

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**DA ÓTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA PROPOSTA DE ENSINO
INVESTIGATIVO SOBRE A LUZ E SEUS IMPACTOS TECNOLÓGICOS**

WENDELL DA SILVA CRUZEIRO

BRASÍLIA – DF
Agosto de 2020

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**DA ÓTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA PROPOSTA DE ENSINO
INVESTIGATIVO SOBRE A LUZ E SEUS IMPACTOS TECNOLÓGICOS**

WENDELL DA SILVA CRUZEIRO

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), da Universidade de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. Marcello Ferreira.

BRASÍLIA – DF

Agosto de 2020

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C? Cruzeiro, Wendell
DA ÓTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA PROPOSTA DE ENSINO
INVESTIGATIVO SOBRE A LUZ E SEUS IMPACTOS TECNOLÓGICOS /
Wendell Cruzeiro; orientador Marcello Ferreira. --
Brasília, 2020.
191 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Profissional em Ensino
de Física) -- Universidade de Brasília, 2020.

1. IBSE . 2. 5Es. 3. Investigação da luz . 4. Ensino de
Física . 5. Matriz educacional . I. Ferreira, Marcello ,
orient. II. Título.

WENDELL DA SILVA CRUZEIRO

DA ÓTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA PROPOSTA DE ENSINO
INVESTIGATIVO SOBRE A LUZ E SEUS IMPACTOS TECNOLÓGICOS

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), da Universidade de Brasília.

Aprovada em 27 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Marcello Ferreira

Orientador e examinador interno

Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim

Membro Interno

Dr. Paulo Henrique Dias de Menezes

Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, ao criador, por ter me dado privilégios de compreender uma parte da linguagem do universo e as leis da física. Gostaria de agradecer também ao conforto e carinho da Virgem e Santa Maria.

À minha eterna namorada, Stephane Lorrane Fernandes Alves, por dedicar o seu tempo a me ensinar e me ajudar a compreender os desafios da vida e atravessar todas as suas fases.

À minha família, que foi suporte para que eu não enlouquecesse nesse processo de estudo e trabalho. Meu lugar de repouso foi sempre a minha família. Nessa mesma linha, quero agradecer à família que veio junto com a Stephane, que se tornou a minha segunda família.

A os meus alunos, sem os quais este trabalho não seria possível. Eles foram a minha motivação da minha inscrição no processo seletivo do MNPEF; por causa deles, eu aceitei o desafio de atualizar a minha didática e melhorar os meus métodos de ensino. No decorrer do processo, conheci e agradeço às pessoas que me ajudaram a chegar onde estou hoje. Quero agradecer de forma especial aos meus colegas de curso, Eduardo Divino e Wesley Ferreira, por fazerem comigo parte das atividades, listas e relatórios, artigos e apresentações. Nunca esquecerei dessa força.

Quero agradecer a todos os meus professores que me ensinaram e me ajudaram a tornar-me um professor capacitado. O método que utilizo hoje em sala de aula foi copiado do professor Dr. Antony Polito, com o mesmo entusiasmo da professora Dr. Adriana Ibaldo, com a mesma alegria da professora Dr. Vanessa Carvalho, com a mesma postura e determinação do professor Dr. Fábio Lima e com a mesma autenticidade e rigor do professor Dr. Marcello Ferreira.

Ao professor Dr. Marcello Ferreira, por ser um espelho como pessoa e professor. No processo de orientação, houve muitas batalhas intensas e hoje saio nocauteado, mas com a vitória. O meu objetivo foi alcançado graças à sua persistência. Muito obrigado! Agradeço aos membros da banca examinadora, os professores Dr. Ronni Geraldo Gomes de Amorim, da UnB, e Dr. Paulo Henrique Dias de Menezes, da UFJF, por participarem e avaliarem o meu trabalho, dando contribuições importantes à sua finalização.

Grato também ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – o MNPEF – e à Universidade de Brasília, pela criação de condições e viabilização da realização do curso de Mestrado. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) – Código de Financiamento 001.

Racionais MC's

Porque o guerreiro de fé nunca gela
Não agrada o injusto, e não amarela
O rei dos reis foi traído e sangrou nessa terra
Mas morrer como um homem é o prêmio da guerra
Mas ó, conforme for, se precisa,
afoga no próprio sangue, assim será
Nosso espírito é imortal, sangue do meu sangue
Entre o corte da espada e o perfume da rosa
Sem menção honrosa, sem massagem

A vida é *loka*, nêgo
E nela eu tô de passagem
[...] Saúde, guerreiro!

