda parte fez-se a exposição dialogada sobre Referencial, Trajetória e Movimento. Quando os estudantes foram questionados se estariam parados ou em movimento naquele instante da aula, parte dos alunos responderam que parados, e dois estudantes utilizaram a representação de conceito do componente curricular de Física ao responderem “*depende do referencial*”.

Posteriormente, mostrou-se um *GIF* de pessoas em uma escada rolante. Este *Gif* está descrito apropriadamente no capítulo 4, Figura 19. Ao serem questionados se essas pessoas estariam em movimento, parte da turma alegou que o movimento do corpo também seria um movimento, apesar da pessoa “não sair do lugar”. Este foi um momento oportuno para apontar uma *diferenciação progressiva* entre uma visão do senso comum e uma perspectiva da física: para esta última, estar em movimento significa sair da posição em que está localizado. Desta forma, promovem-se dois princípios da Aprendizagem Significativa Crítica (MOREIRA, 2019): O da *desaprendizagem*, uma vez que o estudante teria que escolher não usar a sua representação de Movimento por não ser útil nessa situação; e o do *conhecimento como linguagem*, no qual teria que identificar esta representação como parte de uma linguagem do conhecimento discutido, que é diferente da linguagem utilizada na sua vida pessoal. Isto foi feito através de uma *negociação de significados* (conforme defendido por Vygotsky e Gowin no *Referencial Teórico* (MOREIRA, 2019)), na qual, depois de dar a definição para movimento, perguntou-se para os estudantes se as pessoas estavam saindo do lugar, os quais responderam que não, e assim, aparentemente, os significados foram compartilhados, através da seguinte relação triádica: Professor-Estudante-*Slides*.

Posteriormente, seguiu-se na abordagem dialogada, discutindo sobre a trajetória de uma pedra ao cair do topo do mastro de um navio, conforme representado na Figura 21. Evento ocorreu em duas situações: (a) navio parado e (b) navio em movimento. Durante a indagação da primeira situação, em (a), alguns estudantes cogitaram que o referencial poderia alterar a trajetória da pedra, porém, sem conseguir elaborar o como deste acontecimento. Na segunda situação, em (b), muitos dos estudantes, disseram que a pedra se mover para trás, i.e., não acompanharia o movimento do barco, o que indica desconhecimento em relação à inércia. Então fez-se necessário uma discussão breve sobre o tema, contextualizando para exemplificações mais intuitivas sobre o movimento no contexto da inércia, que se fez primeiramente por um exemplo planejado sobre a queda

de um celular do teto de um carro em movimento. Na *negociação de significados* deste exemplo, os estudantes tiveram dificuldade de traduzir o significado desta situação. Outra exemplificação foi elaborada de imediato – a qual tratou sobre o movimento de uma mosca, que voava dentro de um carro completamente fechado e em movimento. Nesta situação para abordagem do conceito de inércia, observou-se que o significado foi parcialmente compartilhado.

Uma outra situação proposta, em que os estudantes participaram da elaboração do desenho de uma trajetória, foram perguntados como seria a trajetória do lançamento vertical de uma bola em movimento horizontal, a partir de um referencial externo à nave (em relação ao qual a nave estaria em movimento). A turma, em geral, teve dificuldade de imaginar como seria a trajetória da bolinha. Alguns estudantes levantaram hipóteses, ou seja, deram respostas a partir dos seus modelos mentais. Buscou-se mostrar a não funcionalidade desses modelos mentais para explicar a situação, com o intuito de que eles os modificassem. Um estudante sugeriu que a trajetória seria retilínea e horizontal, então desenhou-se sua proposta no quadro branco e ao ser questionado como seria explicado o movimento vertical da bolinha, ele abandonou a hipótese; contudo, outra estudante insistiu no ponto e argumentou que essa trajetória horizontal seria uma perspectiva “vendo por baixo do lançamento vertical”, dando a impressão que só existiria o movimento horizontal, o que de fato é uma possibilidade que não estava prevista, e assim, reconheceu-se como tal e acrescentou-se ao questionamento inicial a consideração de que a bolinha seria “vista pelo lado do lançamento” – o interessante aqui foi que o *modelo mental* docente teve que ser modificado na troca de significados. Em seguida, outra estudante elaborou que a bolinha faria o mesmo percurso vertical e quando a nave estivesse mais à frente, faria outro percurso vertical – o que implicaria em vazios de trajetória entre um percurso vertical e outro; mas, depois de desenhar sua proposta no quadro branco, ao ser indagada o que aconteceria com a bolinha entre as trajetórias verticais, a estudante percebeu a inconsistência da hipótese e desistiu dela. Depois, alguns poucos estudantes acertaram a trajetória correta, em diagonal para cima e para baixo.

Neste momento, especialmente pela percepção da mudança de *modelo mental* docente, acabou por promover o princípio da *consciência semântica*, da Aprendizagem Significativa Crítica, quando mostrado que os significados da situação tinham sido absorvidos de forma limitada também pela parte docente, uma vez que isto só foi percebido pela troca de significados com os estudantes.

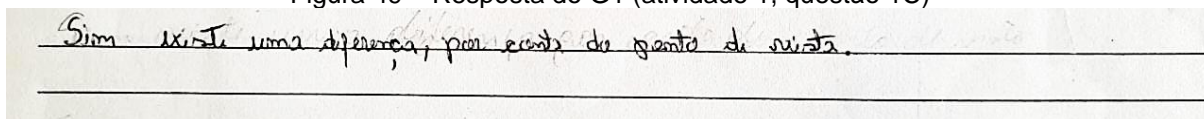
2.17.2 Atividade 1 em Grupo

Formou-se seis grupos, G1, G2, G3, G4, G5 e G9. As situações problema em grupo foram entregues durante o horário da aula, mas como o tempo não foi suficiente para finalizá-la, indicou-se como atividade extraclasse mantendo-se a formação dos grupos.

A **questão 1** desta atividade traz uma situação de uma mosca que se movimenta da parte de trás para frente dentro de um carro. No item **1 (a)**, todos os grupos disseram que observam o movimento natural da mosca do referencial de dentro do carro; no item **1 (b)**, foram questionados se a rapidez da mosca seria diferente ao levar em consideração o movimento do carro neste mesmo referencial. Uma parte considerável dos grupos disseram que a rapidez seria a mesma; e já no item **1 (c)**, quando foram questionados se seria diferente a trajetória, caso fosse observada a partir de um referencial externo ao carro em movimento, todos os grupos disseram que seria diferente.

A resposta de G1 está representada na Figura 49 abaixo. Observa-se que foi uma resposta generalista, superficial, sem identidade, e sem conseguir explicar sobre como seria essa diferença na trajetória. Aqui, não há evidência de *aprendizagem significativa* e, pelo contrário, pode ter sido uma aprendizagem mecânica.

Figura 49 – Resposta do G1 (atividade 1, questão 1C)

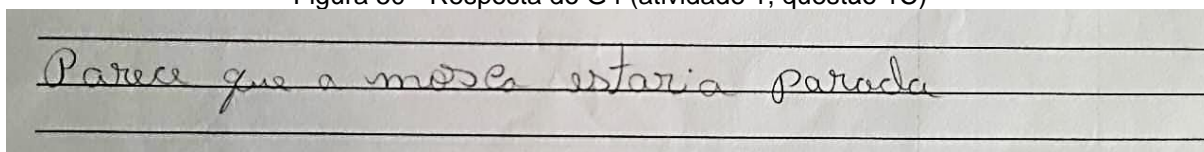


Sim, existe uma diferença, por conta do movimento do veículo.

Fonte: Próprio autor

A resposta de G4 está representada na Figura 50. Percebe-se, em contraste, aqui uma observação particular, uma vez que não foi comentado nada parecido em sala de aula, o que indica uma internalização da situação, a partir da discussão em grupo (como discutido na seção sobre Vygotsky (MOREIRA, 2019), no capítulo 2, *Referencial Teórico*). Ainda que seja uma resposta curta, é uma tradução simples e diferenciada do conceito trabalhado na aula, o que aponta para uma evidência de *aprendizagem significativa* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)). Aliás, tão particular que se aproxima do erro, uma vez que a mosca não estaria parada nesse referencial em questão.

Figura 50 - Resposta do G4 (atividade 1, questão 1C)

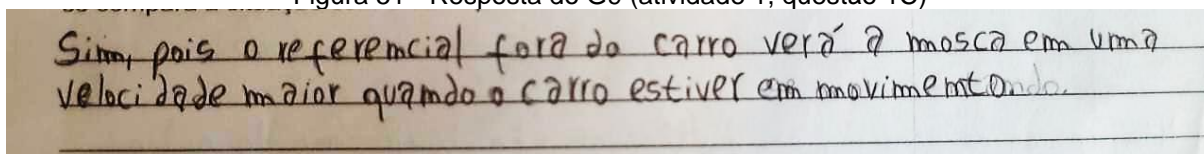


Parece que a mosca estaria parada

Fonte: Próprio autor

A resposta de G9 representada na Figura 51, embora não tanto diferenciada quanto a de G4, demonstra clareza, precisão e interpreta a situação com os conceitos trabalhados em aula. E, portanto, demonstra evidência de *aprendizagem significativa*.

Figura 51 - Resposta do G9 (atividade 1, questão 1C)

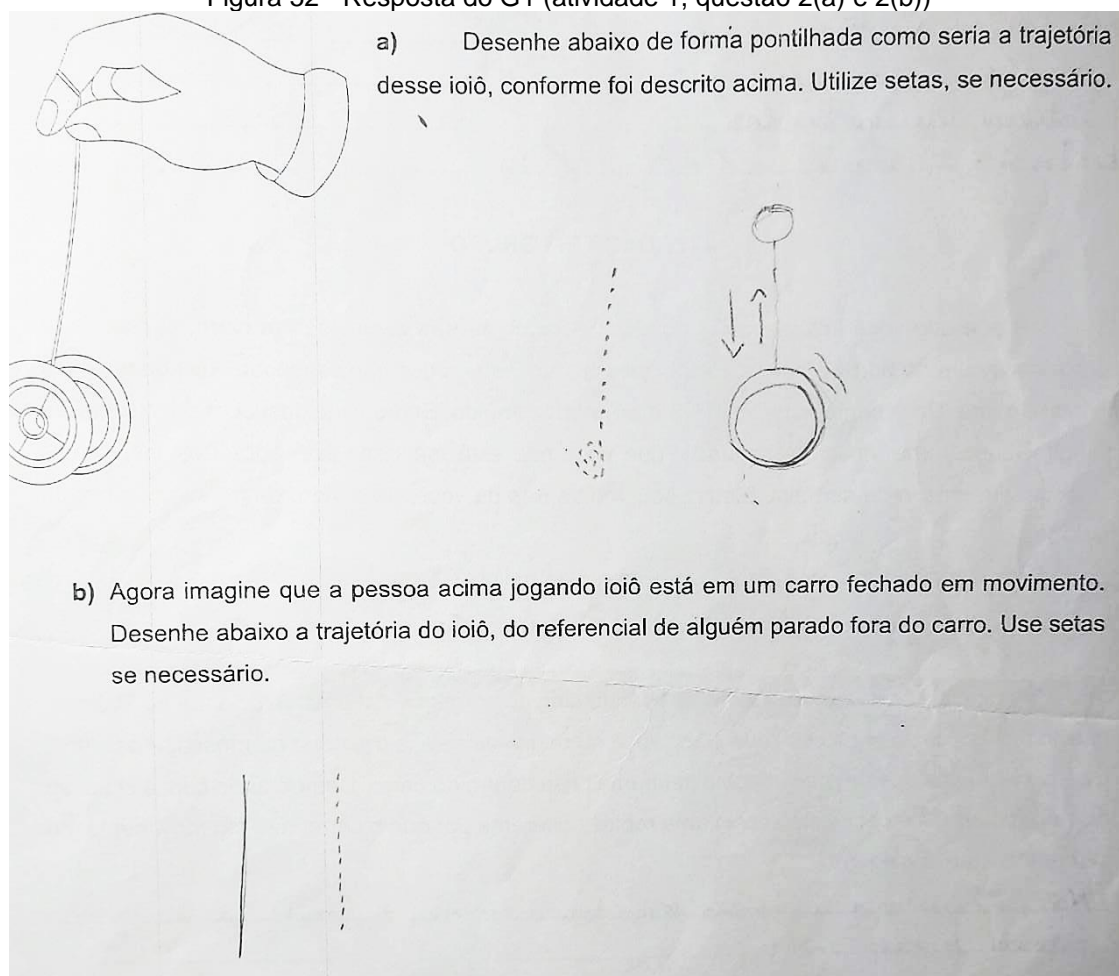


Sim, pois o referencial fora do carro verá a mosca em uma velocidade maior quando o carro estiver em movimento.

Fonte: Próprio autor

A **questão 2** busca interpretação do objeto em estudo através de um desenho ou configuração da trajetória de um lançamento de um ioiô, que está dentro de um carro em movimento. No item **2(a)** solicita aos estudantes que façam o desenho da trajetória nos referenciais internos e no item **2(b)** nos referenciais externos ao carro. Uma parte dos grupos desenharam trajetórias iguais nos dois referenciais, conforme pode ser visto na Figura 52 abaixo. E outra parte do grupo, a maioria, representou uma trajetória diferente para cada referencial, conforme pode ser visto na Figura 53 abaixo.

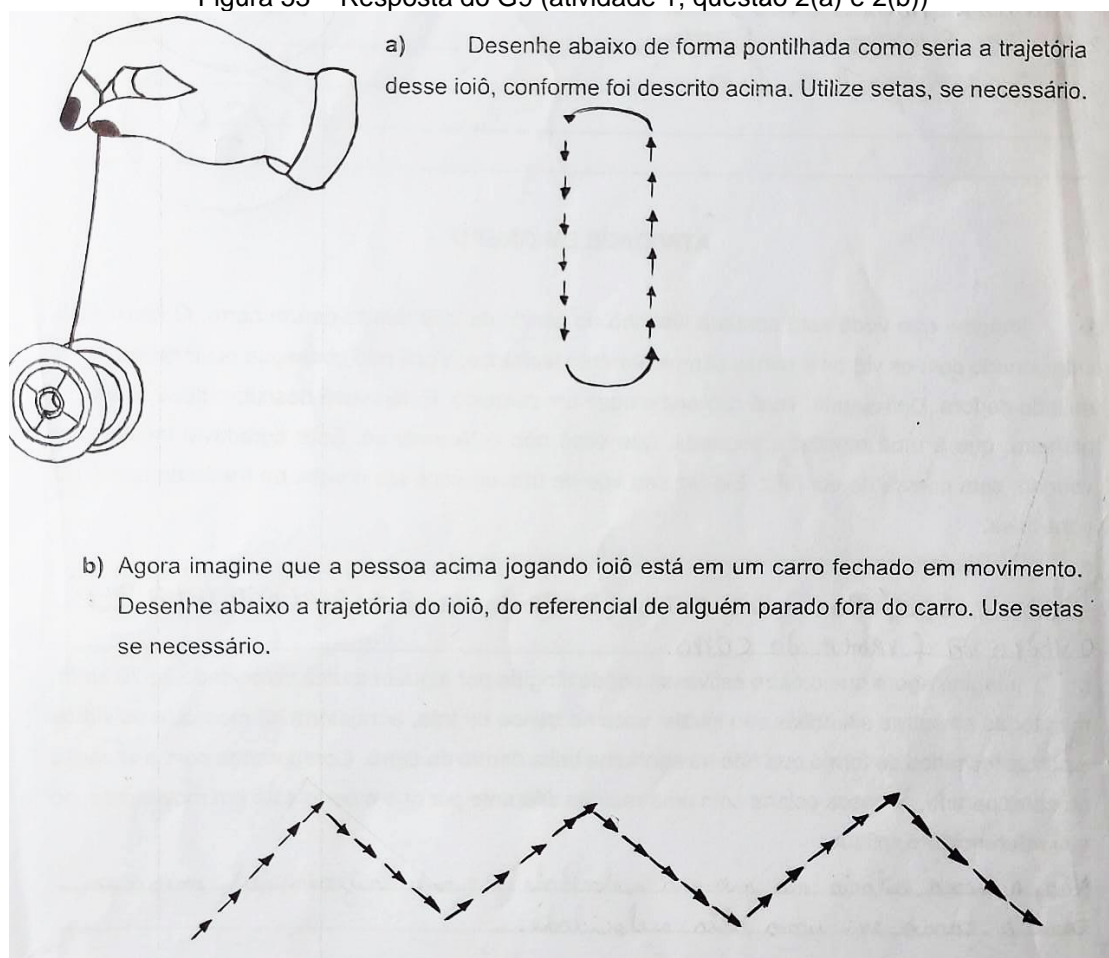
Figura 52 - Resposta do G1 (atividade 1, questão 2(a) e 2(b))



Fonte: Próprio autor

O item **2(b)** feito por G1 indica que o grupo não identificou como a adoção do referencial externo interfere no desenho da trajetória, ao contrário da interpretação de G9, que conseguiu aplicar nessa nova situação as discussões feitas na aula.

Figura 53 – Resposta do G9 (atividade 1, questão 2(a) e 2(b))



Fonte: Próprio autor

Seguindo a discussão sobre trajetória, apresentou-se nesta atividade, o item **2(c)**, que traz a seguinte questão: “Se fosse pra você medir, você diria que uma distância é diferente da outra?” a maioria respondeu que as trajetórias mediriam o mesmo tamanho: “Não, porque **so** [sic] depende do referencial” (G2, grifo do autor); “A distância seria a mesma, **só** mudaria o movimento de acordo com o referencial” (G4, grifo do autor).

Apesar de reconhecerem o efeito da mudança de referencial, o uso do advérbio “só” na frase demonstra que os estudantes entendem que este efeito não é algo efetivamente concreto – o que é uma proposição equivocada sobre o real. Este resultado indica um *campo conceitual* (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019), discutido no capítulo 2) sobre movimento ainda muito restrito. Mais precisamente, uma compreensão limitada dos conceitos de Referencial e Princípio da Relatividade (uma vez que proposições sobre o real são partes de um conceito, segundo Vergnaud), pois na verdade está sendo adotado um referencial absoluto no qual as medidas são reais, e outro referencial no qual as medidas não são reais, seriam uma “ilusão de ótica”, “**só** dependem do referencial”. Neste

momento observa-se que há necessidade de introduzir novos elementos e instrumentos para elucidar este fenômeno afim de promover com maior significado a aprendizagem sobre referenciais, trajetórias e demais conceitos pertinentes ao assunto.

2.18 ENCONTRO 3

Nesta seção, analisa-se a participação dos estudantes nas atividades propostas, tais como os mapas conceituais e as respostas da Atividade 2 em Grupo (cujas perguntas estão no Apêndice C). O Conjunto de atividades desenvolvidas neste encontro fazem parte dos passos 3 e 4 dessa UEPS.

Conforme já descrito nos procedimentos didáticos metodológicos, abordou-se novos conceitos com maior aprofundamento sobre movimento relativo e demais grandezas importantes da teoria da relatividade.

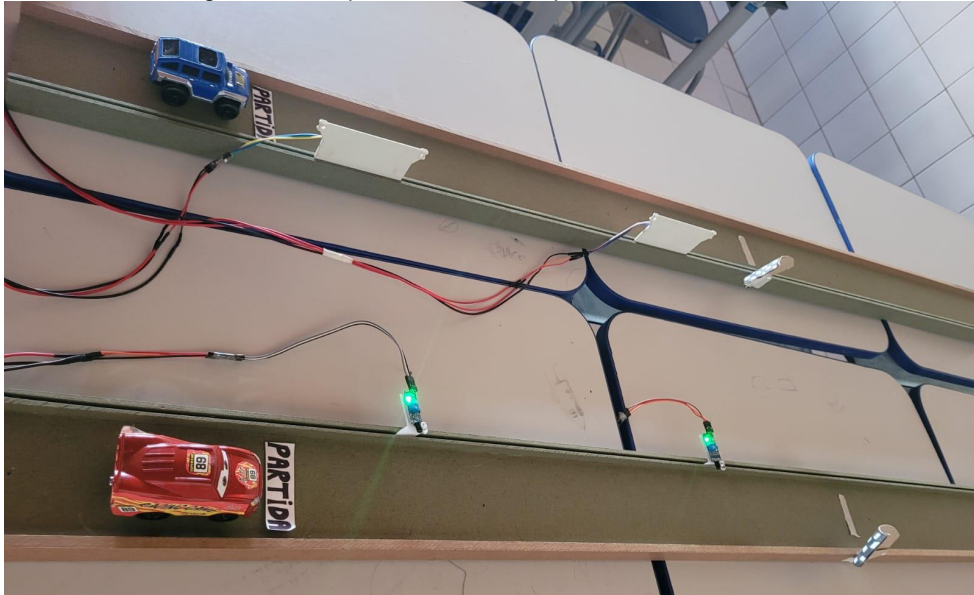
2.18.1 Correção de atividade e experimento com a plataforma Arduíno

Os estudantes manifestaram-se quando foram requeridos a responderem sobre as respostas dadas nas atividades desenvolvidas nos encontros anteriores. Em particular, quando questionados sobre o item **2(c)**, da situação-problema 1 (loio em movimento dentro de um carro), parte dos estudantes afirmaram que as trajetórias eram iguais para os referenciais de dentro e de fora do carro, mesmo tendo feito desenhos diferentes. E em seguida, ao executar a um exercício das medidas do quadro com a trena, eles ficaram atentos e fizeram silêncio introspectivo.

Quanto ao experimento utilizando a plataforma Arduíno está esquematizado na Figura 54. Nesta, observa-se as duas pistas com os carros elétricos e os sensores de movimento para medição da velocidade. Mais detalhes podem ser vistos no capítulo 4, *Contexto e Procedimentos Didáticos Metodológicos*. Os estudantes mostraram-se curiosos com experimento. Eles demonstraram interesse sobre a estrutura do experimento e o que seria explorado naquela atividade. Observou-se um silêncio na sala e os estudantes permaneceram por um tempo com semblantes atentos no paralelo do experimento com o radar de velocidade, e se empolgaram bastante com o experimento, fazendo apostas sobre quem vai ganhar e dando gritos de torcida para sua escolha. Foram evidentes os afetos positivos envolvidos nesse evento educativo, o que contribui para a

predisposição dos estudantes em escolher aprender significativamente, segundo Novak (MOREIRA, 2019).

Figura 54 - Experimento com a plataforma Arduino 2



Fonte: Próprio autor

O uso do experimento com a plataforma Arduino como diversificação da estratégia de ensino-aprendizagem atende ao princípio do *não uso do quadro de giz* da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2019), não simplesmente por ser algo diferente do “quadro de giz”, mas por ter buscado um maior engajamento (Figura 55) dos estudantes por meio de uma estratégia que não carrega o peso simbólico do professor como único detentor do conhecimento.

Figura 55 - Experimento com a plataforma Arduino 3

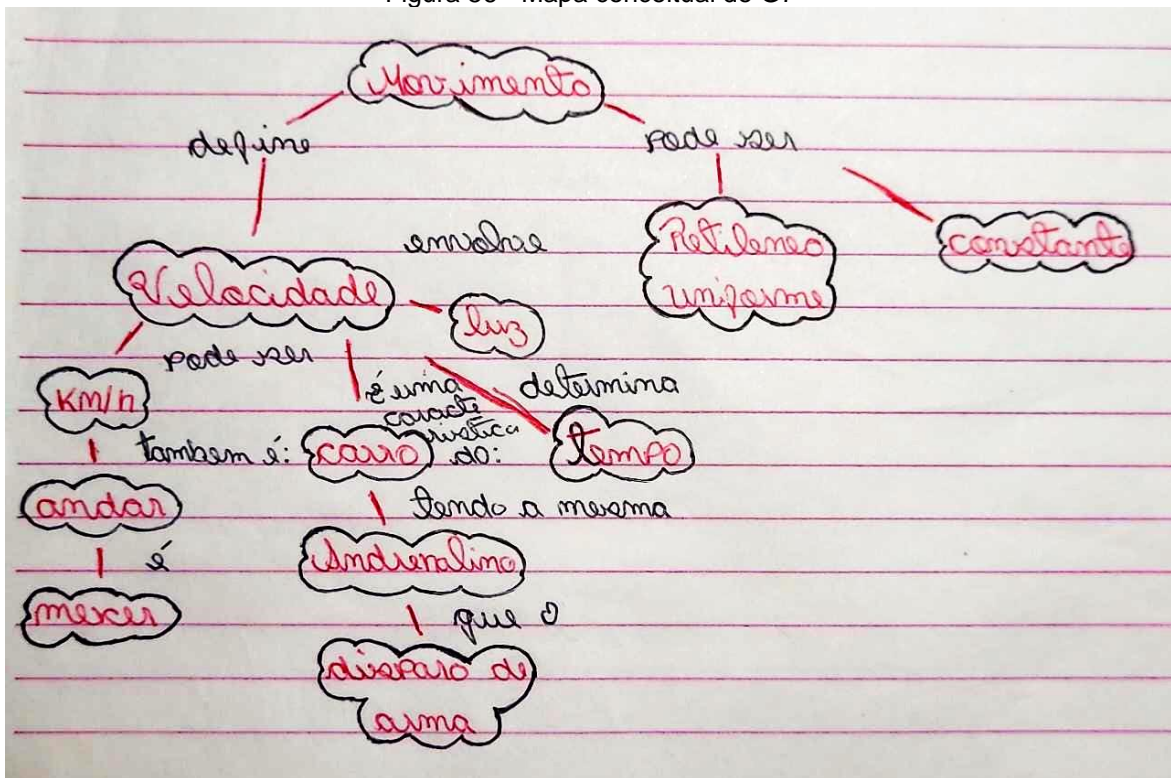


Fonte: Próprio autor

2.18.2 Mapas conceituais

Todos os mapas conceituais requeridos durante a realização das atividades desenvolvidas no Encontro 3 utilizaram novos elementos relacionados a movimento, os quais não foram apresentados no mapa conceitual construído coletivamente. No mapa de G7, conforme pode ser visto na Figura 56, os conceitos destacados por uma figura geométrica e conectados entre eles por uma frase de ligação, como é necessário ocorrer. Enfatiza-se que todos os mapas entregues cumpriram este requisito. Ainda conforme visualizado na Figura 56, o mapa conceitual de G7 possui certa hierarquia conceitual, de cima (o mais amplo) para baixo (o mais restrito), com exceção do seguimento abaixo de “*velocidade*” com as ligações seguintes: ***km/h-também é-andar-é-mexer*** (conceitos em negrito). É perceptível a relevância que o conceito de velocidade teve para este grupo, demonstrada através da centralidade de algumas grandezas principais. O G7 também optou por manter as palavras “adrenalina” e “disparo de arma”, mesmo estando fora do contexto das aulas, o que não é desejável.