RESUMO

A motivação deste trabalho consiste em apresentar tecnologias cotidianas objetivando a construir conhecimentos relativos à descrição fenomenológica da luz. Dessa forma, esta pesquisa tem como proposta aplicar uma matriz metodológica na construção de uma sequência didática sobre interações da luz com a matéria, por meio de fenômenos contemporâneos, tais como: espectro eletromagnético, wi-fi, *Charge Wireless Power Shell* (transferência de carga por comando sem fio), impressoras 3D e hologramas. Nossos objetivos principais são: aprofundar os referenciais teóricos do estudo da aprendizagem por descoberta e da investigação baseada no ensino de ciências; implementar uma metodologia com base nesses referenciais e proporcionar uma transposição didática sobre o ensino de óptica, ondulatória e eletromagnetismo; e implementar uma matriz metodológica que relaciona os tipos de aprendizagem e os 5Es da IBSE, com intuito de aguçar a curiosidade e o interesse do estudante. Dessa forma, é ativado o processo de educação; ao explicar o conhecimento, ele será iconizado com argumentos e fatos. Esses ícones, juntos, solidificam a aprendizagem com uma simbolização. Serão utilizadas as representações de Bruner sobre a interação da luz e o espectro eletromagnético. Utilizando-se das representações de Bruner e dos elementos da IBSE, desenvolveu-se um método avaliativo com base no grau de investigações, explorações e explicações, os graus de aquisição de conhecimentos. Também houve a alternativa de materializar o conhecimento teórico em um sólido geométrico formado por quatro pentágonos, que descreve o estudo da luz aplicado à ciência, à tecnologia e à cultura, no âmbito do método avaliativo dos graus de aquisição. Foi, por fim, desenvolvido, aplicado e avaliado produto educacional, correspondendo a uma sequência didática sobre a interface ótica e eletromagnetismo em uma turma do segundo ano do Ensino Médio de uma escola particular do Distrito Federal.

Palavras-chaves: IBSE. 5Es. Investigação da luz. Ensino de Física. Matriz educacional.

ABSTRACT

The motivation of this work is to present daily technologies aiming at the creation of advanced knowledge about the phenomenological description of light. Thus, this research proposes to apply a methodological matrix in the construction of a didactic sequence on light interactions with materials, through contemporary contemporary phenomena, such as: electromagnetic spectrum, wi-fi, charging wireless charge rate (Shell de wireless power) by wireless controller), 3D printers and holograms. Our main objectives are: to deepen the theoretical references of the study of learning by discovery and scientific research in science teaching; implement a methodology based on references and create a didactic transposition on the teaching of optics, wave and electromagnetism; and implement a methodological matrix that relates the types of learning and the 5Es of IBSE, in order to cure the student's curiosity and interest. In this way, the education process is activated; when explaining knowledge, it will be iconized with a guments and facts. These icons, together, solidify a learning with a symbolization. They will be used as representations of Bruner on the interaction of light and the electromagnetic spectrum. Using Bruner's representations and the elements of IBSE, an evaluation method was developed based on the degree of investigation, explanations and explanations, the degrees of knowledge acquisition. There was also an alternative to materialize theoretical knowledge in a metallic solid formed by four pentagons, which describes or studies the light applied to science, technology and culture, without the scope of the evaluation method of degrees of use. Finally, an educational product was developed, applied and evaluated, corresponding to a didactic sequence on an optical interface and electromagnetism in a second-year high school class at a private school in the Federal District.