Figura 56 - Mapa conceitual de G7



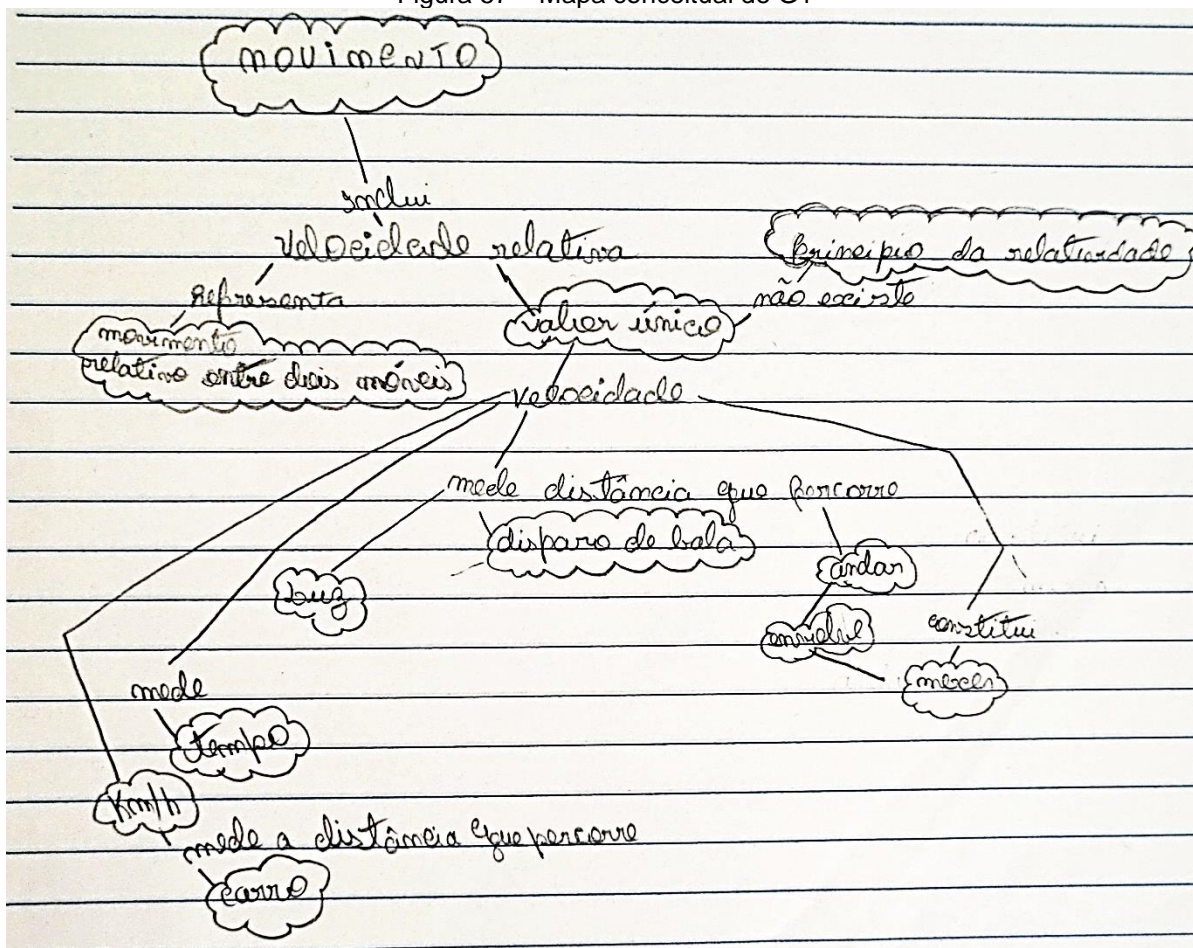
Fonte: Próprio autor

Pelas ligações feitas por G7, observa-se, ainda segundo a Figura 56, que as palavras usadas são, às vezes, ambíguas, como no caso de **velocidade-envolve-luz**, mas talvez, com o auxílio da explicação verbal, esse tipo de conexão faça sentido. É possível perceber, no entanto, que não foram feitas ligações paralelas entre conceitos, apenas visualiza-se ligações de forma ramificada. Avalia-se então que o grupo não identificou interrelações dessa forma, o que seria sinal de um conhecimento articulado e profundo. Em particular, chama a atenção a falta de ligação dos conceitos “velocidade” com “retilíneo uniforme” e “constante”, o que sugere que esse grupo não se sentiu confortável para fazer alguma análise com esses dois últimos conceitos. Nota-se a forma como estes dois conceitos ficaram isolados no mapa, o que indica que, apesar de conhecerem esses termos, eles não interagem com outros conceitos na cognição dos estudantes

Outro mapa avaliado foi o construído por G1 e está representado na Figura 57. Além de completar o mapa, o G1 construiu uma identidade mais evidente com o uso do conceito “valor único”, que foi criação exclusiva deste grupo. Foi incrementado também os conceitos recém trabalhados de “velocidade relativa” e “Princípio da Relatividade” – ainda com poucas ligações, mas o momento torna isto compreensível, já que é o início do trabalho destes na abordagem do conteúdo –, o que sugere uma disposição para associar

estes novos conceitos. Em contraste, não foi retirado o termo “disparo de bala”. Ainda conforme mostrado na Figura 57, ocorreu carência de ligações não-ramificadas e houve erros ao não destacar conceitos com a figura geométrica, como é caso de “velocidade relativa” e “velocidade”. Quanto à hierarquia conceitual, por mais que em alguma medida passe pelo conhecimento do estudante, não há justificativa para o conceito “tempo” estar abaixo de “andar”; mas apesar disso, o resto do mapa parece seguir uma boa estrutura em relação à abrangência dos conceitos. Vale destacar a proposição correta “**velocidade**-mede distância que percorre - **Luz**”, indicando algum conhecimento prévio sobre o movimento e luz.

Figura 57 – Mapa conceitual de G1



Fonte: Próprio autor

O objetivo de se trabalhar com os mapas conceituais foi o de buscar uma *consolidação* dos conceitos abordados (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)) através de uma organização dos conhecimentos que eles possuíam até então. Considerando os

resultados obtidos através deste instrumento, avalia-se que todos os mapas analisados indicaram o cumprimento deste objetivo.

2.18.3 Atividade 2 em Grupo

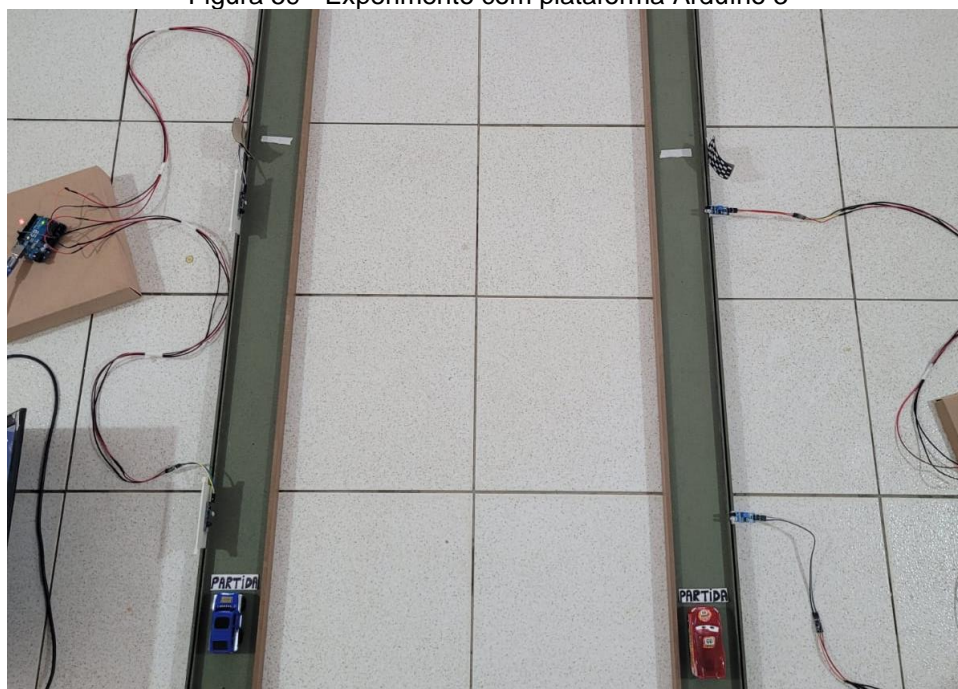
Nesta atividade, formou-se sete grupos, G1, G2, G3, G4, G5, G6 e G7. A Figura 58 mostra os estudantes reunidos em grupo, conforme planejado para esta etapa da proposta. Os estudantes analisaram dois momentos das corridas de carro. Esta atividade foi realizada na bancada do experimento explorado com auxílio da plataforma Arduino, conforme explicado no arranjo experimental da sessão 5.3.1. Momento 1: A atividade foi elaborada de tal forma que a “corrida” dos carros resultassem em um empate. Momento 2: Atividade elaborada para que, na corrida entre os carros, o carro vermelho vença. Na Figura 59 mostra os detalhes dos carros posicionados nos trilhos da corrida. Embora estivesse sido planejado a execução da atividade, espera-se em uma atividade experimental que os resultados possam ser sutilmente diferentes, devido às mudanças na forma que cada um dos estudantes interage com o experimento. Como por exemplo; poderia acontecer de um carro sair antes ou esbarrar muito nas paredes da pista.

Figura 58 – Elaboração dos grupos durante atividade 2 em grupo



Fonte: Próprio autor

Figura 59 - Experimento com plataforma Arduino 3



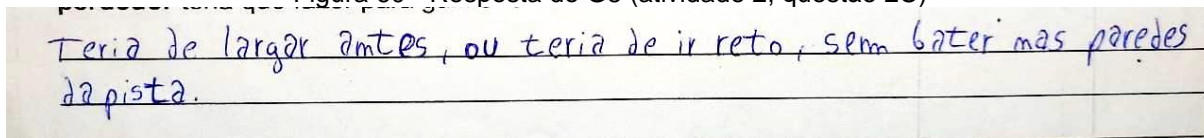
Fonte: Próprio autor

Foram efetuadas algumas questões neste momento da atividade. No item **1(a)** da **questão 1**, os estudantes foram perguntados sobre o resultado da disputa em que tiveram resultado o empate, e uma parte alegou empate e a outra, vitória do carro vermelho. No item **1(b)**, os estudantes foram perguntados sobre os motivos daqueles resultados (empate ou vitória da disputa dos carros), e a grande maioria indicou que o fator velocidade foi o principal motivo. No item **1(c)**, os estudantes foram questionados se a disputa foi justa, e todos disseram que houve igualdade de condições, no sentido da montagem da estrutura e do aparato experimental.

Os itens **2(a)**, **2(b)** e **2(c)**, da **questão 2**, fez-se os mesmos questionamentos da **questão 1**, mas agora em relação ao segundo momento da corrida, quando a linha de chegada do carro azul foi movida para mais distante. No item **2(a)**, a grande maioria apontou o carro vermelho como vencedor; no item **2(b)**, os motivos para a vitória se dividiram: os que identificaram que a linha de chegada foi alterada, os que afirmaram que um carro largou primeiro, e os que disseram que um carro possui maior velocidade. No item **2(c)**, as respostas se dividiram entre ter sido justo ou não. Até aqui, estas perguntas tiveram a intenção de inteirar os estudantes do contexto da primeira situação-problema desta atividade, a saber: *“Considerando que você esteja proibido de modificar o tamanho das pistas, o que o carrinho perdedor teria que fazer para ganhar a corrida?”*. A resposta esperada, de que seria necessária uma velocidade maior de um dos carros, foi dada pela

maioria da turma, o que foi importante para se trabalhar a metáfora dessa UEPS, a partir deste raciocínio. No entanto, obtiveram-se outras respostas como representado na Figura 60.

Figura 60 - Resposta do G5 (atividade 2, questão 2C)

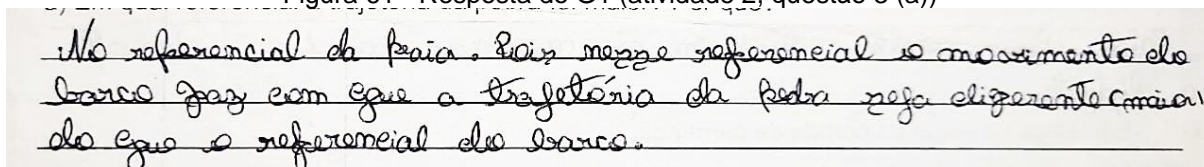


Teria de largar antes, ou teria de ir reto, sem bater nas paredes da pista.

Fonte: Próprio autor

A **questão 3** trata da segunda parte desta atividade em grupo, na qual analisa-se o lançamento de uma pedra do alto do mastro de um navio em movimento (explorando a Figura 21, já utilizada numa exposição dialogada anterior). No item **3(a)**, perguntou-se em qual referencial a trajetória é maior, e a maioria dos grupos responderam que é a imagem que representa a trajetória externo ao barco, da praia. A Figura 61 e a Figura 62 mostram duas destas respostas dadas pelos grupos.

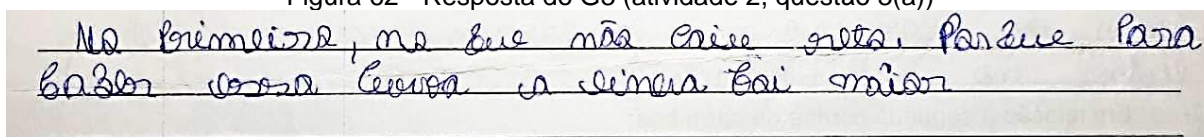
Figura 61 - Resposta do G1 (atividade 2, questão 3 (a))



No referencial da praia. Pois nesse referencial o movimento do barco faz com que a trajetória da pedra seja ligeiramente maior do que o referencial do barco.

Fonte: Próprio autor

Figura 62 - Resposta do G3 (atividade 2, questão 3(a))



No primeiro, na que não corre reto. Porque para bater nessa curva a pedra vai mais.

Fonte: Próprio autor

Destaca-se nestas respostas (Figura 61 e Figura 62), em contraste com a Atividade 1 em Grupo, que agora identificaram que uma trajetória é maior que outra, sem ressalvas (como se fosse uma “ilusão de ótica” sobre referencial). Isto sinaliza um possível avanço no domínio do *campo conceitual* sobre movimento através dessa nova situação (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)).

No item **3 (b)** da mesma questão, traz o seguinte: “Como uma trajetória é maior que a outra, como você acha que é possível a pedra chegar no convés no mesmo instante,

nos dois referenciais? Explique”. A grande maioria das respostas dos grupos não soube responder ou não compreendeu a questão, o que indica que os modelos mentais dos estudantes ainda não conseguem justificar simultaneidade destes eventos – a pedra sair do topo do mastro e a pedra chegar ao convés do navio – utilizando o conceito de velocidade relativa.

2.19 ENCONTRO 4

Nesta seção, analisa-se as respostas e a participação dos estudantes na Atividade 3 em Grupo (cujas perguntas estão no Apêndice D), que representa os passos 3 e 4 dessa UEPS.

2.19.1 Vídeos e simulação

Os estudantes quase não participaram do questionamento da simulação demonstrativa, que foi apresentado no momento desta atividade. Dentre os vídeos e simulações, o que chamou mais atenção dos estudantes foi o vídeo do lançamento vertical de uma bola a partir de um trem em movimento horizontal, que trabalha o conceito de inércia – houve muita participação. No vídeo, inicialmente, como a bola está dentro do trem, ela não está parada, mas sim, está em movimento horizontal junto com o trem. A chave da questão é que ela possui uma tendência de manter seu movimento inicial. Isto é consequência de uma lei da natureza chamada *lei da inércia*. Assim, quando ela é lançada verticalmente para cima, ela adquire um movimento vertical. Mas se soma a ele, o primeiro, horizontal. Isto acontece de tal forma que a bola, enquanto está no ar, se mantém na direção vertical do trem. Fazendo com que, quando a bola cai, volta no mesmo lugar que caiu. Na prática, é como se o movimento horizontal do trem e da bola não fizesse diferença.

Ao questionar os estudantes o que aconteceria neste experimento, a maioria dos que se manifestaram previram um acontecimento equivocado: que a bola cairá no mesmo local do trilho onde foi lançada, antes do túnel. Esta parece ser uma *concepção alternativa* sobre o que acontece com os objetos que são soltos em movimento, os quais, por diversas vezes no cotidiano, costumam serem afetados pela resistência do ar. E ao se reproduzir o vídeo, surgiu uma experiência afetiva: os estudantes mostraram-se surpresos com o resultado. Depois, ficaram muito atentos com o porquê de aquilo acontecer, ou seja,

manifestaram predisposição associada a afetividade do evento educativo (vide Novak (MOREIRA, 2019)). Isto gera um ciclo virtuoso, onde há predisposição no evento educativo seguinte, e de fato, no vídeo sobre trajetória relativa, a atenção dos estudantes do vídeo anterior pareceu se manter, muito embora tenha sido, neste caso, parte de uma exposição, sem espaço planejado para interação.

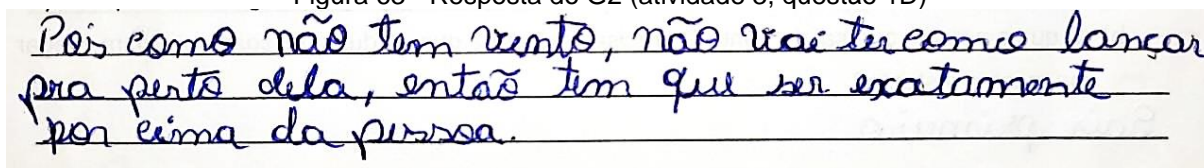
2.19.2 Atividade 3 em Grupo

Formou-se sete grupos, G2, G3, G4, G5, G6, G7 e G8. O item 1 (a) da questão 1 trata sobre o lançamento de uma boia para um homem no mar a partir de um avião em movimento (desconsiderando o efeito de resistência do ar). Ao serem perguntados quem estava em movimento do referencial do piloto do avião, todos responderam que o homem no mar; no item 1 (b), ao serem perguntados quem estava em movimento do referencial do homem no mar, todos responderam que o avião. Trata-se de uma questão que progressivamente exige-se maior elaboração das respostas dos estudantes.

Estas respostas indicam que os modelos mentais dos estudantes foram funcionais na interpretação do Movimento Relativo e do Princípio da Relatividade dentro dos limites dessa situação.

No item 1 (c), quando perguntados “[...] em qual lugar o avião deve soltar a boia para que ela caia o mais perto possível da pessoa em alto mar [...]”, as respostas dos grupos ficaram divididas, mas a maioria disse que antes do homem. No item 1 (d), pediu-se uma justificativa da resposta do item anterior. A resposta de G2 mostra uma compreensão de que o movimento do avião não vai interferir no movimento da boia, o que é um equívoco, pois contraria o conceito de Inércia. Esta resposta na Figura 63 abaixo.

Figura 63 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 1D)



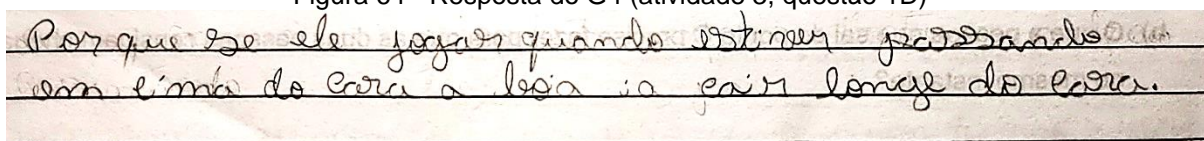
Pois como não tem vento, não vai ter como lançar pra frente dela, então tem que ser exatamente por cima da pessoa.

Fonte: Próprio autor

Embora já se houvesse trabalhado a situação sobre Inércia nesta aula, mesmo que se tenha aprendido, não foi uma *aprendizagem significativa* para G2, uma vez que não conseguiu aplicar este conceito nesta nova situação-problema.

A resposta de G4, mostrada na Figura 64, por outro lado, mostra sua compreensão de que soltar a boia na posição verticalmente acima do homem no mar faria com que a boia fosse para frente, tal como prediz o conceito de Inércia. Esta interpretação discutida em grupo veio escrita de forma diferenciada, onde destaca-se a informalidade do uso do vocativo “cara”, indicando que o grupo consegue transferir estes significados, o que são evidências de *aprendizagem significativa* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 64 - Resposta do G4 (atividade 3, questão 1D)

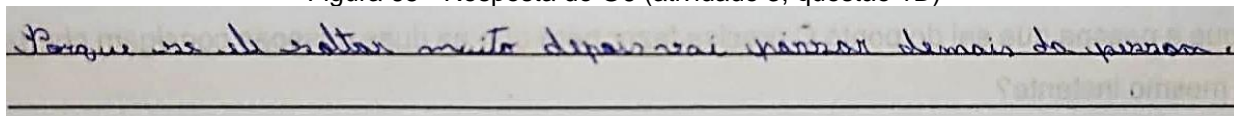


Por que se ele jogar quando estiver passando
em cima do cara a boia ia cair longe do cara.

Fonte: Próprio autor

A resposta de G6 nesse item **1(d)**, ainda que inicialmente não tenha ficado totalmente claro, deixa o entendimento deles sobre o que acontece quando se solta a boia verticalmente acima do homem no mar. É o que pode ser visto na Figura 65, abaixo. Pode-se associar a resposta deste grupo com a resposta do item **1(c)** na qual disseram que “[...] *precisa soltar a boia no ponto inicial*” (G6), sugerindo que reconhecem a grande velocidade do avião que seria transferida para a boia (princípio da Inércia), a ponto de indicarem que teria que soltá-la antes do homem: no ponto inicial. E caso soltasse depois, a boia iria “[...] *passar **demais** [...]*” (G6, grifo do autor).

Figura 65 - Resposta do G6 (atividade 3, questão 1D)



Porque se ele soltar muito depois vai passar demais da pessoa.

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “*porque se ele soltar muito depois vai passar demais da pessoa*”

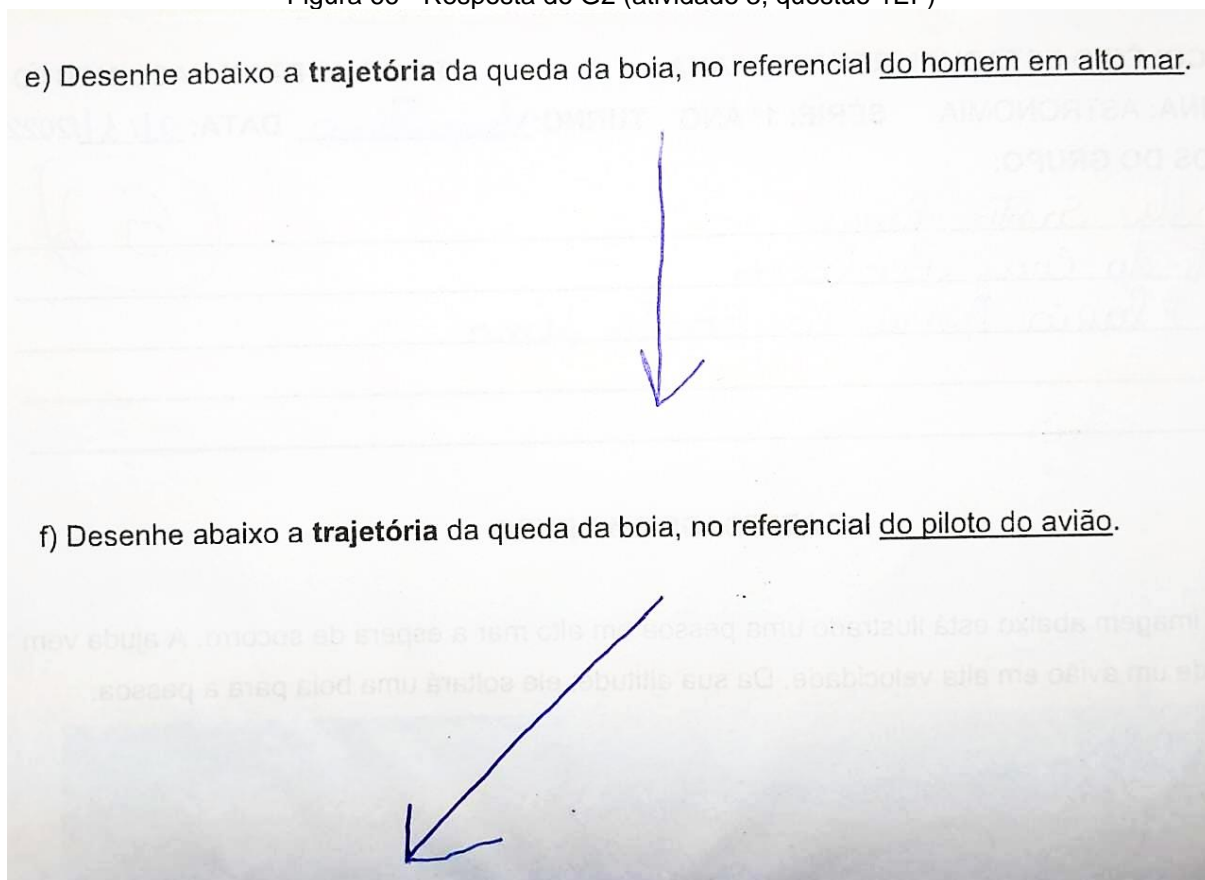
Esta resposta de G6, na Figura 65, parte de uma mediação de significados feita entre os membros do grupo (vide Vygotsky e Gowin (MOREIRA, 2019)), utilizando-se da linguagem e dos símbolos que possuíam, a partir de uma situação-problema (aparentemente frutífera) proposta pelo professor. Dessa forma, parece ter tido como resultado o desenvolvimento de um novo *esquema*, com novos procedimentos que os levaram a tal resposta (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)). Lembrando que a maioria dos estudantes não previram corretamente, na situação do vídeo da aula sobre a Inércia, em

que ocorreu o lançamento da bola a partir do trem em movimento, esta discussão parece ter tido efeito, vide resposta em análise. Relacionar os conhecimentos destas duas situações é uma forma de *aprendizagem significativa combinatória* (conforme apontado por Ausubel (MOREIRA, 2019)). Quanto mais situações conhecidas, mais sentido faz o conceito de inércia para os estudantes (conforme descrito por Vergnaud (MOREIRA, 2019)).