Keywords: IBSE. 5Es. Investigation of light. Physics Teaching. Educational matrix.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DIMENSÕES DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA.....	25
FIGURA 2: OS STANDARDS DAS APRENDIZAGENS.....	28
FIGURA 3: PIRÂMIDE SEMIÓTICA.....	43
FIGURA 4: DESENVOLVIMENTO DA LINGUAGEM X DESENVOLVIMENTO DA APRENDIZAGEM.....	43
FIGURA 5: 5ES DO MODELO INSTRUCIONAL DE APRENDIZAGEM.	52
FIGURA 6: ESTÁGIOS DE APRENDIZAGEM CONFORME METODOLOGIA IBSE.	54
FIGURA 7: ILUSTRAÇÃO DOS ECLIPSES SOLARES E LUNARES.....	59
FIGURA 8: REFLEXÃO E REFRAÇÃO.	59
FIGURA 9: PULSOS LINEARES.....	60
FIGURA 10: DISPERSÃO DA LUZ.	62
FIGURA 11: CARGA PUNTIFORME E CAMPO ELÉTRICO.	66
FIGURA 12: CAMPO MAGNÉTICO.	68
FIGURA 13: LEI DE FARADAY-LENZ.	69
FIGURA 14: LEI DE AMPÈRE-MAXWELL.....	71
FIGURA 15: ONDA ELETROMAGNÉTICA.....	74
FIGURA 16: ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.	75
FIGURA 17: O EFEITO FOTOELÉTRICO.	77
FIGURA 18: IDEIA BÁSICA DA HOLOGRAFIA.....	78
FIGURA 19: O FANTASMA DE PEPPER.	80
FIGURA 20: MONGA, A MULHER GORILA.	80
FIGURA 21: ESQUEMA GERAL DAS PROJEÇÕES DAS IMAGENS OBSERVADAS ATRAVÉS DAS PIRÂMIDES “HOLOGRÁFICAS”	81
FIGURA 22: APLICAÇÕES DA HOLOGRAFIA EM SHOWS E CIRCOS.	82
FIGURA 23: IMAGEM MODELADA EM 3D.	83
FIGURA 24: EIXOS DO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM.	89
FIGURA 25: PLANO CARTESIANO DA MATRIZ METODOLÓGICA.	90
FIGURA 26: PENTÁGONO DA APRENDIZAGEM PERSONALIZADA.	97
FIGURA 27: PENTÁGONO DA APRENDIZAGEM SITUADA.....	99
FIGURA 28: PENTÁGONO DA APRENDIZAGEM COLABORATIVA.....	101
FIGURA 29: PENTÁGONO DA APRENDIZAGEM CONTINUADA.....	103
FIGURA 30: OS PENTÁGONOS DA APRENDIZAGEM INVESTIGATIVA.FONTE: ELABORADA PELO AUTOR (2020).	105
FIGURA 31: O ENSINAMENTO INVESTIGATIVO.	106
FIGURA 33: ESCADA AVALIATIVA.....	110
FIGURA 34: RESPOSTA PRODUZIDA PELO GRUPO 1G1 ACERCA DA INTERAÇÃO DA LUZ COM A MATÉRIA E DA DISPERSÃO DA LUZ.	118
FIGURA 35: RESPOSTA PRODUZIDA PELO GRUPO 1G2 SOBRE A INTERAÇÃO DA LUZ COM A MATÉRIA E A DISPERSÃO DA LUZ.....	119
FIGURA 36: RESPOSTA PRODUZIDA PELO GRUPO 1G2 SOBRE A INTERAÇÃO DA LUZ COM A MATÉRIA E A DISPERSÃO DA LUZ.....	120
FIGURA 37: AVALIAÇÃO A1, ESTUDANTE 1E1 (3º GRAU DE AQUISIÇÃO).	122
FIGURA 38: AVALIAÇÃO A1, ESTUDANTE 1E2 (1º GRAU DE AQUISIÇÃO).	123
FIGURA 39: AVALIAÇÃO A1, ESTUDANTE 1E3 (2º GRAU DE AQUISIÇÃO).	123