Seguindo os demais itens da questão relativa ao vídeo, apresenta-se análises dos itens **1(e)** e **1(f)** da **questão 1**, que trazem respectivamente; “*Desenhe abaixo a trajetória da queda da boia, no referencial do homem em alto mar” e “[...] no referencial do piloto do avião”.* O objetivo é verificar a ilustração dos estudantes mediante repostas nos demais itens, com a apresentação dos resultados dos seus modelos mentais através da concretude da representação mental do tipo imagem (vide Johnson-Laird (MOREIRA, 2019)).

A grande maioria das respostas fizeram desenhos diferentes, reconhecendo o efeito das diferentes trajetórias a depender do referencial. Mas em algumas vezes essa diferença não foi adequada. A resposta de G2, que está na Figura 66 abaixo, mostra o caso do não reconhecimento do efeito da inércia, no qual a boia cairia do avião, sem qualquer influência da velocidade em que o avião estava; ou seja, do referencial do homem no mar a boia cai de forma vertical e do referencial do piloto, a boia desloca-se para trás.

Figura 66 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 1EF)



Fonte: Próprio autor

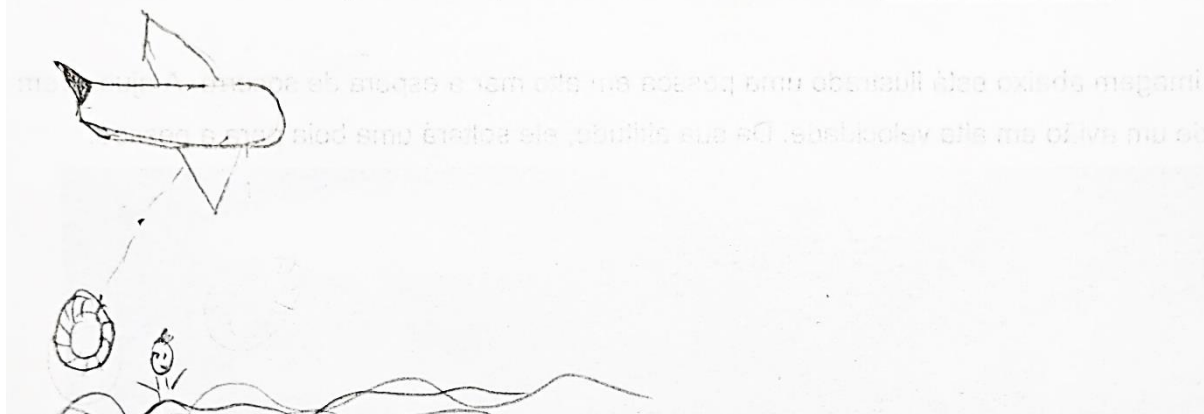
A resposta de G7 , esquematizada na Figura 67, representa um segundo caso, no qual reconhece (item **1(e)**) que o movimento do avião se junta ao movimento de queda da boia, de forma que a boia se movimenta para frente enquanto cai, a partir do referencial do homem no mar; mas, do referencial do piloto (item **1(f)**), a boia não mantém o mesmo movimento horizontal do avião, ficando para trás dele. É como se reconhecesse que há um movimento que faz a boia avançar, mas esse movimento não acompanha o avião. Esta diferença realmente existe por causa do efeito da resistência do ar, que, no entanto, foi solicitado aos estudantes que não o considerassem, no início da atividade. Assim, aparentemente, a *concepção alternativa* do *subsunçor* foi mais forte (vide Novak (MOREIRA, 2019)) e esse grupo teve dificuldade de fazer uma *diferenciação progressiva*, i.e., conceber o movimento dessa boia nestas diferentes condições, o que pode ser realmente difícil de imaginar para um objeto tão suscetível aos efeitos do ar como este.

Figura 67 - Resposta do G7 (atividade 3, questão 1EF)

e) Desenhe abaixo a **trajetória** da queda da boia, no referencial do homem em alto mar.



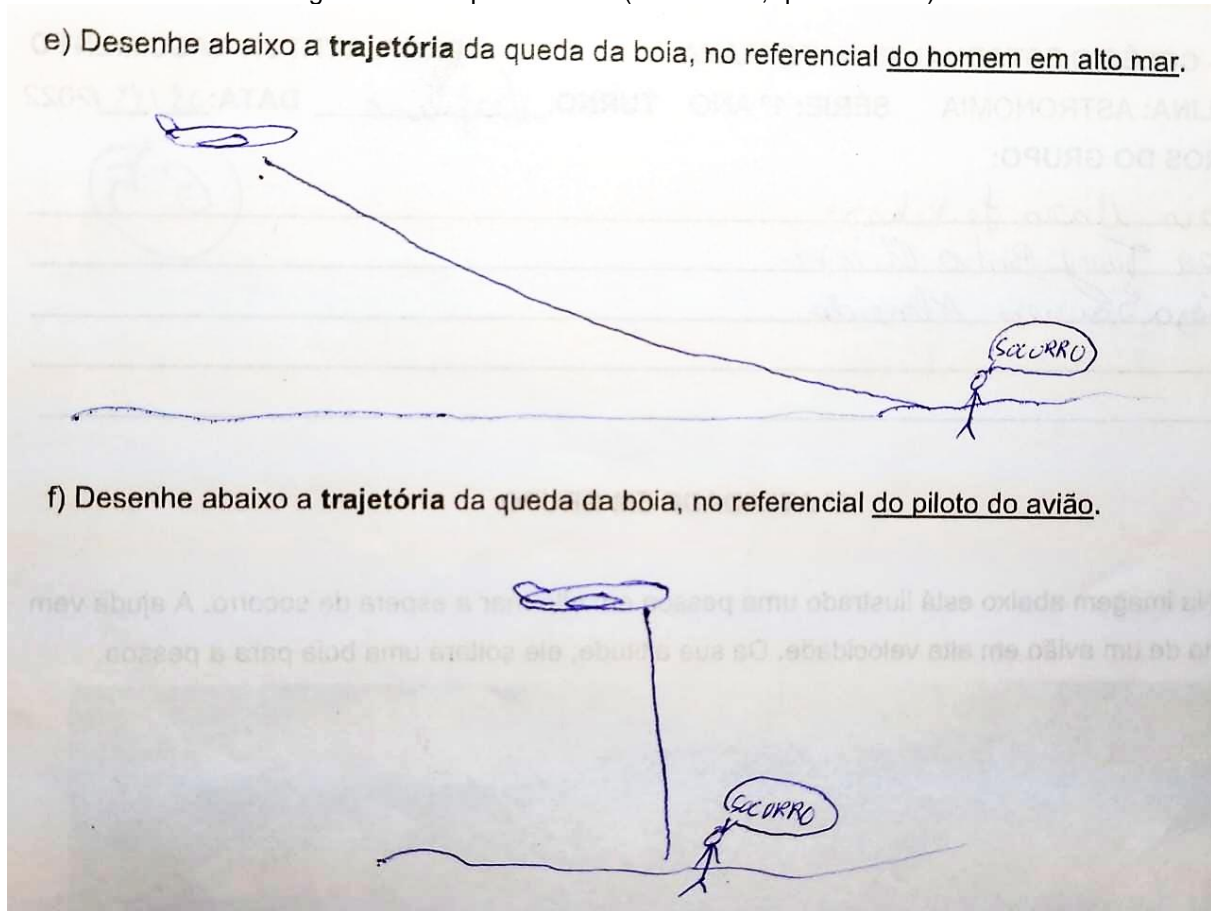
f) Desenhe abaixo a **trajetória** da queda da boia, no referencial do piloto do avião.



Fonte: Próprio autor

A resposta de G5, na Figura 68, representa o caso no qual há uma interpretação correta da trajetória em cada referencial. A maioria dos grupos responderam de forma semelhante ao G5. O grupo, aparentemente, conseguiu fazer uma *diferenciação progressiva* da situação (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)): partindo da concepção geral do Princípio da Relatividade, trabalhada na exposição dialogada, identificou quais seriam as diferenças nas trajetórias nos dois referenciais – o do item **1(e)** já discutido, no qual a boia vai em direção ao homem, e o do item **1(f)**, no qual o homem no mar vai em direção ao avião e a boia simplesmente cai em linha reta. Esta é uma evidência de *aprendizagem significativa* utilizando os conceitos de trajetória, inércia e movimento relativo, simultaneamente.

Figura 68 - Resposta do G5 (atividade 3, questão 1EF)



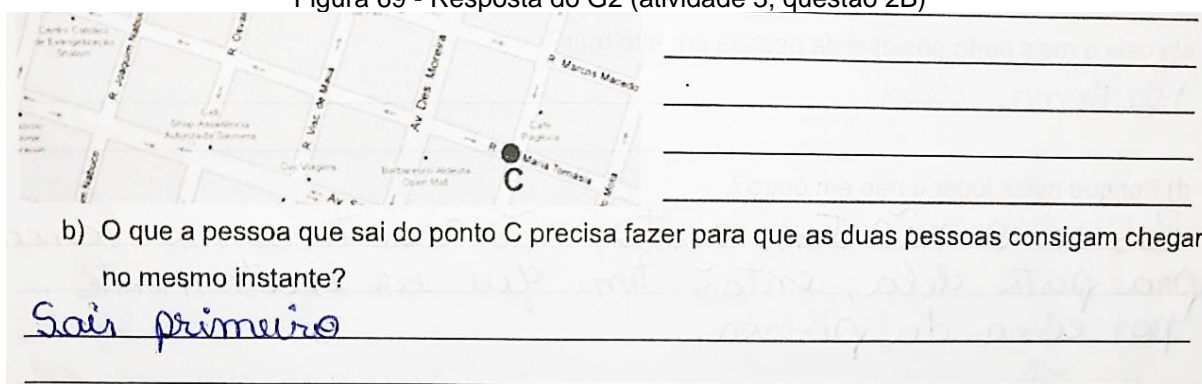
Fonte: Próprio autor

Seguindo a análise das respostas, apresenta-se a **questão 2**, que propõe uma situação-problema em nível de baixa complexidade, que busca *consolidar* os conhecimentos dos estudantes (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)) necessários para se fazer a Metáfora dessa UEPS, através da mediação de significados feita entre os participantes de cada grupo (vide Vygotsky e Gowin (MOREIRA, 2019)). Na situação, traz-se “[...] *um encontro de duas pessoas em um local planejado saindo de lugares com diferentes proximidades [...]*”. No item **2(a)**, os estudantes foram perguntados se são iguais a distância que cada um irá percorrer. A grande maioria disse que sim a esta indagação.

No item **2(b)**, traz a indagação: “*o que precisa acontecer para chegarem ao mesmo tempo no local indicado?*” As respostas se dividiram. Uma parte não compreendeu o que foi questionado e respondeu conforme o que entendeu. Uma outra parte, representado na resposta de G2 é mostrado na Figura 69. Observa-se a partir da Figura 69, que este grupo utilizou como solução que uma pessoa deveria sair antes da outra, o que, assim como no caso dos carros do experimento com Arduíno (executado no Passo 3), em que os carros

vermelho e azul largaram em momentos discrepantes, não é útil para se usar na Metáfora, pois implicaria em eventos que aconteceriam de forma não simultânea. A não simultaneidade de eventos de fato é algo que ocorre como efeito relativístico, mas não faz parte do escopo desta unidade de ensino trabalhar este resultado. Embora não seja desejável para a Metáfora, esta conclusão produzida pelos modelos mentais dos estudantes está correta, uma vez que a **questão 2** não deixou evidente que as duas pessoas teriam que sair ao mesmo tempo – este é mais um momento de mudança do *modelo mental* docente a fim de contextualizar a situação de forma mais funcional.

Figura 69 - Resposta do G2 (atividade 3, questão 2B)



O mapa mostra uma rua com várias quadras. Um ponto 'C' é marcado no cruzamento de duas ruas. À direita do mapa, há uma área com linhas horizontais para a resposta. Abaixo do mapa, há uma pergunta e uma resposta manuscrita.

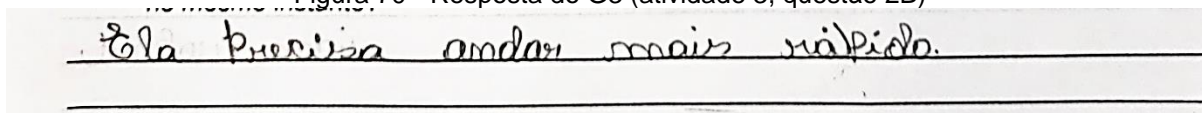
b) O que a pessoa que sai do ponto C precisa fazer para que as duas pessoas consigam chegar no mesmo instante?

Sair primeiro

Fonte: Próprio autor

A resposta de G3, mostrada na Figura 70, representa a parte que alcançou o objetivo planejado nesta atividade para a Metáfora. Em que desejando-se simultaneidade nos eventos, a solução do ponto de vista da Mecânica Clássica é o aumento de velocidade.

Figura 70 - Resposta do G3 (atividade 3, questão 2B)

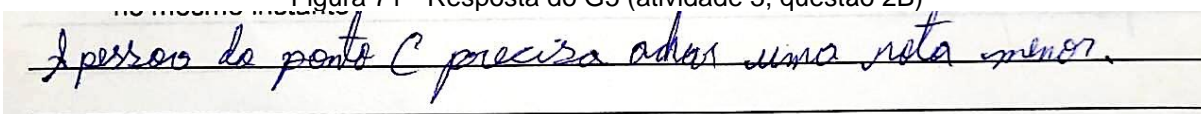


ela precisa andar mais rápido.

Fonte: Próprio autor

A resposta de G5, esquematizada na Figura 71, é unívoca para este grupo, nenhum outro grupo respondeu semelhantemente e, vale destacar esta resposta, uma vez que o *esquema* utilizado na interação com a situação produziu uma solução que também não foi esperada, contudo pertinente para a metáfora.

Figura 71 - Resposta do G5 (atividade 3, questão 2B)



As pessoas do ponto C precisa adotar uma rota menor.

Fonte: Próprio autor

O grupo considerou que eles podiam chegar ao mesmo tempo de uma forma que não se modifique a velocidade, mas se modificassem as rotas das pessoas. Pensando na Metáfora, isto implica em, para que os eventos sejam simultâneos, se modifique o espaço, que é a solução da Teoria da Relatividade Restrita para que a velocidade da luz não seja ultrapassada.

2.20 ENCONTRO 5

Nesta seção, analisa-se a participação dos estudantes na correção de atividade desta etapa da proposta, sendo utilizada uma simulação interativa, que faz parte dos passos 4 e 5 dessa UEPS.

2.20.1 Correção e Simulação interativa

Na atividade desta etapa utiliza-se uma simulação interativa da SimFi⁵⁹ para correção das questões da Atividade 3 em Grupo, que estão no Apêndice D.

Na correção da **questão 1** desta atividade, com uma abordagem dialogada, tendo em vista os itens **1(a)** e **1(b)**. Alguns estudantes falaram o que seus grupos responderam. Para os demais itens – **1(c)**, **1(d)**, **1(e)** e **1(f)** –, foi utilizado uma simulação interativa de um lançamento de bomba no alvo a partir de um avião. Esta simulação teve por objetivo introduzir uma abordagem sobre o princípio da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2019), do *não uso do quadro de giz*, buscando uma participação ativa do estudante por uma diversificação da estratégia de ensino.

Por ser interativa, esta simulação destacou-se por ser não tão somente um material didático, mas também um mediador da aprendizagem, de forma que houve, mais do que uma *relação triádica* (vide Gowin (MOREIRA, 2019)), mas uma *relação quadrática* Professor-Estudante-Conhecimento-Simulação (MOHR, *et al.*, 2018, p. 47).

⁵⁹ Disponível em: <https://simfi.itch.io/lanamento-horizontal>.

Os estudantes foram desafiados a acertar o alvo, e se empolgaram bastante com as suas tentativas. Teve inclusive gritos de torcida e gargalhadas ao final das tentativas. A cada intervenção sobre a inércia, trajetória e velocidade, intercalando as tentativas, os estudantes faziam silêncio e semblante de atenção. Eles pareciam entender as intervenções como dicas para acertar o alvo. Todos se divertiram muito. Conforme Novak (MOREIRA, 2019), estes afetos positivos que aconteceram neste evento educativo são fundamentais para que haja predisposição para se aprender significativamente.

2.21 ENCONTRO 6

Nesta seção, que faz parte do passo 5 dessa UEPS, analisa-se a participação dos estudantes nas exposições dialogadas com o uso do experimento com a plataforma Arduino e as respostas da Atividade 4 em Grupo, cujas perguntas estão disponíveis no Apêndice E.

2.21.1 Experimento com Arduino e Exposições dialogadas

Nas etapas que se seguem, foram utilizadas situações de questões que não foram corrigidas ou trabalhadas anteriormente – como foi o caso das **questões 2 e 3** da Atividade 2 em Grupo mostrada no Apêndice C, e da **questão 2** da Atividade 3 em Grupo mostrada no Apêndice D. Algumas destas questões foram reformuladas para estimular novas elaborações – conforme descrito no capítulo de *Contexto e Procedimentos Didáticos Metodológicos* –, aproveita-se do contexto já conhecido pelos estudantes e o direciona para maiores níveis de complexidade, com o intuito de ampliar o seu domínio do *campo conceitual* sobre Movimento (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)). O uso dessas várias situações (um total de nove) foi o de promover a *reconciliação integradora*, uma vez que, com as discussões, há indicação de semelhanças e diferenças entre elas (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Inicialmente, foi executado o experimento com a plataforma Arduino com a colaboração dos estudantes. A descrição do experimento está em 5.3.1. Neste momento, percebe-se que os estudantes se envolveram bastante com o experimento, animaram-se com a corrida dos carros na pista e deram gritos de torcidas para seu carro favorito. E então, enfim, foi discutida a **questão 2**, que está apresentada no Apêndice C, ao mesmo tempo que inteirando os estudantes para iniciar a Metáfora ou comparação entre o que

acontece no experimento e as questões sobre Relatividade. Perguntou-se: Considerando que você esteja proibido de modificar o tamanho das pistas, o que o carrinho perdedor teria que fazer para ganhar a corrida? E como esperado, a maioria respondeu que deveria ter velocidade maior.

Na exposição dialogada sobre Mecânica Clássica, as reações dos estudantes se deram conforme o esperado, havendo troca de significados na exposição da resposta exposta por cada grupo, através de uma *relação triádica* Professor-Estudante-Conhecimento, até que se chegasse em um significado compartilhado, defendido previsto por Gowin (MOREIRA, 2019). A parte da exposição dialogada sobre Eventos foi o momento em que a participação se deu de forma tímida, com pouca participação. Isto, pode ter ocorrido, por ter sido um assunto muito distante da que eles estavam acostumados, contudo importante para a relatividade.

Na exposição dialogada sobre Cinemática Relativística, ao mostrar o que significa a contração do espaço e que este fator ocorreria apenas próximo da velocidade da luz, os estudantes aparentaram estar apreensivos com o assunto, mas participaram como esperado. Quando feito a Metáfora, ou seja, comparação entre o manuseado no experimento - com o auxílio das pistas do experimento com Arduíno - e o que se espera em termos relativísticos para explicar o porquê há dilatação do espaço, aparentemente houve uma recepção positiva de parte dos estudantes, com semblantes de *insight* e manifestaram-se espontaneamente que entenderam.

A Metáfora dessa UEPS teve por objetivo de ser um *organizador prévio* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)), ou seja, uma ponte que pretende manipular a cognição do estudante para ligar o que ele conhece (os conceitos trabalhados de Movimento Relativo, Referencial, Princípio da Relatividade, Trajetória, Inércia) com o que se pretende ensinar (Espaço Relativo) , por isto considera-se este experimento com a plataforma Arduino um dos recursos utilizados mais importante desta proposta, pois promoveu a transição e consolidação dos conceitos trabalhados sobre relatividade.

Moreira (2019, p. 238) defende o uso de metáforas no ensino:

As metáforas são igualmente instrumentos que se usa para pensar. [...] 'Não só poetas usam metáforas. Biólogos, físicos, historiadores, linguistas, enfim, todos que tentam dizer algo sobre o mundo usam metáforas [...]' (POSTMAN, 1996, p.173-174). [...] Os modelos físicos são metafóricos. Há modelos que supõem que as entidades físicas se comportam como se fossem partículas perfeitamente elásticas ou que tenham partículas de massa nula. [...] Entender um campo de conhecimento implica compreender as metáforas que o fundamentam. Mas

novamente aí não se trata apenas de aprender significativamente a metáfora no sentido de ancorá-la em algum subsunçor.

Em seguida, o autor ressalta que é preciso ser crítico ao se utilizar metáforas, pois apesar de serem um instrumento de percepção do mundo, não se pode correr o risco de serem compreendidas de forma literal (MOREIRA, 2019, p. 238). Posteriormente, deve-se apontar as diferenças, semelhanças e limitações da metáfora com o que se entende como real, para que se tenha uma *aprendizagem significativa crítica*.

Didaticamente, as analogias permitem fazer comparações por meio de semelhanças ou diferenças, o que é fundamental para a explicação de conceitos de Física Moderna. Já as metáforas podem ajudar a aproximar conceitos concretos de abstratos, mas isso é feito, em geral, de forma mais simples, o que requer um cuidado maior por parte dos autores de livros didáticos e dos professores que os utilizam (KOPP e ALMEIDA, 2019, p.1).

Interpretando um dos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira (2019), do *aprendiz como perceptor/representador*, os estudantes receberam este conhecimento sobre contração do espaço, perceberam de forma particular, construindo um *modelo mental* para representá-lo (vide Johnson-Laird (MOREIRA, 2019)). Como os estudantes não reagiram o suficiente neste tema, não foi possível tirar conclusões sobre como foi representado este conceito em suas cognições. Esta análise foi feita na situação-problema proposta para se fazer em grupo, a seguir.

2.21.2 Atividade 4 em Grupo

Nesta atividade, formou-se cinco grupos, G1, G2, G3, G10 e G11. As **questões 1 e 2** são, respectivamente, perguntas abertas sobre qual é o significado de Velocidade Relativa e Espaço Relativo. Depois de analisadas com cuidado, chegou-se à conclusão de que a maioria das respostas foram reproduzidas mecanicamente, típica de respostas de uma questão elaborada fora de um contexto situação-problema.

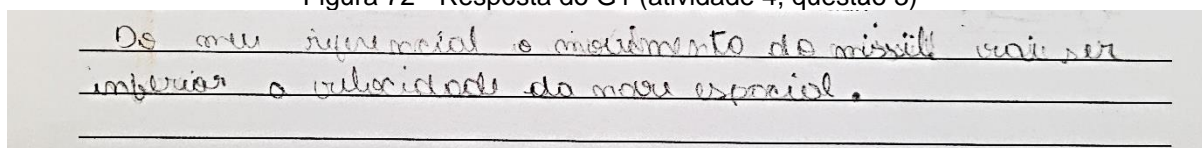
Interpretando Ausubel (MOREIRA, 2019, p. 164), estas perguntas abertas solicitando as características de Velocidade Relativa e Espaço Relativo induziram os estudantes a darem respostas superficiais, que não são significativas para eles, pois este é um gatilho devido a sua longa experiência exames nos quais a *aprendizagem mecânica* é suficiente. A melhor forma de buscar o conhecimento dos estudantes sobre um tema é

com uma situação, a qual possa ter grande capacidade de transformar o seu conhecimento adquirido.

Em contraste com as demais questões, a **questão 3** propõe a seguinte situação-problema: “Imagine uma nave espacial que está com uma velocidade muito próxima da velocidade da luz. E ela quer destruir um disco voador a sua frente com míssil veloz. Já que segundo a Teoria Relativística de Einstein, nenhum objeto pode ultrapassar a velocidade da luz, o que vai acontecer com o movimento do míssil do seu referencial?”. Depois de analisadas com o mesmo cuidado, chegou-se à conclusão de que a grande maioria das respostas foram tentativas de resolução a partir do conhecimento que eles possuíam, ou seja, estiveram dispostos a construir um *modelo mental* para lidar com o problema. Chamaremos estas de respostas “válidas”.

Das respostas válidas, uma parte, como representado pela resposta de G1 que segue mostrado na Figura 72, apesar de terem apresentado identidade na solução, parece não ter internalizado o conceito de Espaço Relativo. O *esquema* (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)) utilizado por G1 busca solução da condição imposta pela situação sobre não ser possível ultrapassar a velocidade da luz, no entanto, sem o uso da contração do espaço. Para eles, parece que o míssil lançado seria ultrapassado pela nave, desconsiderando os efeitos da Inércia. Assim, parece não ter havido interação com o conceito de Espaço Relativo com os demais utilizados para resolução deste problema, e, portanto, não houve evidência de *aprendiza significativa* com G1 neste caso.