FIGURA 40: RESPOSTA PRODUZIDA PELO GRUPO 2G1 À NATUREZA ONDULATÓRIA.	125
FIGURA 41: RESPOSTA PRODUZIDA PELO GRUPO 2G2 À NATUREZA ONDULATÓRIA.	126
FIGURA 42: RELATO DO GRUPO 2G3 PARA A BOBINA DE TESLA.	127
FIGURA 43: RELATO DO GRUPO 2G4 PARA A BOBINA DE TESLA.	128
FIGURA 44: AVALIAÇÃO 2A1 (DESCRIÇÃO ARTÍSTICA SOBRE A INTERAÇÃO DAS ONDAS COM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS).....	130
FIGURA 45: AVALIAÇÃO 2A2 (DESCRIÇÃO ARTÍSTICA SOBRE A INTERAÇÃO DAS ONDAS COM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS).....	130
FIGURA 46: RESPOSTA 3A1 SOBRE A DESCRIÇÃO DA LUZ (SEM GRAU).....	132
FIGURA 47: RESPOSTA 3A2 SOBRE A DESCRIÇÃO DA LUZ (2° GRAU DE AQUISIÇÃO).	133
FIGURA 48: RESPOSTA 3A3 SOBRE A DESCRIÇÃO DA LUZ (3° GRAU DE AQUISIÇÃO).	134
FIGURA 49: RELATO DO GRUPO 4G1 SOBRE A FORMAÇÃO DE IMAGEM 3D E A CONTRIBUIÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA PARA O ENTRETENIMENTO SOCIAL.	136
FIGURA 50: RELATO DO GRUPO 4G2 SOBRE A FORMAÇÃO DE IMAGEM 3D E A CONTRIBUIÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA PARA O ENTRETENIMENTO SOCIAL.	138
FIGURA 51: RELATO 4A1 (FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D).....	140
FIGURA 52: RELATO 4A2 (FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D).....	141
FIGURA 53: RELATO 4A3 (FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D).....	141
FIGURA 54: TÓPICOS DE FÍSICA REFERENTES AO ESTUDO DA LUZ.....	154
FIGURA 55: TEORIA DA APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA DE BRUNER...	155
FIGURA 56: INVESTIGAÇÃO CIENTÍFICA BASEADA NO ENSINO DE CIÊNCIAS (IBSE).....	157
FIGURA 57: MATRIZ METODOLÓGICA (MM).	159
FIGURA 58: TELA PRINCIPAL DO SIMULADOR DE ONDAS.....	172

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: PARTICIPAÇÃO MÉDIA DA TURMA.	110
GRÁFICO 2: CLASSIFICAÇÃO DOS GRAUS DE AQUISIÇÃO SOBRE O ESTUDO DA LUZ E SUAS INTERAÇÕES COM O MEIO.	113
GRÁFICO 3: QUANTIFICAÇÃO MÉDIA DOS GRAUS DE AQUISIÇÃO.	114
GRÁFICO 4: <i>FEEDBACKS</i>	116
GRÁFICO 5: ANÁLISE DAS RESPOSTAS (CORPUSCULAR).	124
GRÁFICO 6: ANÁLISE DAS RESPOSTAS (ONDULATÓRIO).	131
GRÁFICO 7: ANÁLISE DAS RESPOSTAS (ELETROMAGNETISMO).	134
GRÁFICO 8: ANÁLISE DAS RESPOSTAS (APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS).	142

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: ÍNDICE DE REFRAÇÃO PARA A LUZ DE SÓDIO AMARELA ($\lambda_0 = 589 \text{ HM}$).....	61
QUADRO 2: EQUAÇÕES DE MAXWELL (FORMA INTEGRAL E DIFERENCIAL) .	63
QUADRO 3: SÍMBOLOS E SEUS SIGNIFICADOS NAS EQUAÇÕES DE MAXWELL.	64
QUADRO 4: ORGANIZAÇÃO DAS AULAS COMPLEMENTARES E REPOSIÇÕES DE FÍSICA NO 2ª SÉRIE DO ENSINO MÉDIO.....	107
QUADRO 5: CLASSIFICAÇÃO DAS RESPOSTAS POR AULA.....	112
QUADRO 6: STANDARD DAS APRENDIZAGENS.	158
QUADRO 7: DESCRIÇÃO DA AULA 1: O COMPORTAMENTO DA LUZ.	162
QUADRO 8: DESCRIÇÃO DA AULA EXTRAÍDA DA MATRIZ METODOLÓGICA.	170
QUADRO 9: DESCRIÇÃO DA AULA EXTRAÍDA DA MATRIZ METODOLÓGICA.	179
QUADRO 10: DESCRIÇÃO DA AULA 1: O COMPORTAMENTO DA LUZ.	185

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: DESCRIÇÃO DOS <i>STANDARDS</i> DAS APRENDIZAGENS.....	30
TABELA 2: MATRIZ METODOLÓGICA (MM).....	91
TABELA 3: SOMA DAS MATRIZES IBSE (5ES) + APRENDIZAGENS.....	92
TABELA 4: MATRIZ METODOLÓGICA APLICADA AO ESTUDO DA LUZ.....	93
TABELA 5: ESCADA AVALIATIVA.	94
TABELA 6: DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS E HABILIDADES DOS GRAUS DE AQUISIÇÃO	95
TABELA 7: PARTICIPAÇÃO MÉDIA DA TURMA.....	109
TABELA 8: DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS E DESENVOLVIMENTO DOS GRAUS DE AQUISIÇÃO.....	111
TABELA 9: AS PROPOSTAS AVALIATIVAS.....	117