Figura 72 - Resposta do G1 (atividade 4, questão 3)



Do meu referencial o movimento do míssil vai ser inferior a velocidade da nave espacial.

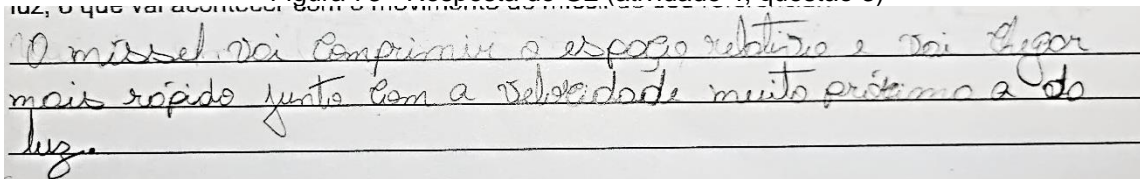
Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito acima “Do meu referencial o movimento do míssil [sic] vai ser inferior a velocidade da nave espacial.”

A resposta de G2, conforme apresentado na Figura 73, bem como a de G10 apresentada na Figura 74, mostram que parte das respostas válidas que utilizaram o conceito de Espaço Relativo. Nota-se que G2 utiliza o termo “espaço relativo” quando seria apenas “espaço”, demonstrando certa confusão em relação ao símbolo associado ao significado “contração do espaço”. Apesar disso, G2 fez uma proposição correta utilizando o significado em si. É apontado que o míssil não ultrapassa a velocidade da luz

e consegue chegar até o alvo através da contração do espaço. A forma de escrita autêntica em conjunto com a aplicação adequada do conceito de contração do espaço é evidência de *aprendizagem significativa* por parte deste grupo, ou melhor, de uma *aprendizagem significativa proposicional* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 73 - Resposta do G2 (atividade 4, questão 3)



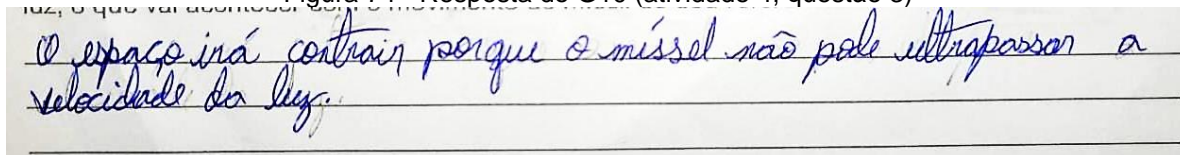
O míssil vai comprimir o espaço relativo e vai chegar mais rápido junto com a velocidade muito próxima a da luz.

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito acima "O míssil vai comprimir o espaço relativo e vai chegar mais rápido junto com a velocidade muito próxima a da luz."

A resposta de G10, que segue apresentada na Figura 74, faz uma proposição de causalidade entre o limite da velocidade da luz e a contração do espaço, mostrando também o uso articulado dos conceitos, com escrita autêntica, o que também significa evidência de uma *aprendizagem significativa proposicional*.

Figura 74 - Resposta do G10 (atividade 4, questão 3)



O espaço irá contrair porque o míssil não pode ultrapassar a velocidade da luz.

Fonte: Próprio autor

2.22 ENCONTRO 7

Nesta seção, analisa-se a participação na correção de atividade anterior e revisão, bem como as respostas dadas na Atividade 5 em Grupo, que está descrita no Apêndice F. Este momento caracteriza-se como passo 5 e 6 dessa UEPS.

2.22.1 Correção da atividade

Perguntou-se nesta atividade sobre as respostas dadas pelos estudantes nas três questões da Atividade 4 em Grupo. As **questões 1 e 2**, que perguntavam a característica geral de Velocidade Relativa e Espaço Relativo, foram aplicadas a situações-problema na

correção, comparando a visão da Mecânica Clássica (Velocidade Relativa) e da Teoria da Relatividade Restrita (Espaço Relativo). Os estudantes participaram timidamente de toda correção e obteve-se respostas conforme o esperado pelo planejamento inicial.

Neste momento de comparação das duas teorias, foi promovido um dos princípios facilitadores da Aprendizagem Significativa Crítica, o da *incerteza do conhecimento*, pois foi apresentado diretamente duas visões científicas diferentes, da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade Restrita, sobre as mesmas situações. Mostrando que os conceitos de Velocidade Relativa e Espaço Relativo possuem um contexto teórico no qual são válidos com seu significado (MOREIRA, 2019)

2.22.2 Atividade 5 em Grupo

Formou-se sete grupos, G1, G3, G4, G5, G7, G8 e G12. Foi entregue uma última atividade em grupo para os estudantes.

A **questão 1** é uma situação-problema sutilmente diferente da trabalhada na em aulas anteriores, sobre o movimento de uma mosca dentro de um carro. Perguntou-se “*Segundo a Teoria Clássica, a velocidade da mosca no referencial 1 é igual à do referencial 2? Por quê?*”. A grande maioria das respostas apontou corretamente que no **referencial 2** a mosca está mais rápida.

A resposta do G1, que está apresentada na Figura 75, e a do G12, que está apresentada na Figura 76, traz considerações interessantes, pois além de identificar corretamente que as velocidades nos referenciais propostos na atividade não são as mesmas, analisaram a causa, demonstrando os *esquemas* que utilizaram para lidar com esta situação (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)). O G1 destaca “[...] *a mosca e o carro estariam se movendo juntos*”, tendo o cuidado de deixar claro a partir de qual Referencial estava fazendo esta proposição. Enquanto G12, analisando o referencial externo ao carro, faz uma relação de causalidade “[...] *se o carro estiver em movimento [...] [então] a mosca vai estar mais rápida [sic]*”. Estas são evidências de *aprendizagem significativa* do tipo *proposicional*, por articularem o conceito de Referencial com o de Velocidade Relativa, e ao mesmo tempo evidência de *aprendizagem significativa* da forma *subordinada*, pois identificam esta situação da mosca no carro em movimento como um exemplo destes conceitos (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 75 - Resposta do G1 (atividade 5, questão 1)

Não, porque a pessoa de dentro do carro iria estar parada vendo a mosca se movendo (do ponto de vista dela dentro do carro). Do ponto de vista de alguém de fora a mosca e o carro estariam se movendo juntos.

Fonte: Próprio autor

Figura 76 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 1)

Não porque se o carro estiver em movimento no referencial de quem está de fora do carro a mosca vai estar mais rápida.

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “Não porque se o carro estiver em movimento no referencial de quem está de fora do carro a mosca vai estar mais rápida [sic]”

A Figura 77 abaixo mostra a resposta de G8 em que afirma que a velocidade não será igual nos referenciais inerciais diferentes, e parece traduzir em frase o mapa mental utilizado na aula (Figura 38) de forma adequada à situação, o que de fato poderia significar uma compreensão genuína. Mas ao mesmo tempo, se foi uma compreensão genuína, ela não está explícita na resposta, pois, na justificativa, a resposta está generalista, sem apontar para aspectos particulares da situação-problema proposta, como, por exemplo, explicar como seria a citada “Velocidade Relativa” neste caso. Portanto, não houve evidência de *aprendizagem significativa* nesta questão para este grupo.

Figura 77 - Resposta do G8 (atividade 5, questão 1)

Não. Pois na Teoria Clássica quando se tem Campos Inerciais diferentes se tem a Velocidade Relativa.

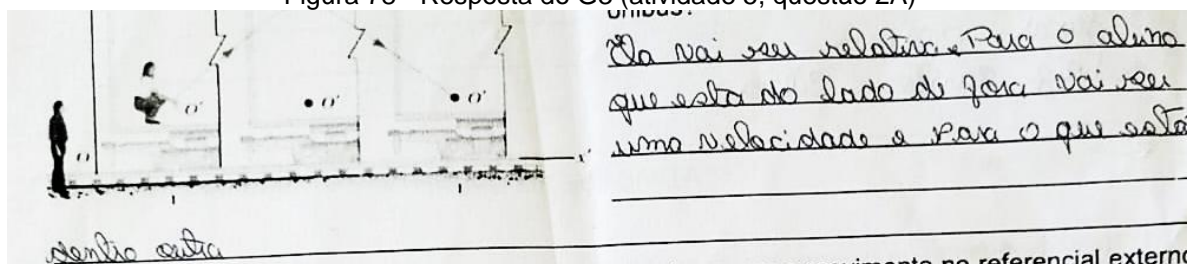
Fonte: Próprio autor

A **questão 2** traz o contexto da experiência mental realizada por Einstein (vide capítulo 3, *Movimento – da Mecânica Clássica à Teoria da Relatividade Restrita*), mas com modificações, que trata de uma situação na qual um trem, que viaja próximo à velocidade da luz e com uma pessoa que, dentro deste trem, acende uma lanterna na direção vertical de dentro do vagão. O vagão possui um espelho no teto que reflete a luz de volta para a lanterna, conforme está representado no Apêndice F. Então compara-se a observação dessa situação de um referencial interno com um externo ao vagão.

No item **2(a)**, perguntou-se: “Para a Teoria Clássica, o que acontece com o movimento no referencial do lado de fora do trem?”. A grande maioria respondeu corretamente, se dividindo em dois tipos de resposta.

A resposta de G3, dada na Figura 78, representa o grupo de estudantes que identificou corretamente o efeito da velocidade relativa associada ao referencial que a observa, e que estar na velocidade da luz não traz nenhum efeito novo, na perspectiva da Mecânica Clássica. E faz isso usando os elementos específicos desta situação como identificando a pessoa de dentro do vagão como “aluna” (que faz parte da modificação feita na experiência mental de Einstein). No entanto, não dá detalhes de como seria esta velocidade relativa nesta situação, como, por exemplo, em qual referencial a velocidade estaria mais alta. Contudo, a aparente interação cognitiva feita pelo grupo que ancora esta situação com a ideia de “Teoria Clássica”, que faz parte do grande objetivo desta atividade, é uma evidência de *aprendizagem significativa superordenada*, uma vez que aparentemente esta situação foi englobada dentro de “Teoria Clássica”, denominação trabalhada recentemente.

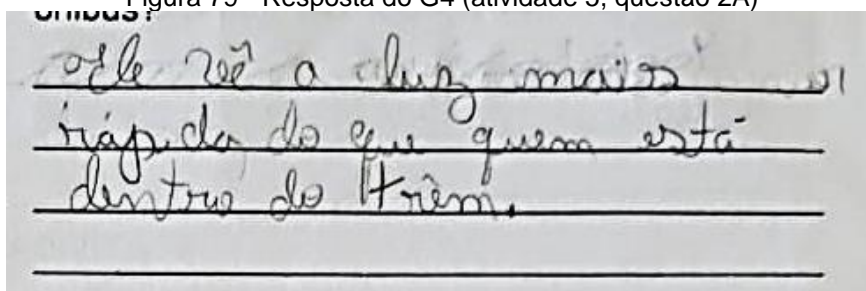
Figura 78 - Resposta do G3 (atividade 5, questão 2A)



Fonte: Próprio autor

A resposta de G4 a esta situação, mostrada na Figura 79, representa o tipo de resposta que além de associar corretamente o efeito de velocidade relativa com a Mecânica Clássica, ainda especifica que a luz estaria com uma velocidade maior no referencial externo. No contexto do ensino da Teoria da Relatividade Especial (TRE), este detalhamento é central, uma vez que é justamente o contrário disto que se torna um postulado da TRE: A velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais inerciais. Dada a autenticidade da escrita e uso adequado dos conceitos, esta é uma evidência de *aprendizagem significativa superordenada*.

Figura 79 - Resposta do G4 (atividade 5, questão 2A)

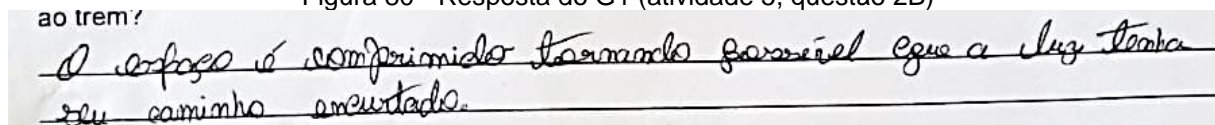


a luz vai a uma velocidade maior do que quem está dentro do trem.

Fonte: Próprio autor

No item **1(b)** da questão abordada, perguntou-se: “*Para a Teoria Relativística de Einstein, o que acontece com o movimento no referencial externo ao trem?*”. A grande maioria respondeu de forma correta, conforme exposto abaixo e apresentado na Figura 80, que representa a resposta do G1. Está associada, na resposta, o conceito sobre a “Teoria Relativística de Einstein” (termo presente na pergunta) com “contração do espaço” (representada na resposta). E ainda acrescenta na sequência “[...] tornando possível que a luz tenha seu caminho encurtado”, o que, embora redundante, parece querer justificar como a luz chega à frente de outro objeto rápido sem aumentar sua velocidade. Apesar da dificuldade de articular os conceitos, a associação feita é o grande objetivo de aprendizagem desta UEPS, e a escrita e até a dificuldade de argumentar (mas sem ser generalista) aponta para autenticidade na resposta, o que é indício de *aprendizagem significativa*.

Figura 80 - Resposta do G1 (atividade 5, questão 2B)



ao trem?
O espaço é comprimido tornando possível que a luz tenha seu caminho encurtado.

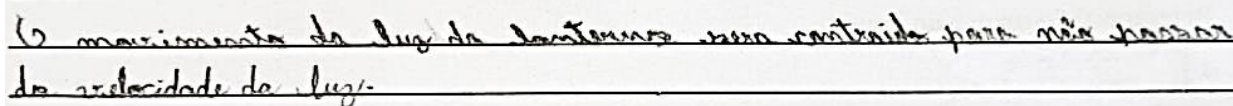
Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “O espaço é comprimido tornando possível que a luz tenha seu caminho encurtado”

Seguindo análise das respostas dos grupos a esta situação-problema, verifica-se pela resposta de G12, devidamente representada na Figura 81, que há uma confusão em utilizar o símbolo “movimento” quando parece que quis usar o significado de “espaço” para se referir a algo que contrai. Contudo, é uma resposta com um *esquema* (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)) interessante, pois além de identificar a “contração do espaço” com a “Teoria Relativística de Einstein”, também aponta para uma relação clara de causalidade entre a proibição de ultrapassar a velocidade da luz e a contração do espaço. Esta é uma

articulação de conceitos muito elaborada – à parte da confusão –, trazendo elementos específicos da situação-problema – como “lanterna” –, sendo evidência de *aprendizagem significativa* do tipo *proposicional* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 81 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 2B)



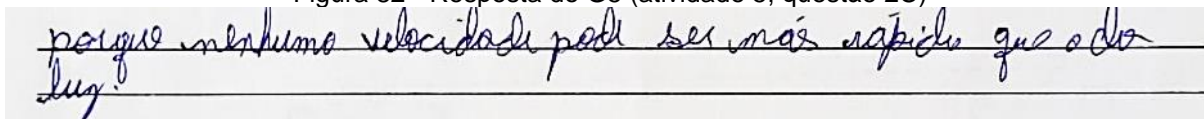
O movimento da luz da lanterna sera contraido para não passar da velocidade da luz.

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “O movimento da luz da lanterna sera [sic] contraido [sic] para não passar da velocidade da luz”

No item **1(c)**, foi perguntado: “Por que ocorrem os efeitos da Teoria Relativística de Einstein?”. A grande maioria respondeu corretamente. A resposta de G5, representada na Figura 82, e de G12, representada na Figura 83, identificam a velocidade da luz como um limite da natureza que tem como consequência o efeito da contração do espaço.

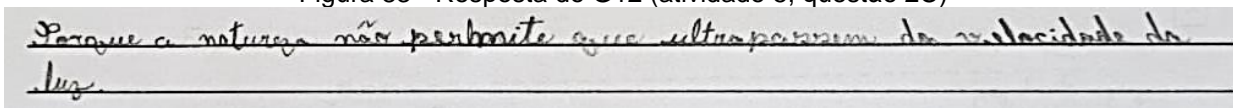
Figura 82 - Resposta do G5 (atividade 5, questão 2C)



porque nenhuma velocidade pode ser mais rápida que a da luz.

Fonte: Próprio autor

Figura 83 - Resposta do G12 (atividade 5, questão 2C)



Porque a natureza não permite que ultrapassamos a velocidade da luz.

Fonte: Próprio autor

Vale ressaltar que identificar as duas visões científicas sobre um mesmo evento, conforme o fizeram os dois grupos acima, é parte de um dos princípios da Aprendizagem Significativa Crítica, o da *incerteza do conhecimento*. A certeza do conhecimento, i.e., apontar as teorias científicas propostas em sala de aula como algo pronto, suficiente e perfeito é algo que é preciso ser superado, não condiz com a história da ciência. Em sentido contrário, quando estes estudantes identificam duas perspectivas, da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade Restrita, nesta mesma situação do trem, está sendo trabalhado, em alguma medida, nas suas cognições, a real natureza da ciência. Configura-se deste modo uma importante contribuição para uma visão crítica que permita olhar para

a cultura com certo afastamento ao mesmo tempo que é pertencente a ela; o que definitivamente não acontece se trabalhado com verdades prontas (MOREIRA, 2019).

2.23 ENCONTRO 8

Nesta seção, analisa-se as respostas da Avaliação Somativa e da avaliação dessa UEPS feita pelos próprios estudantes, cujas questões estão, respectivamente, no Apêndice G e no Apêndice H, de forma individual, os quais fazem parte do passo 7.

Esta etapa ocorreu na semana de avaliações⁶⁰ da escola. Na Figura 84, estão os estudantes realizando a avaliação desta UEPS.

Figura 84 - Estudantes fazendo a avaliação



Fonte: Próprio autor

2.23.1 Avaliação somativa

Ao entregar a folha de avaliação foi enfatizado que era mais importante que os estudantes elaborassem respostas com o conhecimento que possuíam, se preocupando menos se aquela elaboração estava correta ou não.

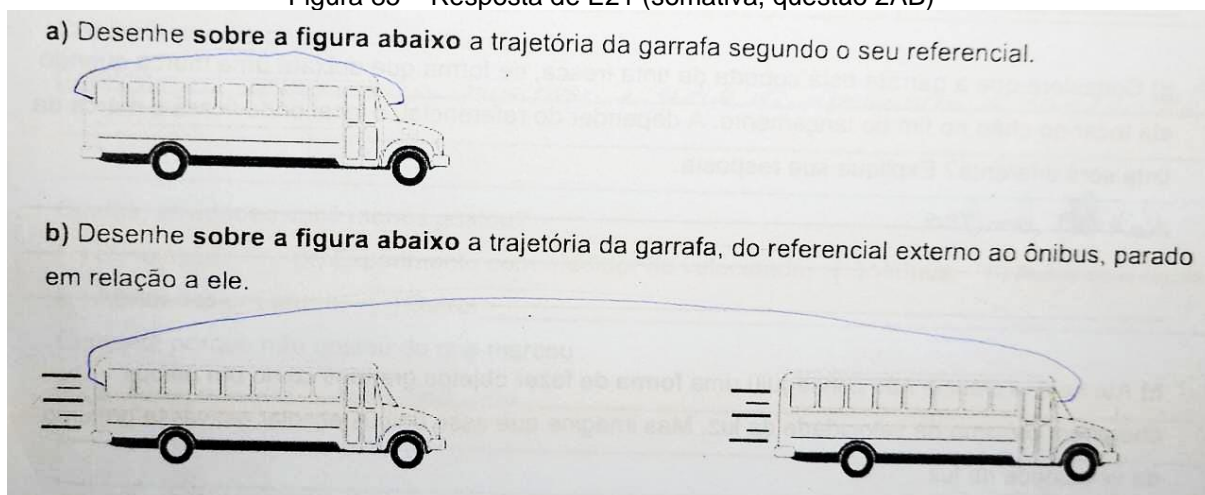
⁶⁰ Talvez por esse motivo, conforme mostrado quantitativamente no Apêndice I, neste dia a frequência foi muito maior que em todos os outros. Isto pode afetar o resultado da avaliação, uma vez que implica em ter alunos que participaram de poucas (ou nenhuma) das atividades anteriores.

A **questão 1** pergunta “qual é a maior velocidade que um corpo pode atingir?”. A maioria dos estudantes mencionaram a velocidade da luz em suas respostas, sendo que outra parte relevante respondeu outras coisas.

A **questão 2** apresenta a situação do lançamento de uma garrafa d’água, a 20km/h, do fundo de um ônibus escolar, que por sua vez está a 80 km/h, e esta garrafa chega até a frente do ônibus. Esta questão tem oito itens, mas apenas os itens **2(f)**, **2(g)** e **2(h)** são situações problemas de fato. As demais são questões pontuais para contextualização da situação.

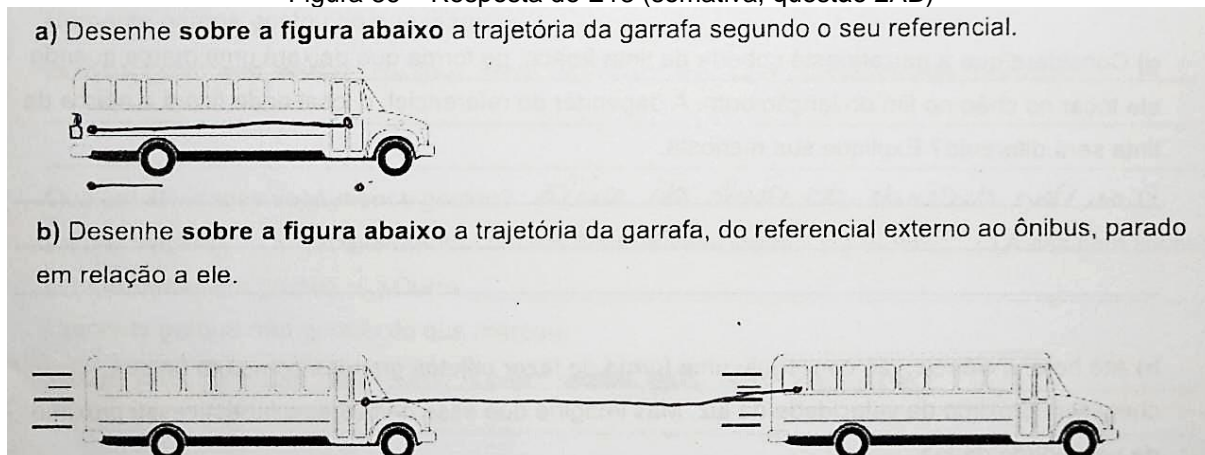
Os itens **2(a)** e **2(b)** pedem para desenhar a trajetória da garrafa nos referenciais interno e externo ao ônibus, respectivamente. As respostas se dividiram em dois grupos maiores e um menor. Um dos maiores são daqueles que fizeram as trajetórias avaliadas como corretas – como ilustrado em Figura 85 –, i.e., desenharam o percurso que a garrafa fez no referencial de dentro e de fora do ônibus. O outro grupo maior e o grupo menor são daqueles que foram avaliadas como parcial ou totalmente erradas (juntos são a maioria) – como ilustrado em Figura 86 –, i.e., especialmente no item **2(b)**, não fizeram uma trajetória que contempla todo o percurso (alguns desenhos, como da Figura 86, não foram decifrados).

Figura 85 – Resposta de E21 (somativa, questão 2AB)



Fonte: Próprio autor

Figura 86 – Resposta de E13 (somativa, questão 2AB)



Fonte: Próprio autor

Durante a avaliação, alguns alunos ficaram em dúvida sobre como era para desenhar a trajetória do item **2(b)** da **questão 2** da avaliação somativa. Eles não entenderam que o ônibus de trás e o da frente representavam o mesmo ônibus em diferentes momentos do tempo. Talvez isto tenha influenciado as respostas.

No item **2(c)**, quando perguntados qual das trajetórias desenhadas é maior, a maioria marcou que a trajetória vista do referencial externo é a maior, o que é correto. Mas este resultado é conflitante com os desenhos das trajetórias feitos, uma vez que a maioria fez total ou parcialmente errados. Esta situação foi interpretada pelo autor como uma não compreensão do que se pedia, na maioria dos casos; ou um palpite de sorte, uma vez que se trata de um item de respostas fechadas.

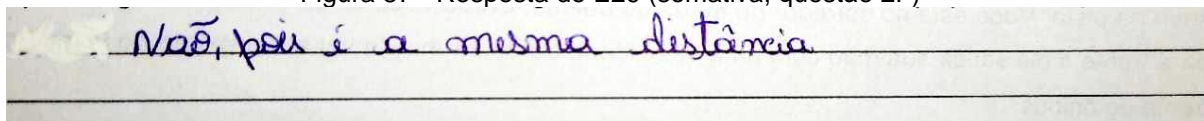
O item **2(d)** é apenas uma questão para se inteirarem do novo detalhamento da situação, no qual a garrafa é monitorada por um relógio dentro do ônibus escolar que detecta que a garrafa inicia o lançamento às 7:00:00h e termina às 7:00:03h. Então é perguntado quanto tempo demorou o lançamento, e a grande maioria respondeu, corretamente, três segundos.

No item **2(e)** (que é fechada), quando perguntados se haveria diferença no monitoramento externo ao ônibus, a maioria marcou que seria o mesmo monitoramento, o que é correto, uma vez que não existe nenhuma condição para dizer o contrário e nem foi trabalhado relatividade do tempo nesta UEPS. Ainda assim, teve uma parte considerável que marcou que, neste referencial, seria marcado um tempo posterior.

Em seguida, enfim, chegam as situações problema, e no item **2(f)** diz “*Em algum referencial a velocidade da garrafa é diferente do outro? Explique sua resposta*”. O objetivo foi de verificar a compreensão dos estudantes sobre Velocidade Relativa. Tiveram dois

grupos de respostas relevantes. Um deles afirmou que, mesmo com um referencial em movimento, não haveria diferença na velocidade, como representado na Figura 87, o que é um equívoco.

Figura 87 - Resposta de E29 (somativa, questão 2F)



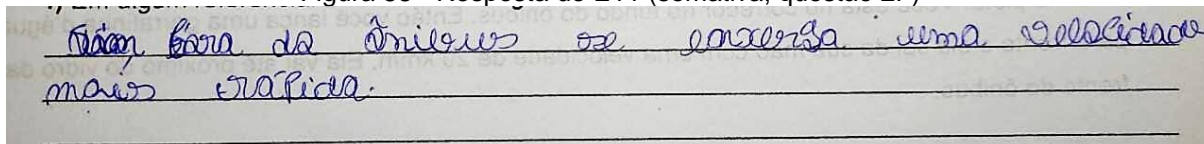
Não, pois é a mesma distância.

Fonte: Próprio autor

Em particular, a resposta de E29 argumenta que as distâncias das trajetórias são as mesmas nos dois referenciais, o que não é verdade, já que a garrafa sai do fundo do ônibus e, para o referencial externo, ele chega na frente do ônibus quando este já está muito mais à frente, devido ao seu movimento.

No outro grupo de respostas, que foi a grande maioria, são reconhecidas a relatividade da velocidade a depender do referencial, uns com mais e outros com menos elaboração. No caso de E11, mostrado na Figura 88, o *modelo mental* utilizado foi funcional (vide Johnson-Laird (MOREIRA, 2019)) ao identificar que no referencial externo a velocidade é maior, sem deixar totalmente claro o motivo da afirmação. Este tipo de configuração pode ser uma *aprendizagem significativa* do tipo a *conceitual*, uma vez que foi identificado em torno do conceito de Velocidade Relativa maior nas situações observadas a partir de determinado referencial, mas não de forma articulada (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 88 - Resposta de E11 (somativa, questão 2F)



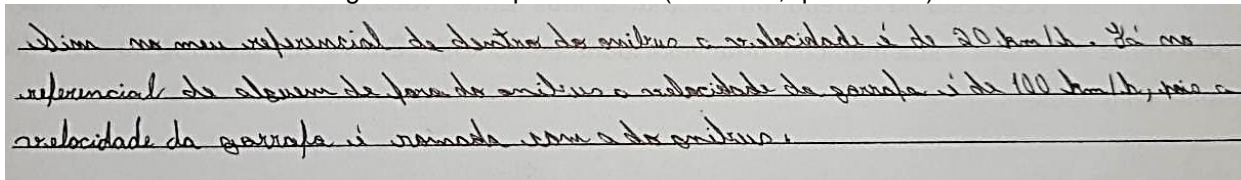
Não fora do ônibus se considera uma velocidade mais rápida.

Fonte: Próprio autor

Já na resposta de E4, representado na Figura 89 está indicado um *esquema* bem elaborado para interagir com a situação (vide Vergnaud (MOREIRA, 2019)), de forma que é argumentado com detalhes para fundamentar a soma das velocidades, de forma quantitativa, utilizando os valores dados na questão e concluindo que o valor da velocidade da garrafa. Pela clareza e articulação de conceitos, escrito de forma autêntica,

esta é uma evidência de *aprendizagem significativa* do tipo *proposicional* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 89 – Resposta de E4 (somativa, questão 2F)



Sim no meu referencial de dentro do ônibus a velocidade é de 20 km/h. Já no referencial de alguém de fora do ônibus a velocidade da garrafa é de 100 km/h, pois a velocidade da garrafa é somada com a do ônibus.

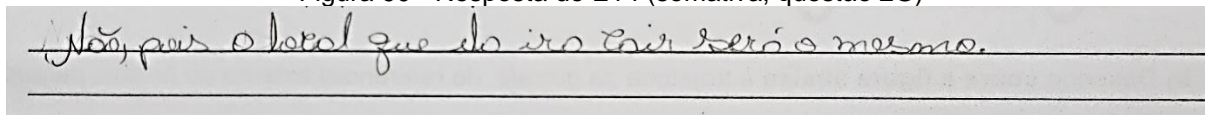
Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “Sim no meu referencial de dentro do ônibus a velocidade é de 20 km/h. Já no referencial de alguém [sic] de fora do ônibus [sic] a velocidade da garrafa é de 100 km/h, pois a velocidade da garrafa é somada com a do ônibus”

No item **2(g)**, perguntou-se “Considere que a garrafa está coberta de tinta fresca, de forma que deixará uma marca quando ela tocar no chão no fim do lançamento. A depender do referencial, o local onde ficará a marca da tinta será diferente? Explique sua resposta”. A intenção desta questão foi verificar se os estudantes apontavam que os eventos que marcam o início e o fim de uma situação são os mesmos, independentemente do referencial, ilustrando com concretude o fim do evento com a marca da tinta fresca.

Uma parte menor das respostas, representada pela de E14, da Figura 90 apontou corretamente que o fim do evento nos dois referenciais são equivalentes. A resposta de E14 parece ter *subordinado* com simplicidade esta situação-problema dentro de um *modelo mental* que compreende, em alguma medida, que os eventos se conservam; sendo, portanto, evidência de aprendizagem significativa.

Figura 90 - Resposta de E14 (somativa, questão 2G)



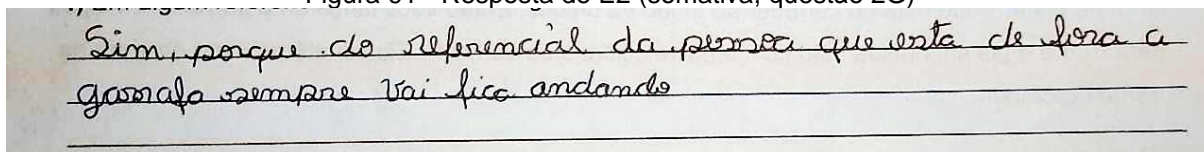
Não, pois o local que ela irá cair será o mesmo.

Fonte: Próprio autor

A resposta de E2, dada na Figura 91, representa a maioria das respostas dadas, as quais apontaram, equivocadamente, os eventos como sendo não equivalentes nos dois referenciais. Neste caso particular, apesar do *esquema* utilizado por E2 ter apresentado uma interpretação baseada nos seus conhecimentos, ela não condiz com o contexto da matéria de ensino. O estudante parece ter extrapolado uma argumentação que é válida para os conceitos de Velocidade e Trajetória, também para o de Eventos. É um esforço

interessante que, no entanto, necessita de um processo de refinamento de conhecimento, como uma *diferenciação progressiva* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)). É preciso considerar que se trabalhou pouco este tema, mas de qualquer forma, não há nenhuma evidência de aprendizagem dele.

Figura 91 - Resposta de E2 (somativa, questão 2G)



Sim, porque do referencial da pessoa que está de fora a garrafa sempre vai ficar andando

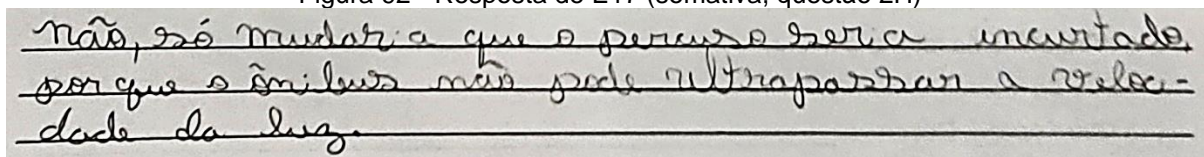
Fonte: Próprio autor

No item **2(h)**, se propõe a seguinte situação: “Até hoje, a ciência não conseguiu uma forma de fazer objetos grandes como um ônibus chegarem próximos da velocidade da luz. Mas imagine que esse ônibus escolar estivesse próximo da velocidade da luz. Essa situação mudaria algo em relação a como aconteceu o lançamento da garrafa? Explique sua resposta”. O objetivo era identificar se os estudantes fariam alguma relação com conceitos da Teoria da Relatividade Restrita, em particular, a contração do espaço.

As respostas foram divididas. Com três partes menores, mas relevantes, compostas por: os que afirmaram que a velocidade da luz não traria nenhum efeito diferente; os que não souberam responder ou não responderam; e os que identificaram corretamente efeitos relativísticos.

A resposta de E17, conforme pode ser vista na Figura 92, representa esta última parte. Neste caso em particular, foi identificada a contração do espaço justificando o motivo disto acontecer, de forma articulada, ao apontar para a velocidade da luz. A identidade do estudante é evidente na escrita através do uso de um sinônimo não técnico de “contração do espaço”: “percurso encurtado”. Esta resposta, articulada numa proposição que mostra os símbolos que os estudantes utilizaram para representar significados da Teoria da Relatividade Restrita, é evidência de *aprendizagem significativa* do tipo *proposicional* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

Figura 92 - Resposta de E17 (somativa, questão 2H)

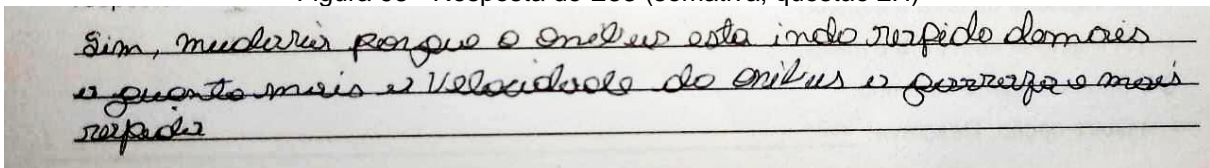


Não, só mudaria que o percurso seria encurtado porque o ônibus não pode ultrapassar a velocidade da luz.

Fonte: Próprio autor

A resposta de E33, mostrada na Figura 93, representa a parte das respostas a este item, as quais apontaram apenas para efeitos da Mecânica Clássica. Neste caso, E33 utiliza um *esquema* que extrapola a situação anterior (com velocidade baixa) para o que aconteceria se a velocidade fosse próxima à da luz, ou seja, aumentaria ainda mais a velocidade relativa da garrafa; excluindo os efeitos relativísticos. O raciocínio é correto, se for uma análise na ótica da Mecânica Clássica, mas não mencionar de nenhuma forma a Teoria da Relatividade sugere que não houve uma *aprendizagem significativa* de conceitos deste campo.

Figura 93 - Resposta de E33 (somativa, questão 2H)

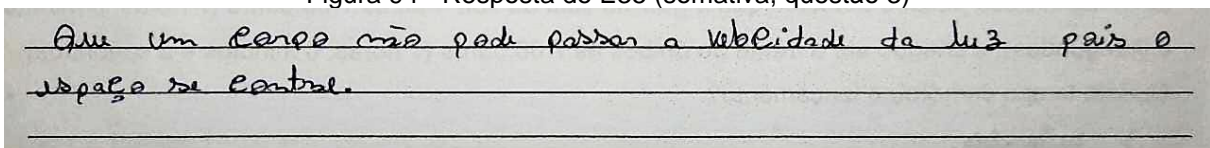


Sim, mudaria porque o onibus está indo rápido demais e quanto mais a velocidade do onibus a garrafa e mais rápida

Fonte: Próprio autor

A **questão 3**, que não é uma situação-problema, questiona: “A Teoria Relativística do Movimento, de Einstein, veio superar e substituir a Teoria Clássica do Movimento, de Newton. O que a Teoria de Einstein trouxe de diferente?”. O objetivo foi de identificar como colocavam em perspectiva estas duas teorias. A maioria dos estudantes não souberam ou não responderam. Embora relevante, uma parte menor respondeu de forma adequada, como representado na Figura 94, resposta de E35.

Figura 94 - Resposta de E35 (somativa, questão 3)



Que um corpo não pode passar a velocidade da luz pois o espaço se contraí.

Fonte: Próprio autor

Analisando o que E35 escreveu, é apresentado uma relação de causalidade envolvendo a impossibilidade de ultrapassar a velocidade da luz com a contração de espaço, mas não de forma adequada, pois o sentido deveria ter sido o contrário: O espaço contrai, pois, um corpo não pode ultrapassar a velocidade da luz. Apesar disto, há uma articulação de conceitos (ainda que imprecisa), escrita de forma simples e transferível,

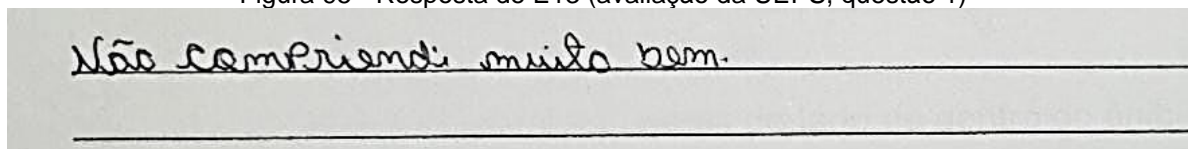
indicando evidência de *aprendizagem significativa proposicional* (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

2.23.2 Avaliação da UEPS pelos estudantes

Na parte da avaliação da UEPS, foi ressaltado a importância da participação consciente de todos sem prejuízo da correção da avaliação.

Quando perguntados o que acharam das aulas, a maioria marcou que “*gostou muito*” e duas partes menores marcaram “*gostei mais ou menos*” e “*gostei pouco*”. Em seguida foi solicitado para comentarem suas respostas, como por exemplo nas Figura 95, Figura 96, Figura 97 e Figura 98. Dentre as dificuldades apontadas, destacam-se a ausência em aulas, dificuldade de concentração e a complexidade do assunto de relatividade; e em geral, acharam as aulas bem elaboradas para abordagem do conteúdo.

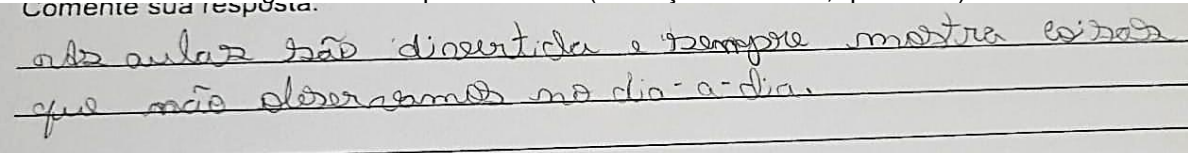
Figura 95 - Resposta de E13 (avaliação da UEPS, questão 1)



Não compreendi muito bem.

Fonte: Próprio autor

Figura 96 - Resposta de E17 (avaliação da UEPS, questão 1)



Comente sua resposta.
as aulas são divertidas e sempre mostra coisas que não observamos no dia-a-dia.

Fonte: Próprio autor

É importante ressaltar na resposta de E17, representada na Figura 96, em que está associada as situações problemas trabalhadas em sala de aula com o “dia a dia”, o que é positivo, uma vez que a Teoria da Aprendizagem Crítica ressalta que, mais do que aprender significativamente, é preciso ser crítico em relação a própria realidade (MOREIRA, 2019).

Figura 97 - Resposta de E20 (avaliação da UEPS, questão 1)

Apesar de aprender e gostar dos assuntos, mais divertido muito nas aulas.

Fonte: Próprio autor

Figura 98 - Resposta de E29 (avaliação da UEPS, questão 1)

Por entendermos que cada um tem seu ponto de vista.

Fonte: Próprio autor

Quando perguntados das atividades que mais gostaram, foi mencionado mais vezes o experimento com Arduíno, as atividades em grupo e o uso de *slides*. Além desses, a simulação teve menção relevante também. Dentre os comentários, como por exemplo os representados nas Figura 99, Figura 100, Figura 101, Figura 102 e Figura 103), destacam-se as explicações e discussões dentro dos grupos auxiliando na aprendizagem, as simulações como algo mais divertido, e a importância do experimento como um aprendizado na prática (o que foi considerado mais fácil).

Figura 99 - Resposta de E4 (avaliação da UEPS, questão 2)

É muito bom poder fazer as atividades em grupo pois além dos amigos para te ajudarem voce pode conversar um pouco

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “É muito bom poder fazer as atividades em grupo pois além [sic] dos amigos para te ajudarem voce [sic] pode conversar um pouco”

Figura 100 - Resposta de E12 (avaliação da UEPS, questão 2)

Qual(is) atividades você mais gostou?
() Simulação; (X) Experimento com medidor de velocidade; () Vídeos; () Aulas com slides;
() Atividades em grupo; () Outro: _____
Comente porque gostou do que marcou:
gostei muito, pois foi a primeira vez que eu -
presenciei uma aula desse tipo.

Fonte: Próprio autor

Figura 101 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 2)

O experimento / ação é mais interessante do que só a teoria.

Fonte: Próprio autor

Figura 102 - Resposta de E20 (avaliação da UEPS, questão 2)

Porque foi muito divertido.

Fonte: Próprio autor

Figura 103 - Resposta de E35 (avaliação da UEPS, questão 2)

Achei interessante a forma um pouco mais descentrada de ensinar o assunto, do que simplesmente copiar no quadro.

Fonte: Próprio autor

O destaque que eles deram para as emoções são importantes, pois o processo de aprendizagem não é apenas cognitivo, também envolve emoções; sendo que as emoções positivas ajudam no processo de ensino-aprendizagem (vide Novak (MOREIRA, 2019)). Estas emoções se deram através da diversificação das estratégias de ensino, que é o princípio do *não uso do quadro de giz* da Aprendizagem Significativa Crítica (vide Ausubel (MOREIRA, 2019)).

E quanto as atividades que menos gostaram, as opções mais frequentes foram das aulas com *slides* e nenhuma atividade que não gostou. Também foram mencionados de forma relevante as atividades em grupo e os vídeos. Destacam-se os comentários, como os exemplos das Figura 104, Figura 105, Figura 106 e Figura 107, sobre a dificuldade de trabalhar em grupo e as conversas paralelas neles, os *slides* como algo muito teórico e pouco prático, e a complexidade teórica dos vídeos.

Figura 104 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 3)

Prefiro a ação.

Fonte: Próprio autor

Figura 105 - Resposta de E26 (avaliação da UEPS, questão 3)

pois meu grupo só tinha 3 pessoas e só 2 participaram

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “pois meu grupo só [sic] tinha 3 pessoas e só [sic] 2 participaram”

Figura 106 - Resposta de E32 (avaliação da UEPS, questão 3)

Não sei trabalhar em grupo.

Fonte: Próprio autor

Figura 107 - Resposta de E33 (avaliação da UEPS, questão 3)

porque eu preferia sozinho

Fonte: Próprio autor

Quando perguntados se acham que aprenderam os conceitos trabalhados, as opções mais marcadas foram “Acho que aprendi um pouco” e “Acho que aprendi mais ou menos”, sendo que também marcado de forma relevante os disseram que aprenderam quase tudo. Dentre as dificuldades apontadas comentários, como, por exemplo, representados nas Figura 108, Figura 109 e Figura 110, destacam-se ter achado o assunto complexo, ter faltado a aulas e de não conseguir focar.

Figura 108 - Resposta de E1 (avaliação da UEPS, questão 4)

Essa não me conseguiu focar nos assuntos das atividades.

Fonte: Próprio autor

Figura 109 - Resposta de E16 (avaliação da UEPS, questão 4)

Eu não consigo entender um pouco, mas algumas coisas são muito complicadas. Para mim, a teoria de Einstein é muito complexa.

Fonte: Próprio autor

Figura 110 - Resposta de E27 (avaliação da UEPS, questão 4)

nao aprendi mais por que faltei algumas aulas

Fonte: Próprio autor

Nota: Está escrito “nao [sic] aprendi mais porque faltei algumas aulas”

E por fim, perguntou-se “Se você pudesse mudar ou acrescentar algo nessas últimas aulas, o que seria?”. A maioria das respostas disseram que não mudaria nada, conforme mostra a Figura 113, e outras três grupos de respostas diferentes mencionaram utilizar mais aulas práticas, é o que está mostrada na Figura 111, mais tempo e atividades envolvendo a parte da Teoria da Relatividade Restrita, representado na Figura 112 e os que não sabem ou não responderam.

Figura 111 - Resposta de E12 (avaliação da UEPS, questão 5)

mais Experimentos com os carrinhos, acho bastante legal as aulas com eles.

Fonte: Próprio autor

Figura 112 - Resposta de E19 (avaliação da UEPS, questão 5)

teria que poderse aplicar os ultimos assuntos que a professora passou.

Fonte: Próprio autor

Figura 113 - Resposta de E35 (avaliação da UEPS, questão 5)

Acho que nada.

Fonte: Próprio autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Respondendo ao problema desta pesquisa, pode-se afirmar que ocorreram muitas evidências de aprendizagem significativa sobre o conceito de Movimento, segundo a teoria física da Mecânica Clássica e da Cinemática Relativística, dados os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho, isto é, através de uma UEPS que utiliza principalmente a plataforma Arduíno e TDICs. Além disso, ocorreu evidências de aprendizagem crítica; no entanto, é preciso lembrar que o domínio do *Campo Conceitual* é lento e progressivo, podendo demorar muitos anos, por isso, o importante aqui é evidenciar que o caminho adotado está correto. Os resultados mostraram estas evidências em cada um dos passos abordados pela UEPS.

Dessa forma, é possível dizer que foi viável trabalhar Cinemática com Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade Restrita, simultaneamente, na 1ª série do Ensino Médio, aplicando-se o método utilizado. Entende-se que o conceito de movimento abordado na perspectiva das duas teorias promove a ampliação deste conceito, não o restringindo apenas às concepções da mecânica clássica.

Dentre as contribuições deste trabalho, tem-se a articulação dos princípios da UEPS, que apresenta um referencial epistemológico do desenvolvimento histórico filosófico da ciência como referência, mesmo não o abordando diretamente; e utilizar experimento via plataforma Arduíno para o ensino de Relatividade.

A interpretação dos resultados desta pesquisa, de forma detalhada articulada com todos os elementos das diversas teorias que compõe os princípios das UEPS, é uma ação complexa que não consta na Revisão da Literatura. A saber: a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel foi articulada com a Teoria de Educação de Novak, com o Modelo de Gowin, com a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e com a Teoria da Aprendizagem Significativa Crítica de Moreira.

Não foi utilizada uma abordagem aprofundada da história e filosofia da ciência nesta UEPS, no entanto, foi adotado de forma subjacente ao seu planejamento, a concepção epistemológica da compreensão do desenvolvimento da ciência como um processo não-contínuo, segundo os filósofos da ciência Popper, Kuhn e, principalmente, Lakatos. Pela forma como se abordou, essa epistemologia subjacente tornou essa UEPS mais coerente com a história da ciência, sem descrições dos elementos históricos pertinentes. Isto é relevante, pois, é preciso que todos os eventos educativos estejam de

acordo com a história e filosofia da ciência moderna, mesmo aquelas que fazem um ensino de conceitos ou de ferramentas matemáticas na física, sem abordar diretamente elementos da história da ciência.

É preciso ressaltar que essa UEPS se limitou à abordagem conceitual do Movimento, não trabalhando aspectos matemáticos da Cinemática Clássica ou Relativística.

Outro aspecto relevante foi o uso da experimentação com a plataforma Arduino para o ensino de TRE, o que, a princípio, seria muito complicado, pois realizar uma medida por um aparato experimental que detecte qualquer efeito relativístico, como contração do espaço ou dilatação do tempo é bastante complexo para se realizar, já que seria necessário utilizar de um aparato mais robusto e de alta tecnologia. Por tudo isto, demorou-se tanto para se desenvolver a Teoria da Relatividade. Assim, utilizar o experimento via plataforma Arduino para se fazer uma metáfora ou analogia sobre a Teoria da Relatividade Restrita foi uma estratégia para driblar esta limitação, e, assim, trazer toda a motivação e atenção que este recurso proporcionou para o ensino da Relatividade, evidenciando sua contribuição na predisposição dos estudantes ao aprendizado significativo.

Quanto a parte dos procedimentos didáticos metodológicos em que se propôs atividades em grupo para resolução de situações-problema, mostrou-se eficaz no sentido de que colaborou para que os estudantes não utilizassem de respostas mecanicistas e, segundo relatos de muitos, a troca de significado contribuiu na aprendizagem. No entanto, é importante chamar atenção para relatos de que alguns estudantes não participaram efetivamente da atividade desenvolvida mostrando que o trabalho em grupo, nestes casos, precisa ser readaptado para abordar determinados pontos da situação-problema.

Dentre os aspectos que devem ter impactado os resultados desta pesquisa, pode-se citar aqueles devido aos prejuízos de aprendizagem relativo ao distanciamento social – consequência da pandemia de COVID-19 – como mostra os resultados da SAEB⁶¹, que afetou o desempenho geral dos estudantes, na retomada as escolas neste no momento do desenvolvimento deste trabalho. Além disso, devido ao período de chuvas no município da aplicação da proposta, deparou-se com problemas devido ao transporte escolar dos estudantes (cuja maioria é da zona rural, dependente deste transporte), o que afetou a

⁶¹ Mais informações sobre os resultados, acessar a notícia disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/educacao/2022/09/pandemia-reduz-aprendizado-em-toda-a-educacao-basica-aponta-avaliacao-federal.shtml>. Acesso em: 20 fev. 2023.

frequência regular da turma sendo necessário um replanejamento da UEPS, conforme Apêndice I, especialmente quando se compara a quase totalidade da frequência do dia da avaliação somativa com os dias das demais atividades.

No capítulo de Física desta dissertação, observou-se que a contração do espaço ocorre para referenciais inerciais onde se observa grandezas próprias. No entanto, em algumas situações em que se abordou o tema sobre a contração de espaço trabalhadas nesta UEPS, assumiu-se que a contração do espaço ocorreria mesmo sem estar em tais condições, o que não corresponde à concepção da Teoria da Relatividade Especial (TRE). Esta foi uma escolha para a transposição didática, feita por este autor, para simplificar o tratamento, trazendo apenas uma noção dos efeitos relativísticos e em que circunstâncias ocorrem, dentro da perspectiva da Cinemática Clássica e da TRE. Dessa forma, para uma continuidade deste trabalho, seria necessário realizar um aprofundamento e distinção deste efeito.