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 A ORGANIZAÇÃO CURRICULAR DO ENSINO MÉDIO NO ÂMBITO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA	24
A) COMPETÊNCIAS	26
B) HABILIDADES	27
2.2 OS <i>STANDARDS</i> DAS APRENDIZAGENS	28
2.2.1 APRENDIZAGEM PERSONALIZADA	30
2.2.2 APRENDIZAGEM SITUADA	32
2.2.3 APRENDIZAGEM COLABORATIVA	32
2.2.4 APRENDIZAGEM CONTINUADA	33
2.3 APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA	35
2.4 A METODOLOGIA IBSE IBSE (ENSINO DE CIÊNCIAS BASEADO EM INVESTIGAÇÃO)	49
3 DÁ ÓPTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA ABORDAGEM A PARTIR DE ASPECTOS TECNOLÓGICOS	57
3.1 A INTERAÇÃO DA LUZ COM O MEIO	58
3.2 PERSPECTIVA ELETROMAGNÉTICA	62
3.2.1 LEI DE GAUSS ELÉTRICA	66
3.2.3 LEI DE FARADAY-LENZ	69
3.2.4 LEI DE AMPÈRE-MAXWELL	71
3.2.5 ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	72
3.2.6 FÓTONS, HOLOGRAMAS E COMPUTAÇÃO GRÁFICA	76
4.1 OBJETIVO GERAL	85
4.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	85
4.2 METODOLOGIA DE PESQUISA	85
A) APLICADA	86
B) ABORDAGEM QUALITATIVA	86
C) PESQUISA EXPLORATÓRIA	87
D) PROCEDIMENTO DE PESQUISA TRANSLACIONAL (PPT) EM ENSINO	87
4.3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO EDUCACIONAL	88
A) MATRIZ METODOLÓGICA	88
B) APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	107
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	109

5.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES PROPOSTAS	116
I. PESQUISA REALIZADA A RESPEITO DA ÓPTICA E DA DISPERSÃO DA LUZ	117
II. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	121
III. FUNÇÃO DE ONDA E GAIOLA DE FARADAY	125
IV. BOBINA DE TESLA	127
V. ROTEADORES E TRANSMISSORES DE SINAL	129
VI. DESCRIÇÃO DA LUZ	131
VII. HOLOGRAMAS E REALIDADE AUMENTADA	135
VIII. FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D	139
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
REFERÊNCIAS.....	145
APÊNDICES	151
APÊNDICE 1: PLANO DE AULA 1	160
NATUREZA CORPUSCULAR DA LUZ	160
APÊNDICE 2: PLANO DE AULA 2	167
NATUREZA ONDULATÓRIA	167
APÊNDICE 3: PLANO DE AULA 3	176
COMPORTAMENTO ELETROMAGNÉTICO	176
APÊNDICE 4: PLANO DE AULA 4	183
APLICAÇÕES DA NATUREZA DA LUZ.....	183
REFERÊNCIAS.....	190

PALAVRAS INICIAIS

Esta dissertação constrói um produto educacional que se desenvolve em três dimensões: ciência, tecnologia e cultura. Essas dimensões constam do documento “Currículo em movimento da educação básica: pressupostos teóricos” (SEEDF, 2014), que deu origem ao desenvolvimento do presente trabalho. De acordo com esse documento:

§ 2º A ciência é conceituada como o conjunto de conhecimentos sistematizados, produzidos socialmente ao longo da história, na busca da compreensão e transformação da natureza e da sociedade.

§ 3º A tecnologia é conceituada como a transformação da ciência em força produtiva ou mediação do conhecimento científico e a produção, marcada, desde sua origem, pelas relações sociais que a levaram a ser produzida.