Além disso, propõe-se realizar pesquisas futuras, articulando-se as UEPS com a experimentação via plataforma Arduino, promovida pela metáfora para investigar o efeito da dilatação do tempo. E, além, para completar os efeitos básicos da TRE: uma UEPS comparando a relação de massa e energia na TRE em uma perspectiva para os conceitos de massa inercial e massa gravitacional.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BUSE, Andrei. **Um Olhar Diferenciado sobre a Cinemática no Ensino Médio: Uma Abordagem Praxeológica Das Tarefas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Manaus, 2014.

CAVALCANTI, Cláudio J. de H.; OSTERMANN, Fernanda. **Teorias de Aprendizagem**. Porto Alegre: Evangraf, UFRGS, 2011.

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

DESCARTES, R. **Princípios da Filosofia**: Lisboa: Edições 70, 1997.

EINSTEIN, Albert; INFELD, Leopold. **A Evolução da Física**. Rio de Janeiro: Zahar, 2008.

GASPAR, Alberto. **Atividades experimentais no ensino de física: Uma nova visão baseada na teoria de Vigotski**. São Paulo: Livraria da Física, 2014. Capítulo 15.

LIMA, Geogenes Melo de. **Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com o aplicativo TRE Einstein para ensinar a Relatividade Especial**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

KOPP, Felipe Augusto; ALMEIDA, Voltaire de. Analogias e metáforas no ensino de Física Moderna apresentadas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 36, n.1, p. 69-98. 2019.

MACHADO, Kleber Daum. **Eletromagnetismo: volume 2**. Ponta Grossa: Todapalavra, 2013. Capítulo 20.

MARTINS, Claudinéia de Oliveira. **Desenvolvimento E Análise De Uma Unidade De Ensino Potencialmente Significativa Para O Ensino Da Teoria Da Relatividade Restrita**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2019.

MARTINS, Claudinéia de Oliveira; ZARA, Reginaldo A. A Utilização Do Jogo *A Slower Speed Of Light* Para Ensinar Conceitos De Relatividade Restrita. **IV Encontro Regional De Ensino De Física: perspectivas e desafios para o ensino de física**, [Foz do Iguaçu], v. 22, n. 3, p. 11-33, 2018.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Teoria da Relatividade Especial**. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

MERLIM, Vanessa dos Santos; MERLIM, Ronald dos Santos. Análise de uma Unidade Potencialmente Significativa com Abordagem Teatral com a Temática Relatividade Especial. *In: Congresso Online Nacional de Ensino de Química, Física,*

Matemática e Biologia, 2020. **Resumo expandido** [...]. [Goiânia]:[UFG], 13-14 ago. 2020. *Online*.

MOHR, Adriana; ARAÚJO, Magnólia F. F. de; SILVA, Marcia G. L. da (org.). **Temas de ensino e formação de professores de ciências**. Natal: EDUFRRN, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio. Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente. *Aprendizagem Significativa em Revista*, Porto Alegre, v. 1, n. 3, p. 25-46, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. O que é afinal aprendizagem significativa? **Qurrriculum**, La Laguna, Espanha, 2012a.

MOREIRA, Marco Antônio. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. **UFRGS**: Porto Alegre, 2012b.

MOREIRA, Marco Antônio. Grandes desafios para o ensino de física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, Brasília, v.1, n. 1, pp. 1-13, 2017.

MOREIRA, Marco Antônio. **Teorias de Aprendizagem**. 2 ed. São Paulo: E.P.U., 2019.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica, 1: Mecânica**. São Paulo: Blucher, 2013.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica, 4: Óptica, relatividade, física quântica**. São Paulo: Blucher, 2014.

OLIVEIRA, A. J. de. Eclipse de Sobral: há 100 anos, evento comprovava a teoria de Einstein. **Galileu**, 2019. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2019/05/eclipse-de-sobral-ha-100-anos-evento-comprovava-teoria-de-einstein.html>. Acesso em: 27 fev. 2023.

OLIVEIRA, Érik Rocha de. **Quiz com Aplicativo Socrative para o Desenvolvimento dos Conceitos De Física Moderna**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2020.

PEDUZZI, L. O. Q. Sobre Continuidades e Descontinuidades no Conhecimento Científico: uma discussão centrada na perspectiva kuhniana. In: SILVA, C. C. (Org.). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**: subsídios para a aplicação no ensino. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 59-83.

PIETROCOLA, Maurício (org.). **Ensino de Física**: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora. Florianópolis: UFSC, 2001. Capítulo 3.

RAÍCIK, Anabel Cardoso. Nos embalos da HFC: Discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, p. 164-197, 2020.

RAICIK, Anabel Cardoso; PEDUZZI, Luiz O. Q.. Experimentos exploratórios e novos caminhos para reflexões epistemológicas da experimentação: revisitando considerações baconianas. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA*, 11., 2016, Santa Catarina. **Anais eletrônicos...** Santa Catarina: UFSC, 2016.

REINERT, José Edson. **Unidade de Ensino Potencialmente Significativo para o Ensino da Relatividade Especial no Ensino Médio: Uma abordagem com auxílio de Recursos Digitais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2020.

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

RODRIGUES, Carlos Daniel Ofugi; OLIVEIRA, Maurício Pietrecola. A abordagem da Relatividade Restrita em livros didáticos do Ensino Médio e a Transposição Didática. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS*, 2., 1999, Valinhos. **Sessões de Discussão...** Porto Alegre: UFRGS, 1999. p. 1-12.

SILVA, Lucas Rodrigues. **Espaço-Tempo em Mecânicas: Crítica à Abordagem Usual dos Livros Didáticos e Uma Proposta de UEPS Para O Ensino Médio**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SILVA, Wagner Augusto Teixeira da. **Simetrias e Leis De Conservação: Uma Proposta para o Ensino Médio**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

SOBRINHO, Paulo Roberto F. da S. **Sequência Didática para o Ensino Médio Sobre o Tempo**: Breves implicações filosóficas sobre o tempo e a Teoria da Relatividade Restrita. 2021. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Amazonas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021.

SOEIRO, José Roberto Gomes; ALVARENGA, Flávio Gimenes; SILVA, Laércio Ferracioli Evandro da. UEPS Sobre o Estudo Da Cinemática no Diagrama Espaço-Tempo em Nível De Ensino Médio. **Encontros Integrados em Física e seu Ensino**, [Brasília], p. 572-580, 12-16 dez. 2022.

VIDEIRA, Antonio Augusto P. Breves Considerações sobre a Natureza do Método Científico. *In: SILVA, C. C. (Org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para a aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006, p. 23-40.

APÉNDICES

APÊNDICE A

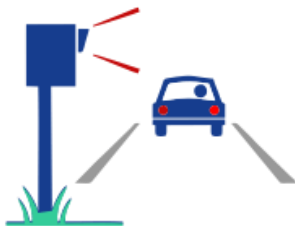
Questionário de sondagem

Questão 1 - Imagine que você está na sede da prefeitura de Anagé e possui pouco tempo para chegar até o seu colégio para a primeira aula, qual(is) estratégia(s) você usaria para não perder essa aula?

Questão 2 - Imagine que você e sua família programou viajar de carro nas férias e precisa chegar às 8:00h da manhã em uma pousada, e para isso, vocês sairão as 5:00h da manhã. Então, no meio do caminho o motorista pega um atalho de última hora. No que isso muda na sua programação inicial?

Questão 3 - Você já viu um desses Radares de Velocidade que ficam nas pistas? Para que eles servem?

Figura A1 - Radar



Fonte: Multas ([s.d.])⁶²

Questão 4 - O que é velocidade para você? Use suas palavras para explicar da melhor forma que puder.

⁶² MULTAS Jamais. Excesso de velocidade. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.multasjamais.com/multa-excesso-velocidade>. Acesso em: 04 mar. 2023.

Questão 5 - Qual é a coisa que você imagina que possa ser mais rápida?

Questão 6 - O que te faz pensar que essa seja a coisa mais rápida?

Questão 7 - Imagine que você esteja no “pé” (início da subida) da ladeira dos Pombos. Faça um desenho de como você enxergaria com seus olhos a pista na ladeira.

Questão 8 - Agora imagine que você esteja num helicóptero que sobrevoa a mesma ladeira bem alto. Faça um outro desenho de como você enxergaria com seus olhos a pista na ladeira.

Questão 9 - Comparando os dois desenhos, as pistas fizeram os mesmos desenhos?

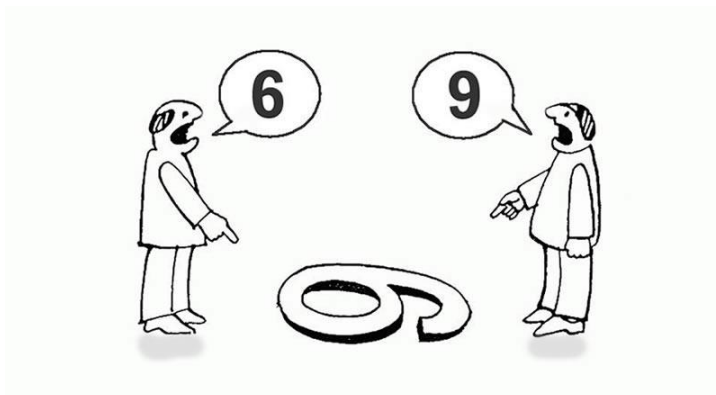
() Sim () Não

Questão 10 - Por que você diria que ocorreram diferenças ou semelhanças? Comente.

Questão 11 - Você diria que as coisas do seu dia a dia dependem do ponto de vista?

() Não () Poucas () boa parte () A maioria () Todas

Questão 12 - Para você, qual o significado da imagem abaixo? Comente.



Fonte: SEIS (2017)⁶³

Questão 13 - Ainda sobre a imagem acima, na sua opinião para o que os dois homens estão apontando? Explique.

⁶³ SEIS ou Nove? – [Sem título]. 2017. 1 ilustração. Disponível em: <https://pratiqueobemhoje.com/2017/09/18/seis-ou-nove/>. Acesso em: 06 out. 2022.

Questão 14 - Você diria que existem coisas que não dependem do ponto de vista de quem olha? Comente.

Questão 15 - Você acha possível uma mesma pista medir dois valores de distância diferentes, a depender do ponto de vista da pessoa que mede? Argumente com suas palavras.

APÊNDICE B

Atividade 1 em Grupo

Questão 1 - Imagine que você está sentado sozinho no banco de trás dentro de um carro. O carro está estacionado com os vidros e portas completamente fechados. Você não consegue ouvir quase nada do lado de fora. De repente, você começa a ouvir um zumbido. Então você descobre duas coisas: a primeira, que é uma mosca; a segunda, que você não está mais só. Este agradável inseto está voando, sem pressa de ser feliz. Ele faz seu voo de trás de você até o vidro da frente do carro, do para-brisa.

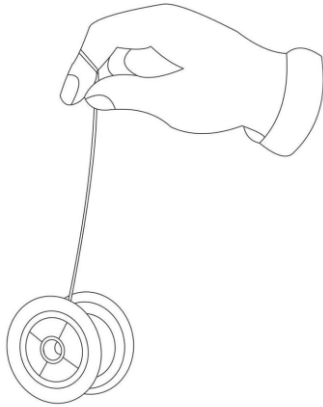
a) Do seu referencial, o que você diria do movimento da mosca?

b) Imagine agora que o carro estivesse sendo dirigido por alguém a uma velocidade de 70 km/h, mas todas as outras situações são iguais: você no banco de trás, a trajetória da mosca, e os vidros e portas fechados de forma que não há nenhuma brisa dentro do carro. Comparando com a situação do carro parado, a mosca estaria com uma rapidez diferente por que o carro está em movimento, no seu referencial? Explique.

c) E para o referencial de quem está fora do carro, existe diferença da rapidez da mosca quando se compara a situação com o carro parado e em movimento? Explique.

Questão 2 - O loiô é um brinquedo que uma das formas de o jogar é lançá-lo para baixo, e ele fará um movimento de subida e descida, repetidamente.

a) Desenhe abaixo de forma pontilhada como seria a trajetória desse ioiô, conforme foi descrito acima. Utilize setas, se necessário.



Fonte: Colorir ([s.d.])⁶⁴

b) Agora imagine que a pessoa acima jogando ioiô está em um carro fechado em movimento. Desenhe abaixo a trajetória do ioiô, do referencial de alguém parado fora do carro. Use setas se necessário.

c) Se fosse para você medir, você diria que uma distância é diferente da outra? Comente sua resposta.

⁶⁴ COLORIR online. Desenhos de loiô 6 para Colorir e Imprimir. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em <https://www.colorironline.com/imprimir/desenho-ioio-6-para-colorir/>. Acesso em 04 nov. 2022.

APÊNDICE C

Atividade 2 em Grupo

Questão 1 - Em relação a primeira corrida de carrinhos:

a) Qual foi o resultado da disputa?

b) O que fez esse resultado acontecer e não outro diferente?

c) Foi uma disputa justa? Explique.

Questão 2 - Em relação a segunda corrida de carrinhos:

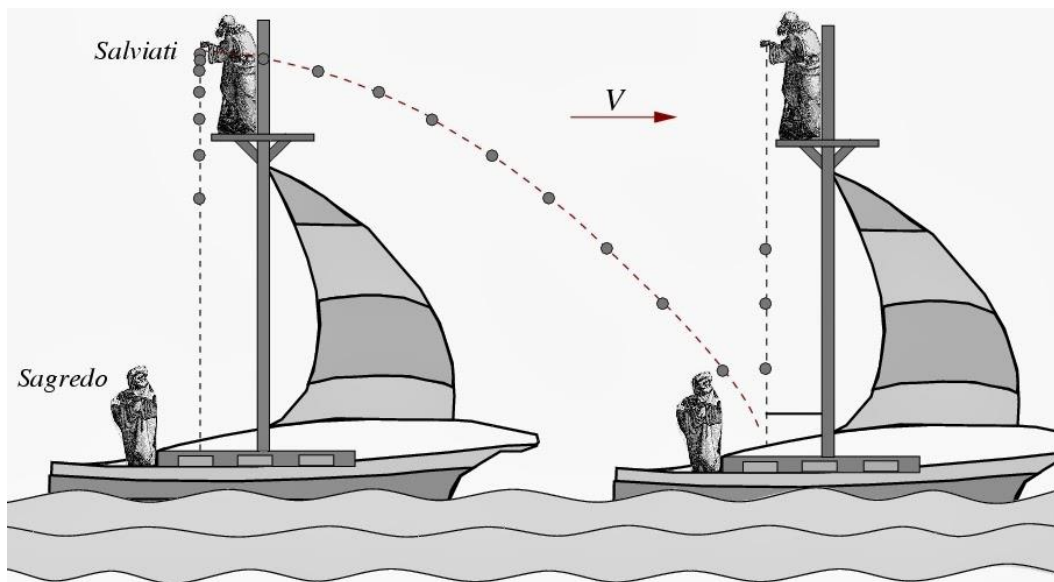
a) Qual foi o resultado da disputa?

b) O que fez esse resultado acontecer e não outro diferente?

c) Foi uma disputa justa? Explique.

d) Considerando que você esteja proibido de modificar o tamanho das pistas, o que o carrinho perdedor teria que fazer para ganhar a corrida?

Questão 3 - Anteriormente, vimos que a trajetória de um mesmo acontecimento pode ser de tamanhos diferente a depender do referencial, como na imagem abaixo, que mostra a queda de uma pedra em um barco em movimento:



Fonte: Ilustração adaptada pelo autor⁶⁵

Nesse acontecimento, a pedra sai da mão de Salviati no mesmo instante, tanto do referencial da praia como do barco. E, em ambos os referenciais, a pedra cai aos pés de Sagredo (no convés) no mesmo instante, apesar das trajetórias terem sido diferentes.

a) Em qual referencial a trajetória da pedra foi maior? Por quê?

b) Como uma trajetória é maior que a outra, como você acha que é possível a pedra chegar no convés no mesmo instante, nos dois referenciais? Explique.

⁶⁵ Montagem a partir de imagem coletada no site Reflexões e Ressonâncias. Disponível em: <http://reflexoesnoensino.blogspot.com/2013/10/relatividade-de-galileu.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

APÊNDICE D

Atividade 3 em Grupo

Questão 1 - Na imagem abaixo está ilustrado uma pessoa em alto mar à espera de socorro. A ajuda vem na forma de um avião em alta velocidade. Da sua altitude, ele soltará uma boia para a pessoa.



Fonte: Captura de tela do vídeo do Youtube⁶⁶

a) Do referencial do piloto do avião, quem está em movimento?

b) E do referencial da pessoa em alto mar?

c) Considerando os conceitos que trabalhamos, em qual lugar o avião deve soltar a boia para que ela caia o mais perto possível da pessoa em alto mar?

d) Por que neste lugar e não em outro?

⁶⁶ QUEMSABEFAZ. Cap.4 - Simulação de Trajetória de Queda. Youtube, 25 mar. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QxVUTCmksRA>. Acesso em: 04 nov. 2022.

e) Desenhe abaixo a trajetória da queda da boia, no referencial do homem em alto mar.

f) Desenhe abaixo a trajetória da queda da boia, no referencial do piloto do avião.

Questão 2 - Duas pessoas querem se encontrar no ponto B do mapa abaixo. As duas sairão de carro e querem chegar ao local no mesmo instante. Mas uma sairá do ponto A e a outra do ponto C.



Fonte: GAZETA ([s.d.])⁶⁷

a) Analisando a imagem ao lado, as distâncias das trajetórias de cada uma são do mesmo valor? Argumente.

⁶⁷ GAZETA Digital. Projeto ENEM. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.gazetadigital.com.br/sites/enem/2018/Fasciculo03.pdf>. Acesso em 04 de nov. de 2022.

b) O que a pessoa que sai do ponto C precisa fazer para que as duas pessoas consigam chegar no mesmo instante?

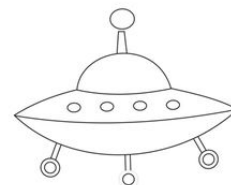
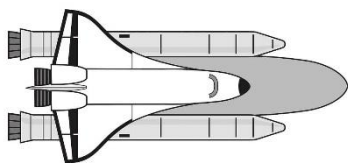
APÊNDICE E

Atividade 4 em Grupo

Questão 1 - Nas suas palavras, o que significa Velocidade Relativa?

Questão 2 - Nas suas palavras, o que significa Espaço Relativo?

Questão 3 - Imagine uma nave espacial que está com uma velocidade muito próxima da velocidade da luz. E ela quer destruir um disco voador a sua frente com míssil veloz.



Fonte: Montagem do autor⁶⁸

Já que segundo a Teoria Relativística de Einstein, nenhum objeto pode ultrapassar a velocidade da luz, o que vai acontecer com o movimento do míssil do seu referencial?

⁶⁸ Montagem feita a partir de imagens dos sites <<https://publicdomainvectors.org/pt/tag/desenho>> e <<https://br.pinterest.com/pin/343258802852097117/>>.

APÊNDICE F

Atividade 5 em Grupo

Questão 1 - Na situação em que há uma mosca dentro do carro, a qual vai em baixa velocidade do fundo do carro até sua frente, vista dos dois referenciais abaixo:

Referencial de dentro do carro:



Referencial de fora do carro:

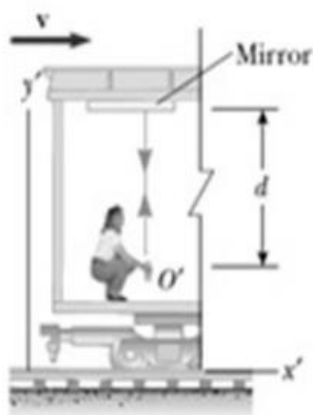


Fonte: Montagem do autor⁶⁹

Segundo a Teoria Clássica, a velocidade da mosca no referencial 1 é igual à do referencial 2? Por quê?

Questão 2 - Imagine um super trem que viaja perto da velocidade da luz e que possui um espelho no teto. Está neste trem uma aluna do 1º ano B Vespertino do CERV e do lado de fora dele, um aluno da mesma turma. A estudante se agacha e acende uma lanterna apontando verticalmente para cima, em direção ao espelho, conforme a figura abaixo.

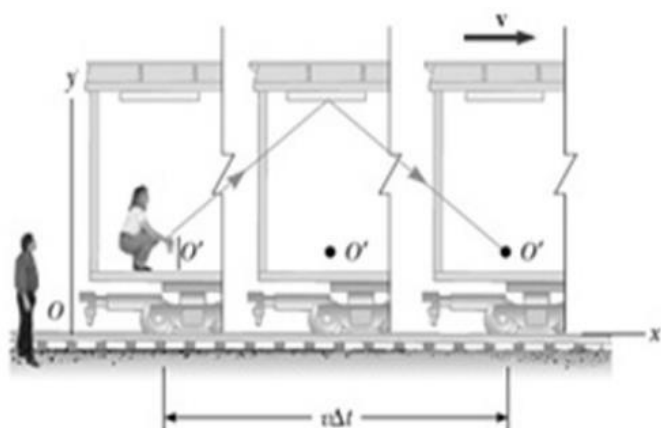
⁶⁹ Montagem com imagens retiradas do site PrePara ENEM. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/fisica/aceleracao-escalar-media.htm>. Acessado em: 06 out. 2022.



Fonte: Montagem do autor⁷⁰

A luz sai da lanterna, reflete e volta em direção à frente da lanterna.

O aluno que está do lado de fora do trem tem a habilidade mágica de observar a trajetória da luz através das paredes do trem. Ele enxerga a seguinte trajetória:



Montagem do autor⁷¹

a) Para a Teoria Clássica, o que acontece com o movimento no referencial do lado de fora do ônibus?

b) Para a Teoria Relativística de Einstein, o que acontece com o movimento no referencial externo ao trem?

⁷⁰ Montagem com imagem retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/8406103/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

⁷¹ Montagem com imagem retiradas do site Dilatação do tempo e contração do espaço. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/8406103/>. Acesso em: 04 mar. 2023.

c) Por que ocorrem os efeitos da Teoria Relativística de Einstein?

APÊNDICE G

Avaliação somativa

Questão 1 – Qual a maior velocidade que um corpo pode atingir?

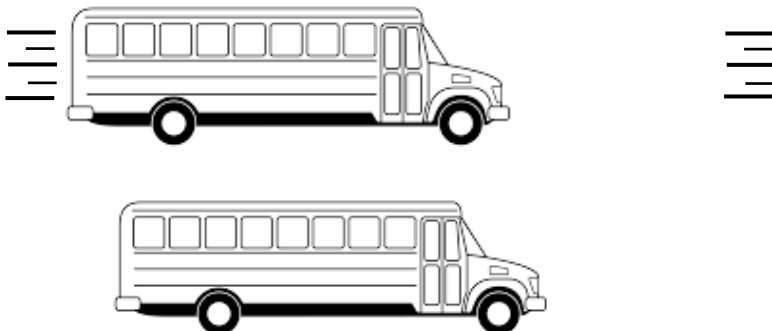
Questão 2 – Imagine que você esteja do lado de dentro do ônibus escolar com velocidade de 80 km/h na pista. Você está no corredor no fundo do ônibus. Então você lança uma garrafinha d'água para frente e ela sai da sua mão com uma velocidade de 20 km/h. Ela vai até próximo do vidro da frente do ônibus.

a) Desenhe sobre a figura abaixo a trajetória da garrafa segundo o seu referencial.



Fonte: Montagem do autor⁷²

b) Desenhe sobre a figura abaixo a trajetória da garrafa, do referencial externo ao ônibus, parado em relação a ele.



Fonte: Montagem do autor⁷³

⁷² Montagem feita a partir de imagem do site <<https://www.educolorir.com/paginas-para-colorir-onibus-escolar-i29479.html>>.

⁷³ Montagem feita a partir de imagem do site <<https://www.educolorir.com/paginas-para-colorir-onibus-escolar-i29479.html>>.

c) Comparando o tamanho das trajetórias que você desenhou acima, marque uma alternativa:

() A trajetória da letra **a** é maior.

() A trajetória da letra **b** é maior.

() São do mesmo tamanho.

() Outra opção. Descreva: _____

d) Agora imagine que uma colega de dentro do ônibus monitorou seu lançamento de garrafa com um relógio. Essa pessoa detectou que a garrafa saiu da sua mão às 7:00:00hrs (7 horas, 0 minutos e 0 segundos); e chegou até a frente do ônibus às 7:00:03hrs (7 horas, 0 minutos e 3 segundos).

Quanto tempo demorou o lançamento?

e) Imagine alguém de fora do ônibus, com uma super habilidade de acompanhar a garrafa em qualquer situação, e que também monitorasse o lançamento da garrafa em seu próprio relógio. Essa pessoa também detectou que o lançamento da garrafa começou às 7:00:00hrs.

Sobre o momento que a garrafa chega à frente do ônibus, o relógio dela:

() Marcará um horário **depois** das 7:00:03hrs.

() Marcará um horário **antes** das 7:00:03hrs.

() Marcará o **mesmo** horário de 7:00:03hrs.

() Outra opção. Explique: _____

f) Em algum referencial a velocidade da garrafa é diferente do outro? Explique sua resposta.

g) Considere que a garrafa está coberta de tinta fresca, de forma que deixará uma marca quando ela tocar no chão no fim do lançamento. A depender do referencial, o local onde ficará a marca da tinta será diferente? Explique sua resposta.

h) Até hoje, a ciência não conseguiu uma forma de fazer objetos grandes como um ônibus chegarem próximos da velocidade da luz. Mas imagine que esse ônibus escolar estivesse próximo da velocidade da luz.

Essa situação mudaria algo em relação a como aconteceu o lançamento da garrafa? Explique sua resposta.

Questão 3 – A Teoria Relativística do Movimento, de Einstein, veio superar e substituir a Teoria Clássica do Movimento, de Newton. O que a Teoria de Einstein trouxe de diferente?

APÊNDICE H

Avaliação da UEPS

SUA OPINIÃO SOBRE AS AULAS

Como informei vocês, essas últimas aulas (sobre movimento, referencial, velocidade relativa e espaço relativo) são parte de uma pesquisa do mestrado que estou fazendo. Como parte dessa pesquisa, preciso saber sua opinião pessoal sobre ela.

Pergunta 1 - De forma geral, o que achou das aulas?

- () Não gostei;
- () Gostei um pouco;
- () Gostei mais ou menos;
- () Gostei muito.

Comente sua resposta:

Pergunta 2 - Qual(is) atividades você mais gostou?

- () Simulação;
- () Experimento com medidor de velocidade;
- () Vídeos;
- () Aulas com slides;
- () Atividades em grupo;
- () Outro: _____

Comente porque gostou do que marcou:

Pergunta 3 - Qual(is) atividades você menos gostou?

Simulação;

Experimento com medidor de velocidade;

Vídeos;

Aulas com slides;

Atividades em grupo;

Outro: _____

Comente porque não gostou do que marcou:

Pergunta 4 - Você acha que aprendeu os conceitos trabalhados?

Acho que não aprendi nada;

Acho que aprendi um pouco;

Acho que aprendi mais ou menos;

Acho que aprendi quase tudo;

Acho que aprendi tudo.

Comente sua resposta:

Pergunta 5 - Se você pudesse mudar ou acrescentar algo nessas últimas aulas, o que seria?

APÊNDICE I

Relatório sobre continuidade e frequência dos estudantes nas atividades

No Quadro 2 estão os motivos da não continuidade dessa Unidade de Ensino potencialmente significativo.

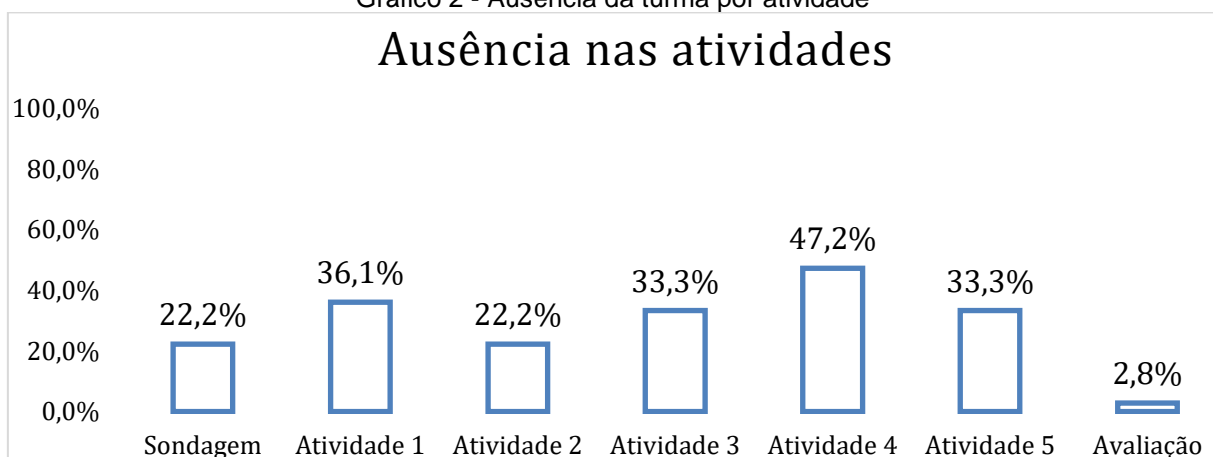
Quadro 2 - Razões da não continuidade da UEPS

Data	Descrição
03/10/2022	Não teve aula porque a escola é um local de votação das eleições do 1º turno, e estava se organizando depois da votação do primeiro turno no dia anterior, domingo, 2 de outubro.
24/10/2022	Devido às chuvas, vieram poucos alunos. Por esse motivo, trabalhamos apenas com a manutenção dos mapas conceituais, em menos de um horário.
31/10/2022	Não teve aula devido ao 2º turno da eleição no dia anterior.
14/11/2022	Não teve aula, pois foi ponto facultativo.

Fonte: Próprio autor

O Gráfico 2 mostra como foi a frequência da turma por atividade.

Gráfico 2 - Ausência da turma por atividade

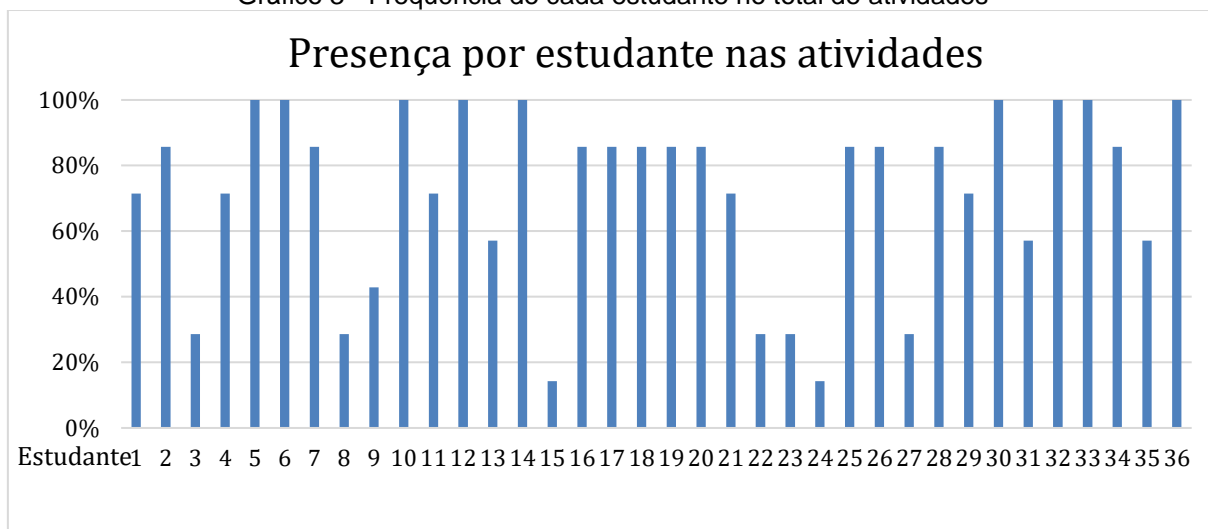


Fonte: Próprio autor⁷⁴

⁷⁴ Feito com o aplicativo Excel.

O Gráfico 3 mostra como foi a frequência de cada estudante no total de atividades.

Gráfico 3 - Frequência de cada estudante no total de atividades



Fonte: Próprio autor⁷⁵

⁷⁵ Feito com o aplicativo Excel.

APÊNDICE J

Produto Educacional

**Unidade de Ensino Potencialmente
Significativa sobre o conceito de
Movimento:
Da Mecânica Clássica à Teoria da
Relatividade Restrita**

Ayrton Nascimento Souza



Autor: Ayrton Nascimento Souza

Produto Educacional submetido ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) como requisito necessário para obtenção do título de Mestre de Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Cristina Ramos (UESB)

Coorientador: Prof. Dra. Jorge Anderson Paiva Ramos (UESB)

Vitória da Conquista

2023

SUMÁRIO

Apresentação3

Apresentação..... 3

Introdução..... 4

Objetivos 6

Encontro 1 7

Encontro 2 9

Encontro 3 11

Encontro 4 14

Encontro 5 16

Encontro 6 18

Encontro 7 21

Encontro 8 22

Referências 23

Material de Apoio..... 24

APRESENTAÇÃO

Cara professora, caro professor,

Este produto é um manual sobre o ensino do conceito de Movimento, no Ensino Médio, o qual foi objeto de uma pesquisa de Mestrado em Ensino de Física, obtendo excelentes evidências de aprendizagem com significado e crítica. Aqui, trabalha-se aspectos da Cinemática da Física Clássica à aspectos iniciais da Cinemática Relativística, com foco total nos conceitos, sem uma abordagem matematizada. Conceitos estes indispensáveis para o entendimento de um dos aspectos de modificação de novos conceitos para transição entre a Mecânica Clássica para a Física Moderna; tratada, neste propósito, como teoria da relatividade restrita.

Dentre os conteúdos abordados, estão: Referencial Inercial, Princípio da Relatividade, Velocidade, Velocidade Relativa, Trajetória, Inércia e Espaço Relativo. Pelos temas abordados, estas aulas foram planejadas para serem implementadas na 1ª série do Ensino Médio.

As aulas são distribuídas em **8 Encontros** de 100 minutos cada. Utiliza-se um Experimento com a plataforma Arduino, simulações, vídeos e atividades impressas.

A intenção aqui é de introduzir conteúdos da Física Moderna, uma vez que costumam ser deixados de lado no Ensino Médio. Isso deixa a sala de aula desconectada do mundo atual.

Além disso, utiliza-se estratégias para sair do ensino tradicional, o qual tem como resultado aprendizagens mecânicas, ou seja, aprendizagens que são meras reproduções, que ficam na cabeça do aluno apenas para avaliação, que não significa nada para a concepção do/a estudante sobre o mundo ou sua vida cotidiana.

Ao contrário da aprendizagem mecânica, busca-se aqui a aprendizagem com significado, que faça sentido para o/a estudante, chamada *aprendizagem significativa* (MOREIRA, 2019). Além disso, busca-se contribuir para uma visão crítica dos estudantes, que os prepare para lidar com a sociedade atual.

Ayrton Nascimento Souza

INTRODUÇÃO

Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) é uma sequência de passos que segue alguns princípios para otimizar a possibilidade de se ter uma aprendizagem significativa. Trabalhamos com as palavras “possibilidade” e “potencialmente” porque os significados a serem aprendidos não estão neste material. Os significados estão nas pessoas. Cada pessoa atribui um significado único, mesmo com todas aprendendo a partir do mesmo material. Este material é apenas um meio que traz a possibilidade de aprender significativamente (MOREIRA, 2019).

O principal fator que influencia a aprendizagem significativa é o conhecimento que o/a estudante já tem. Eles não são recipientes vazios esperando serem preenchidos pelo conhecimento falado pelo professor. A existência prévia de conhecimento interfere na forma como se recebe o conhecimento, por isso, é preciso estar atento a ele. A única forma de se aprender significativamente é quando o conhecimento novo se associa ao que o/a estudante já sabe (MOREIRA, 2019).

Um dos princípios importantes é que se aprende através de novas situações, que trazem complexidade, exemplos, expansão ao conhecimento. O/A professor/a deve propor situações novas que tenham potencial de aprendizagem significativa (MOHR *et al.*, 2012). Ao lidar com estas situações novas, é importante que se aponte diferenças e semelhanças delas com as situações que o/a estudante conhece, assim como também apontar quando alguns conceitos estão subordinados a outros mais gerais. Essas indicações facilitam o processo de associação com o conhecimento prévio do/a estudante (MOHR *et al.*, 2012).

Um outro princípio é que a aprendizagem é facilitada pela socialização, pelo diálogo, pela troca de significados entre pessoas. Neste sentido, atividades colaborativas (bem planejadas) potencializam a aprendizagem (MOREIRA, 2019).

Para mais informações sobre UEPS, leia o material do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1LIUQhlg7bSU0U0LvxHtOouvC-paWUht9/view?usp=share_link

Outro princípio importante é trabalhar com ocasiões que possam gerar emoções positivas no evento educativo, pois isto faz com que os estudantes tenham predisposição para aprender significativamente. Sem predisposição não há aprendizagem significativa. É preciso escolher aprender. Sem isso, não há material e estratégia didática que tenha efeito. Por isso a motivação é muito importante (MOREIRA, 2019).

Outra questão relevante está relacionada a aprendizagem crítica, a qual está relacionada a formar cidadão com capacidade de analisar o seu meio, mesmo estando inserido nele. Este é um tema amplo, mas podemos pontuar como a UEPS deste manual contribui para uma aprendizagem significativa crítica: Quando se aborda a Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade Restrita, e as compara, inevitavelmente se contribui para a leitura de uma realidade sobre diferentes perspectivas. Entender que é possível ver a realidade sob diferentes perspectivas é uma aprendizagem crítica (MOREIRA, 2019).

Por fim, é importante ressaltar que o domínio de um campo conceitual, como a Mecânica Clássica e a Teoria da Relatividade, é progressiva, requer muitos anos. Da mesma forma, o desenvolvimento do pensamento crítico não é imediato, é preciso tempo, e muitas contribuições. O importante é estar no caminho certo (MOREIRA, 2019).

Para mais informações sobre Aprendizagem Significativa Crítica, leia o material do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1xwn4vCFUNdVYx-iFiQ4lvMCv7WaN6cXz/view?usp=share_link

OBJETIVOS

- Identificar o conhecimento prévio dos estudantes;
- Propor atividades colaborativas para resolução de situações-problema;
- Utilizar o experimento com a plataforma Arduíno, simulações e vídeos como estratégias de motivação;
- Desenvolver trocas de significados na mediação do processo de ensino-aprendizagem;
- Promover a aprendizagem significativa crítica através do ensino da Mecânica Clássica e da Teoria da Relatividade Restrita;
- Avaliar a aprendizagem dos estudantes de maneira formativa e somativa.

ENCONTRO 1

60 min

•Questionário de sondagem



40 min

•Mapa conceitual coletivo

QUESTIONÁRIO DE SONDAAGEM

O conhecimento prévio do/a estudante é o fator mais importante para **aprendizagem significativa**.

Semelhante a uma consulta médica, é preciso fazer um diagnóstico do paciente antes de passar remédio para ele. Já pensou você ir para o hospital com dor no braço e antes de você falar nada, o médico te prescreve um remédio para verme? Seria trágico! Mas infelizmente, esta é uma realidade comum do nosso ensino. Da mesma forma, antes de começar a “ensinar” determinado aspecto (prescrever o remédio), é preciso compreender o que o/a estudante sabe do assunto (ouvir, fazer exame, fazer um diagnóstico), para só então falar o que é preciso para aquele/a estudante, naquele momento (passar o remédio na dosagem certa!).

Aliás, precisamos tentar descobrir o tempo todo o que o/a estudante está compreendendo sobre o assunto, só assim poderemos fazer interações efetivas. Ensinar não é só falar ou agir, também é escutar atentamente, tentar se colocar no lugar de compreensão do/a nosso/a estudante.

Neste primeiro passo, vamos tentar descobrir mais ou menos qual é a compreensão do/a estudante sobre o tema que vamos abordar. Só assim, buscando esse conhecimento prévio, que vamos saber qual nível de complexidade usar nas próximas aulas e qual “fio da meada” está disponível para que a gente puxe. Para isso, é importante que as perguntas sejam simples.

O Questionário de sondagem está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1XxmzYWSFLZX8exAnns9qr50n1mdQBaXO/view?usp=share_link

Importante: Num momento extraclasse, leia todas as respostas dadas pelos estudantes, tentando compreender como eles pensam sobre o assunto, pontos conflituosos que podem gerar debate, enfim, pense sempre no que pode ser aproveitado por você no ensino. Além de facilitar a compreensão, a aprendizagem pode ser significativa ao se utilizar elementos e situações sobre as quais os estudantes já conhecem.

MAPA CONCEITUAL

Continuando nossa tarefa de tentar descobrir o pensamento do/a estudante, vamos agora investigar a forma como ele consegue organizar seu pensamento, fazendo um mapa conceitual coletivo.

Cada mapa é único, não existe “o mapa certo”. A forma como seu construtor relaciona os conceitos demonstra como as coisas funcionam na cabeça dele. E é isso que queremos saber.

Nosso mapa coletivo terá a participação de todos na sua confecção, inclusive sua, que fará a mediação:

1º passo: Pergunte aos estudantes quais são os conceitos, ideias, palavras-chave que, na opinião deles, estão ligadas a ideia de Movimento.

2º passo: Faça uma lista no quadro com essas palavras.

3º passo: Escreva no centro superior do quadro, a palavra “Movimento” e circule-a. Este é o início do mapa conceitual!

4º passo: Sempre consultando os estudantes sobre o que fazer (qual conceito usar, onde colocá-lo, qual ligação colocar entre eles *etc.*), monte com eles um mapa conceitual sobre Movimento.

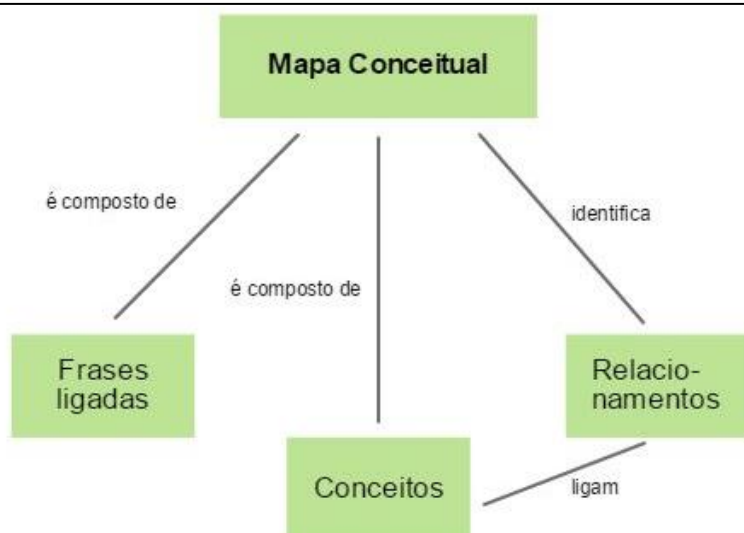


Figura I1 – Mapa conceitual

Fonte: Significados ([s.d.])⁷⁶

Para mais informações sobre Mapas Conceituais, leia o material do Prof. Dr. Marco Antônio Moreira está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1Sd-GJw_OChKn0-1LsF23kD3r5_pIEbKs/view?usp=share_link

Mapas conceituais são semelhantes a um mapa mental, mas possui regras que fazem com que seu construtor exponha justamente a sua estrutura de pensamento. Em resumo: O ingrediente principal dos mapas conceituais são os conceitos, e por isso eles ficam dentro de figuras geométricas; os conceitos são ligados por linhas que devem ter frases de ligações. Dessa forma, um mapa tem várias “frases” a partir da sequência **conceito 1** → **palavra(s) de ligação** → **conceito 2**. Um exemplo está na figura ao lado, que mostra um mapa conceitual sobre mapa conceitual (MOREIRA, 2012).

Atenção: Sua mediação é importante aqui, para que se

⁷⁶ SIGNIFICADOS de um mapa conceitual. [Sem título]. [s.d.]. 1 ilustração. Disponível em: <https://www.significados.com.br/mapa-conceitual/>. Acesso em: 20 set. 2022.

ENCONTRO 2

50 min

•Exposição dialogada



50 min

•Atividade 1 em Grupo

EXPOSIÇÃO DIALOGADA: REFERENCIAL, TRAJETÓRIA E MOVIMENTO

O conhecimento prévio do/a estudante é o fator mais importante para **aprendizagem significativa** (MOREIRA, 2019).

Semelhante a uma consulta médica, é preciso fazer um diagnóstico do paciente antes de passar remédio para ele. Já pensou você ir para o hospital com dor no braço e antes de você falar nada, o médico te prescreve um remédio para verme? Seria trágico! Mas infelizmente, esta é uma realidade comum do nosso ensino. Da mesma forma, antes de começar a “ensinar” determinado aspecto (prescrever o remédio), é preciso compreender o que o/a estudante sabe do assunto (ouvir, fazer exame, fazer um diagnóstico), para só então falar o que é preciso para aquele/a estudante, naquele momento (passar o remédio na dosagem certa!).

Aliás, precisamos tentar descobrir o tempo todo o que o/a estudante está compreendendo sobre o assunto, só assim poderemos fazer interações efetivas. Ensinar não é só falar ou agir, também é escutar atentamente, tentar se colocar no lugar de compreensão do/a nosso/a estudante.

Neste primeiro passo, vamos tentar descobrir mais ou menos qual é a compreensão do/a estudante sobre o tema que vamos abordar. Só assim, buscando esse conhecimento prévio, que vamos saber qual nível de complexidade usar nas próximas aulas e qual “fio da meada” está disponível para que a gente puxe. Para isso, é importante que as perguntas sejam simples.

Os *slides* ao lado estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



https://docs.google.com/presentation/d/19g6liUUDsCxzMsHgRPVpp1_HekHRYwox/edit?usp=share_link&oid=112504735839737740130&rtpof=true&sd=true

Importante: Num momento extraclasse, leia todas as respostas dadas pelos estudantes, tentando compreender como eles pensam sobre o assunto, pontos conflituosos que podem gerar debate, enfim, pense sempre no que pode ser aproveitado por você no ensino. Além de facilitar a compreensão, a aprendizagem pode ser significativa ao se utilizar elementos e situações sobre as quais os estudantes já conhecem.

ATIVIDADE 1 EM GRUPO

Agora será o momento de os estudantes colocarem a mão-na-massa. Oriente para que a turma se organize em grupos de, em média, 4 pessoas. Solicite que cada grupo utilize a criatividade para colocar um nome em si.

Será proposta uma atividade impressa com **situações-problema**, ou seja, são situações que os estudantes devem elaborar uma solução baseado nos conceitos trabalhados e os que eles já possuem.

Incentive que o grupo discuta com todos os seus membros, compartilhem opinião, elaborem sobre o problema, até que todos cheguem num acordo do que responderão.

A Atividade 1 em Grupo está disponível no está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1XDIr3SxWrlhtdRWOHefdHXDmOjzZM8Ut/view?usp=share_link

Importante: Num momento extraclasse, leia todas as respostas dadas pelos grupos e as utilize onde avaliar que cabe.

ENCONTRO 3

20 min

•Correção de
Atividade

30 min

•Mapa
Conceitual

20 min

•Experimento
como plataforma
Arduino

30 min

•Atividade 2
em Grupo

CORREÇÃO DA ATIVIDADE

Neste momento, deve-se fazer uma discussão e revisão das Atividade 1 em grupo, mas agora nomeando os conceitos trabalhados na última aula:

- ✓ O princípio da Relatividade;
- ✓ A Velocidade Relativa.

MAPA CONCEITUAL

Proponha que os grupos feitos anteriormente sejam retomados e, juntos, **alterem os mapas conceituais** feitos na primeira aula.

Solicite que os grupos reorganizem os conceitos, numa ordem de hierarquia, do conceito mais geral no topo do mapa, para o mais particular na base do mapa.

EXPERIMENTO COM A PLATAFORMA ARDUÍNO

O experimento possui a seguinte estrutura: dois carros de brinquedo com motor elétrico, cada um em cima da sua própria pista, que estão em posições paralelas; em cada pista, há uma linha de chegada e dois sensores de movimento associados ao Arduino, com o qual se calcula as velocidades de cada carrinho. O cálculo das medidas deve ser projetado na sala em tempo real, para os estudantes verem.

Se achar necessário, utilize os *slides* que estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



https://docs.google.com/presentation/d/1yWoh779edRZSweAPd4iQkPsgXeZPs9ig/edit?usp=share_link&ouid=112504735839737740130&rtpof=true&sd=true

Agora, eles podem retirar conceitos que eles sintam que não fazem sentido e/ou acrescentassem novos conceitos que quisessem.

Se achar que cabe, peça para tentarem introduzir no mapa os conceitos de Princípio da Relatividade e Velocidade Relativa.

O manual de montagem deste experimento com a plataforma Arduino está no final, na seção de **Material de Apoio**.

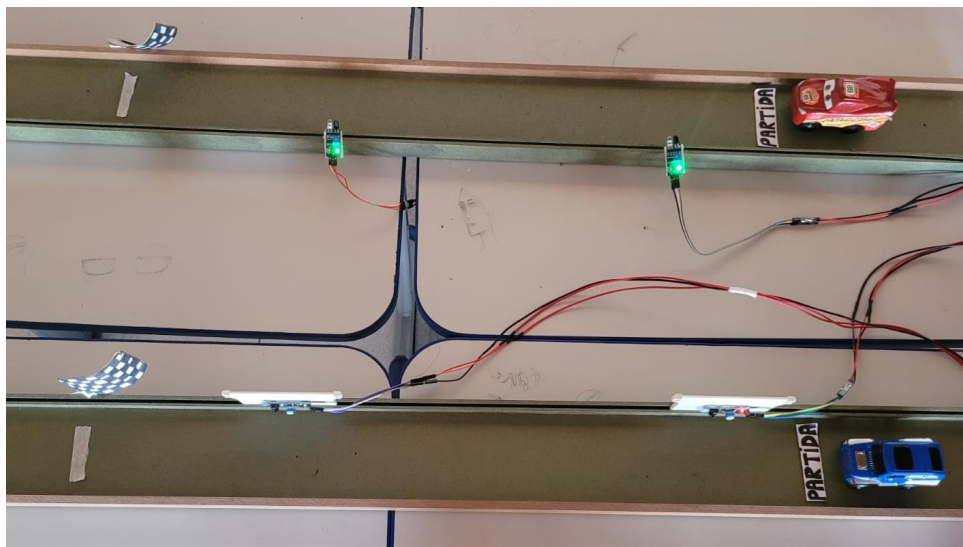


Figura I2 – Experimento com Arduino

Fonte: Próprio autor (2023)

ETAPA 1 DO EXPERIMENTO:

Faça a questão para a turma (e ouça as respostas):

Como funciona o radar de velocidade nas rodovias?

Então discuta as respostas dadas, corrigindo o que estiver inadequado, e demonstre o funcionamento do radar com o experimento utilizando apenas um carro.

ETAPA 2 DO EXPERIMENTO:

Serão realizadas duas corridas.

Características da corrida 1: Com saídas simultâneas, baterias aproximadamente iguais, linhas de chegada à mesma distância, o resultado deve dar empate.

Depois desta corrida, você deve aumentar a distância de apenas uma das linhas de chegada.

Características da corrida 2: Com saídas simultâneas, baterias aproximadamente iguais, mas com uma linha de chegada mais próxima que a outra, o resultado deve conter um vencedor.

Informações sobre **Radares** estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-radar-de-velocidade/>

DICA: Peça ajuda de algum estudante, para utilizar o segundo carro. É sempre importante buscar a participação dos estudantes. Também pergunte para quem os estudantes estão torcendo, para garantir a diversão do momento.

ATIVIDADE 2 EM GRUPO

Agora, uma nova atividade impressa com os mesmos grupos é proposta.

Importante: Como sempre, leia as respostas para ir fazendo uma avaliação dos avanços e dificuldades dos estudantes, para direcionar as próximas abordagens para o que é mais preciso.

A atividade está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/19d17-nY_LeJvFg4yhHoZMh3ZyuMdxCOo/view?usp=share_link

ENCONTRO 4

20 min

• Simulação expositiva

20 min

• Vídeo de um experimento

20 min

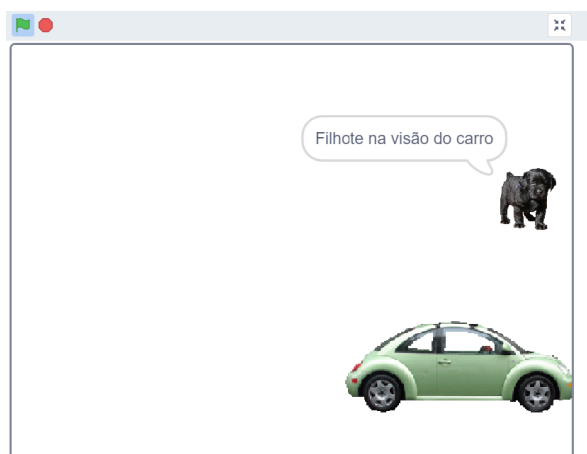
• Vídeo de uma simulação

40 min

• Atividade 3 em Grupo

SIMULAÇÃO EXPOSITIVA

Utilize a simulação do Scratch ao lado para revisar o conceito de **Referencial e Movimento Relativo**.



Fonte: Captura de tela da Simulação⁷⁷

A simulação está disponível no *link* abaixo:

<https://scratch.mit.edu/projects/168378029/>

VÍDEO DO EXPERIMENTO

Utilize o vídeo do experimento ao lado para discutir o conceito de **Inércia**.



Fonte: Captura de tela do vídeo do experimento⁷⁸

O vídeo do experimento está disponível no *link* abaixo:

<http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.html>

⁷⁷ Disponível em: <https://scratch.mit.edu/projects/168378029/>

⁷⁸ Disponível em: <http://www.fep.if.usp.br/~fisfoto/translacao/velocidadeRelativaTrem/index.html>

Explique como é o mecanismo do lançamento da bola a partir da chaminé, considerando o trem parado. Em seguida reproduza o vídeo até a eminência do trem fazer o lançamento e pause. Então pergunte a turma:

O que vai acontecer com a bolinha nessa situação?

Depois de ouvir e organizar as hipóteses levantadas, reproduza novamente o vídeo, e discuta com a turma o conceito de **Inércia**.

VÍDEO DA SIMULAÇÃO

Utilize o vídeo ao lado para discutir os dois tópicos apontados anteriormente: Movimento relativo e inércia, através do conceito de trajetória do referencial.



Fonte: Captura de tela do vídeo⁷⁹

ATIVIDADE 3 EM GRUPO

Mais uma nova atividade impressa com os mesmos grupos é proposta.

Importante: Leia as respostas antes da próxima aula e as utilize para direcionar a sua energia e tempo pedagógico para onde parece ser mais necessário.

Se a intuição sobre **inércia** não estiver clara, é possível que achem que a bola cairá no mesmo local onde foi lançada. Absorva as reações dos estudantes e discuta o conceito de inércia, fazendo uma negociação de significados sobre o que ocorreu.

O vídeo da simulação está disponível no *link* e *QR code* abaixo:



<https://www.youtube.com/watch?v=kk8xk8COODI>

A atividade está disponível *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1UJqKBGWrvDxp7IKS8bqQdtk3QGtSC3RY/view?usp=share_link

⁷⁹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kk8xk8COODI>

ENCONTRO 5

50 min

• Simulação interativa



50 min

• Exposição dialogada

SIMULAÇÃO INTERATIVA

Discuta as respostas da última atividade com os estudantes utilizando a **simulação interativa sobre queda livre** da SimFi CAP-UERJ. Esta simulação será utilizada aqui para se trabalhar os conceitos de **Inércia** e **Trajatória**.



Fonte: Captura de tela da simulação⁸⁰

Desafie a turma acertar o alvo. Você solta a bomba quando pedirem ou pode deixar algum/a estudante fazendo esta função.

A Simulação interativa está disponível no *link* abaixo:

<https://simfi.itch.io/lanamento-horizontal>

Dica: A cada tentativa, dê uma pequena informação sobre os conceitos trabalhados (de forma planejada!), como se fossem dicas para acertar o alvo.

Outra dica: Explore as opções da simulação, para ir aumentando a dificuldade quando achar necessário.

EXPOSIÇÃO DIALOGADA: CONHECIMENTO, CIÊNCIA E REVOLUÇÕES

Nesta exposição dialogada, se aborda os conceitos de **Conhecimento Humano, Ciência & Tecnologia** e **Revolução Científica**, para se preparar para abordar a **Teoria da Relatividade Restrita** numa aula futura.

Esta aula é guiada pelos *slides* ao lado.

Os *slides* estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



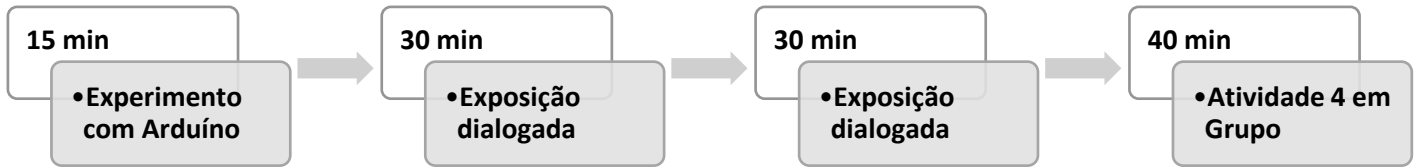
https://docs.google.com/presentation/d/1RUgCK97G1_iJMPYtepsnrOsNV_3WUBY/e dit?usp=share_link&ouid=112504735839737740130&rtpof=true&sd=true

⁸⁰ Disponível em: <https://simfi.itch.io/lanamento-horizontal>

Assuma uma postura de alguém que quer captar e compartilhar significados:

Sempre que alguém, estudante ou professor/a, expressa sua visão sobre algo, ela está expressando o significado que captou. Sendo esta pessoa a/o estudante, cabe a você, professor/a, verificar se está de acordo com o objetivo daquele momento da aula, e se não estiver, intervir, recebendo aquele significado, moldando-o e devolvendo-o ao/à estudante. Que por sua vez, irá recebê-lo, moldar segundo sua própria compreensão, e deve expressar o significado que captou. Este processo deve se repetir até haver um **compartilhamento de significados**, ou seja, quando os dois, estudante e professor/a, tenham um significado em comum.

ENCONTRO 6



EXPERIMENTO COM A PLATAFORMA ARDUÍNO

Para nos preparar para fazer a transição para a **Teoria da Relatividade**, vamos repetir a **segunda etapa** do experimento com a plataforma Arduino.

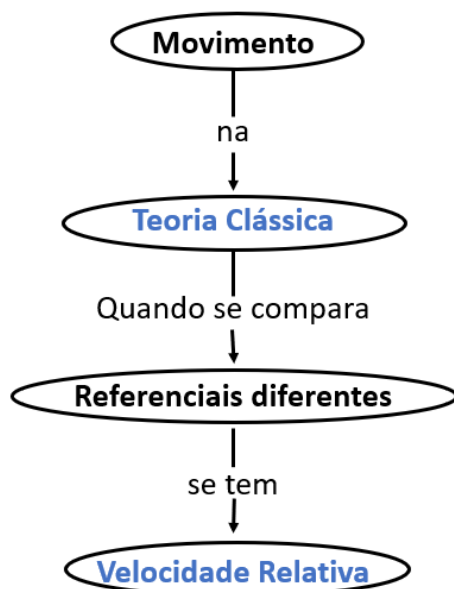
RELEMBRANDO

Corrida 1: Com saídas simultâneas, baterias aproximadamente iguais, linhas de chegada à mesma distância, o resultado deve dar empate.

Corrida 2: Com saídas simultâneas, baterias aproximadamente iguais, mas com uma linha de chegada mais próxima que a outra, o resultado deve conter um vencedor.

EXPOSIÇÃO DIALOGADA: MOVIMENTO PARA A TEORIA CLÁSSICA

Nesta exposição dialogada, se abordará os conceitos de **Movimento** trabalhados até aqui, dentro de uma **lógica da Mecânica Clássica**. Esta aula é guiada pelos *slides* ao lado.



Fonte: Próprio autor (2023)

Os *slides* sobre a **Teoria Clássica** estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



https://docs.google.com/presentation/d/1ZbXhJ6EOfYPP7ELJE4QmNuOfQFNjmYR4/edit?usp=share_link&ouid=1125047

Nestes slides são abordadas diversas situações-problema trabalhadas anteriormente, vistas, agora, sob a ótica desta **lógica da Mecânica Clássica**.

A Lógica da Mecânica Clássica: quando se analisa o conceito de Movimento, comparando Referenciais Inerciais diferentes (um em movimento em relação ao outro), sempre teremos como resultado uma Velocidade Relativa.

EXPOSIÇÃO DIALOGADA: MOVIMENTO PARA A TEORIA RELATIVÍSTICA

Nesta exposição dialogada, também se abordará os conceitos de **Movimento** trabalhados até aqui, mas a partir da lógica da **Teoria Relativística**.

Esta aula é guiada pelos *slides* ao lado. Neles, são abordadas diversas situações trabalhadas anteriormente, vistas, agora, sob a ótica desta **lógica da Teoria Relativística**.

A transição para a **Teoria da Relatividade** é feita por uma **metáfora**:

A partir da configuração do experimento com Arduino, na qual uma pista estava maior (uma linha de chegada mais distante) que a outra, proponha a seguinte situação-problema:

Considerando que você esteja proibido de modificar a velocidade dos carrinhos, mas que você pudesse modificar o local da linha de chegada. O que teria que acontecer para ambos atravessarem a linha de chegada ao mesmo tempo?

Espera-se que cheguem à conclusão de que, diante da impossibilidade de alterar a velocidade, a única solução é a redução da pista!

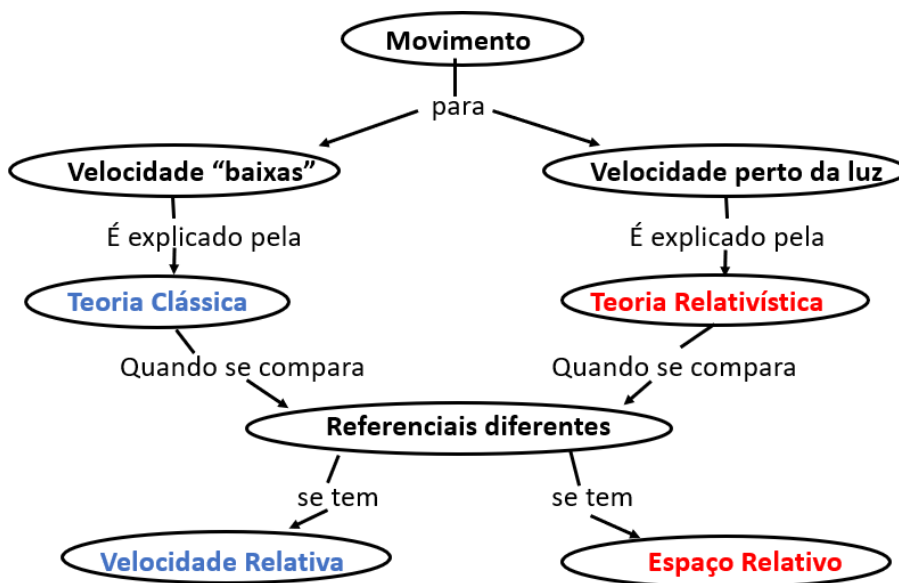
A metáfora é a seguinte: a diminuição de uma das pistas de corrida é associada à contração do espaço, que ocorre como consequência da impossibilidade de se ultrapassar a velocidade luz!

Os *slides* sobre a **Teoria Relativística** estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



https://docs.google.com/presentation/d/15T1E-OX9uZzba_zuhhMx5Cp5braOo-26/edit?usp=share_link&ouid=112504735839737740130&rtpof=true&sd=true

Comentário importante a se fazer: Apesar da Teoria Clássica ter sido superada pela Teoria Relativística, ela ainda é funcional para velocidades “baixas” (menores que 10% da velocidade da luz).



Fonte: Próprio autor (2023)

Comentário importante a se fazer: Apesar da Teoria Clássica ter sido superada pela Teoria Relativística, ela ainda é funcional para velocidades “baixas” (menores que 10% da velocidade da luz).

A Lógica da Teoria Relativística: quando se analisa o conceito de Movimento, comparando Referenciais Inerciais diferentes (um em movimento em relação ao outro), para velocidades próximas a da luz, teremos como resultado um Espaço Relativo.

ATIVIDADE 4 EM GRUPO

Outra atividade impressa com os mesmos grupos é proposta.

A atividade está disponível *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1WQrGv1WHZhGqVGImYcjkrX5p0qim3Ej/view?usp=share_link

ENCONTRO 7

20 min

•Correção de Atividade

40 min

•Atividade 5 em Grupo

40 min

•Discussão coletiva

CORREÇÃO DA ATIVIDADE 4 EM GRUPO

Esta correção é guiada pelos *slides* ao lado. Neles, ao mesmo tempo que corrige a Atividade 4 em Grupo, compara-se as duas teorias sobre o **Movimento, Clássica e Relativística**, em algumas situações-problema.

Lembre-se: Postura de diálogo, “provocativa”, buscando os significados dos estudantes, e compartilhando significados científicos.

Os *slides* estão disponíveis no *link* e *QR code* abaixo:



https://docs.google.com/presentation/d/1LefSOaGrVTpy9FIMTurxbA7cswcTPieH/edit?usp=share_link&ouid=112504735839737740130&rtpof=true&sd=true

ATIVIDADE 5 EM GRUPO

A última atividade impressa com os mesmos grupos proposta está ao lado.

A atividade está disponível *link* e *QR code* abaixo:



https://drive.google.com/file/d/1ZTtSWwuCazfhVYZy85FIsjBpofxkfjlm/view?usp=share_link

DISCUSSÃO COLETIVA

Neste mesmo encontro, se discute com os grupos o que responderam em cada questão, corrigindo coletivamente os ajustes necessários.

ENCONTRO 8

60 min

•Avaliação somativa

25 min

•Discussão coletiva

15 min

•Avaliação das aulas

AVALIAÇÃO SOMATIVA

A avaliação somativa está disponível no *link* e *QR code*

Este é o momento da **avaliação individual** impressa sobre os assuntos trabalhados ao longo de toda esta UEPS, que está ao lado.



https://drive.google.com/file/d/1EhuZcOmn9ug40iW5BTjJwRfX5gTkjt1a/view?usp=share_link

DISCUSSÃO COLETIVA

Se possível, organize a sala em semicírculo e faça uma discussão prévia com a turma sobre o que responderam em cada questão, apontando erros e acertos.

AVALIAÇÃO DAS AULAS

A simulação está disponível no *link* e *QR code* abaixo:

Este é o momento da avaliação individual que cada aluno dará sua opinião sobre como foram as aulas, para que você, professor/a, avalie o que é pertinente para melhorá-la.

Esta avaliação está ao lado. Devemos considerar as respostas e avaliar o que for pertinente para melhorarmos como profissionais. Esta é uma busca constante, sem linha de chegada, em que todos devemos estar.

Observação:

Esta sequência de passos não precisa ser “engessada”. Faça as modificações necessárias, se adapte ao desempenho da turma em que está implementando.



https://drive.google.com/file/d/1TNunePP9-3xv7bADbSuakMoVTYNYnc8K/view?usp=share_link

REFERÊNCIA

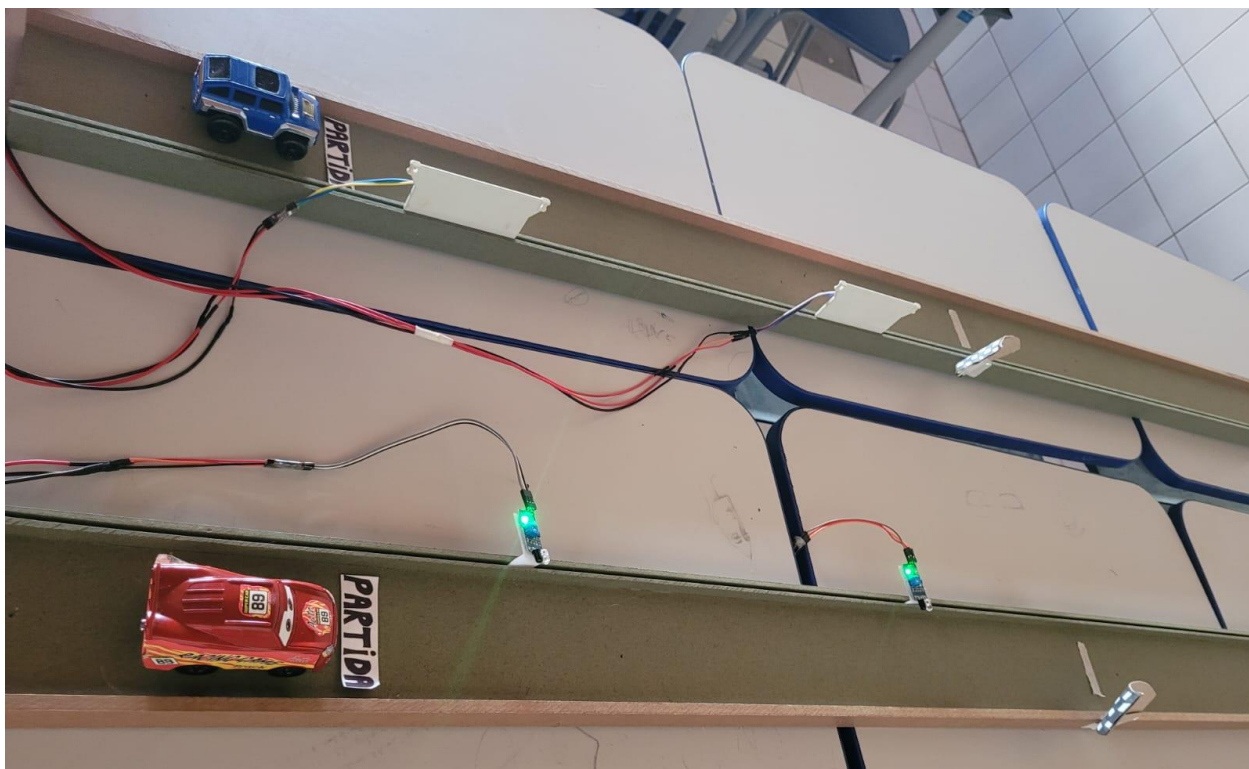
MOHR, Adriana; ARAÚJO, Magnólia F. F. de; SILVA, Marcia G. L. da (org.). Temas de ensino e formação de professores de ciências. Natal: EDUFRN, 2012.

MOREIRA, Marco Antônio. Teorias de Aprendizagem. 2 ed. São Paulo: E.P.U., 2019.

MOREIRA, Marco Antônio. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. UFRGS: Porto Alegre, 2012.

MATERIAL DE APOIO – EXPERIMENTO COM A PLATAFORMA ARDUÍNO

EXPERIMENTO DA CORRIDA DE CARRO COM MEDIDOR DE VELOCIDADE



Fonte: Próprio autor (2023).

MATERIAIS

Para além da parte que envolve o experimento com a plataforma Arduino, outros itens foram utilizados:

- Dois carros de brinquedo, elétricos, com funcionamento a pilha, e que anda de maneira retilínea, com velocidade aproximadamente uniforme;
- Pista de madeira de 1,5 metro de comprimento, com suporte lateral para se colocar o sensor de movimento;
- Fita adesiva crepe.

A Função da fita crepe é marcar, a linha chegar e de partida de cada pista de corrida.

Quanto a parte que envolve o Arduino, foram utilizadas dois conjuntos de itens, um para cada pista. Assim sendo, a seguir serão mostrados os itens utilizados para cada uma das pistas,

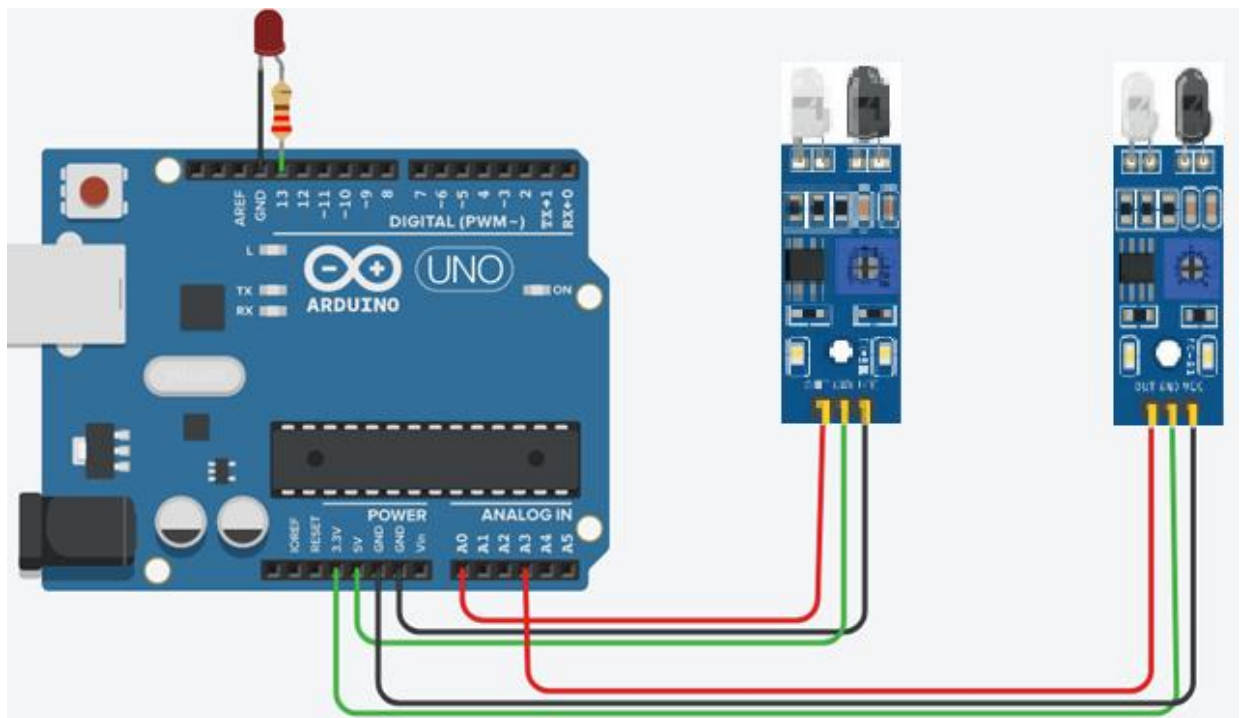
de forma que basta utilizar outros itens iguais e fazer os mesmos procedimentos para a outra pista, que o experimento completo estará pronto.

Os itens utilizados foram:

- 02 Sensores infravermelho Reflexivo de Obstáculo;
- 01 Placa de Arduino UNO;
- 01 LED;
- 01 resistor 220 Ω ;
- 06 cabos jumper macho/fêmea de 70 cm.

ESQUEMA

A montagem do esquema na placa do Arduino foi feita da seguinte forma:



Fonte: Montagem do autor⁸¹

⁸¹ Montagem feita a partir de esquema inicial no site <<https://www.tinkercad.com/>> com imagem disponível no link <https://aluno.escoladigital.pr.gov.br/sites/alunos/arquivos_restritos/files/documento/2021-05/aula_30_sensor_obstaculo.pdf>.

PROGRAMAÇÃO

O código utilizado foi o seguinte:

```

int sen1=A0;
int sen2=A3;
int ledPin=9;
unsigned long t1=0;
unsigned long t2=0;
float velocity;
float velocity_real;
float velocity_real2;
float timeFirst;
float timeScnd;
float diff;
float speedConst=35; //in cm. //Entrada do valor do tamanho da pista
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //*****
  pinMode(sen1,INPUT);
  pinMode(sen2,INPUT);
  analogWrite(11,LOW);
  analogWrite(10,HIGH);
}
void loop()
{
  if (analogRead(sen1)<500 && analogRead(sen2)>500)
  {
    timeFirst = millis();
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    delay(30);
  }

  if (analogRead(sen2)<500 && analogRead(sen1)>500)
  {
    timeScnd = millis();
  }
}

```

```

    diff = timeScnd - timeFirst;
    velocity = speedConst / diff;
    velocity_real = velocity*3.60;           //milliseconds to hours and centimetres
to kilometres.
    velocity_real2 = 10*velocity;
    delay(300); // tempo morto
    digitalWrite(ledPin, HIGH);

    Serial.print("\n A velocidade e : ");
    Serial.print(velocity_real2,3);
    Serial.print(" m/s ");

    Serial.print(" ou ");
    Serial.print(velocity_real,3);
    Serial.print(" km/h. ");
    delay(500);
    digitalWrite(ledPin,LOW);
    delay(500);

}
}

```

É preciso que se informe o tamanho da distância entre os dois sensores, em centímetros, para que o cálculo da velocidade esteja correto. O local de alteração, na programação, está na 12ª linha, em “float speedConst=35”. Então, se, por exemplo, a distância entre sensores é de 60 cm, substitui-se onde está “35” por “60”.

Assim, clicando em “Tools” e em seguida em “Serial Monitor”, basta compilar e executar o código, que, depois que o carro passar nos dois sensores, será mostrada a sua velocidade!