§ 4º A cultura é conceituada como o processo de produção de expressões materiais, símbolos, representações e significados que correspondem a valores éticos, políticos e estéticos que orientam as normas de conduta de uma sociedade. (SEEDF, 2014, p. 12)

O produto educacional proposto pela pesquisa foi construído a partir de uma metodologia que abarca essas três dimensões, no âmbito do processo de ensino e aprendizagem da física. Uma visão geral sobre o estudo da luz e de suas interações com a matéria foi desenvolvida, explorando-se, também, fenômenos que podem ser experienciados a olho nu. Nesse sentido, situações e experimentos foram pensados para que os estudantes utilizassem sua bagagem cultural para interpretar a fenomenologia da luz.

Houve inúmeras fases durante o processo de preparação das aulas, optando-se pelo método da sequência didática, que envolve: relevância, aplicabilidade, importância e níveis de dificuldade com relação a conteúdos, conceitos, experimentação e aplicação.

No ensino de ciências, isso não é diferente. Esse fato é evidente quando livros didáticos que remetem ao ensino de física são analisados, especificamente no tocante ao estudo da luz. Nota-se que os livros-textos utilizam como norte o processo histórico da óptica e da ondulatória para explicar os fenômenos luminosos que perturbam o meio no qual interagem, como, por exemplo, na refração, na reflexão e na absorção.

[...] o gênero e a extensão histórica da natureza da luz presentes nos livros didáticos remetem a questões mais específicas da história da natureza da luz. O gênero histórico comum no contexto educativo e, de fato, presente entre os manuais escolares examinados, que distorce, simplifica, ressignifica e reconstrói os fatos e episódios científicos pode repercutir em equívocos de distintas ordens (MELO; CRUZ, 2008, p. 10).

A unificação das áreas da física clássica (óptica, ondulatória, eletricidade e magnetismo) foi considerada apenas no âmbito desses conhecimentos (excluindo-se, por exemplo, a perspectiva quântica), com foco na interação dos fótons com a matéria, em consideração ao nível de ensino de aplicação desta pesquisa. Cada uma delas, com seus diferentes aportes teóricos e metodológicos, torna o estudo da luz relevante em diversos cenários. Assim, temos uma proposta abrangente, que visa a entender o fenômeno da luz sob diferentes prismas e contextos.

O estudo da luz está presente nos diversos ambientes tecnológicos, eletromagnéticos, óticos, ondulatórios e virtuais. Para Forte e Kirner (2009), os ambientes virtuais e tecnológicos podem ser “encaixados” dentro de outros ambientes, ambos terem maior “visibilidade” entre os estudantes. Essa afirmação está levando em consideração os meios de comunicação, os eletrônicos, a realidade aumentada (RA) e as diversas experimentações feitas em ambiente controlado.

[...] a RA é definida pela inserção de objetos virtuais no ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais (FORTE; KIRNER, 2009, p. 2).

Diante disso, percebe-se que a unificação dos pilares da física clássica, ancorada aos diversos ambientes em que a luz se apresenta, aparenta ser um bom gancho para que se possa aprender sobre os fótons e as suas interações em diferentes meios.

O que se sabe é que o uso de recursos multimídia tende a auxiliar o educando quanto à compreensão do objeto estudado, porém, estes recursos multimídia não são normalmente providos de interação, fator relevante quando se implementa uma aplicação com RA (FORTE; KIRNER, 2009, p. 4).

A fim de tornar essa projeção uma situação real, é necessário utilizar os ambientes em que a luz está presente e, a partir disso, determinar uma linha

de estudo relativo a cada um. Perante o exposto, este trabalho busca contribuir para o ensino de física e de ciências, por meio de uma investigação sobre o estudo da luz e de seus impactos tecnológicos no cotidiano. Esse objetivo é ancorado em quatro etapas, que são: i) desenvolver, de forma categórica, aprofundamentos teóricos acerca das representações da aprendizagem por descoberta e complementar, utilizando-se da metodologia de ensino investigativo baseado em ciências; ii) descrever uma transposição didática dos estudos da óptica, da ondulatória e do eletromagnetismo sobre a interação da luz, bem como seu comportamento em diferentes meios aplicados a recursos tecnológicos cotidianos; iii) implementar uma matriz metodológica aplicada aos pentágonos das aprendizagens, com intuito de facilitar o processo de aquisição de conhecimento, de forma qualitativa; e iv) produzir uma escala avaliativa que descreva o processo de aquisição de conhecimento integrado a inquirições, explorações e explicações.

Para atingir os objetivos propostos por este trabalho, construiu-se uma matriz metodológica de natureza aplicada, por meio de uma abordagem qualitativa em pesquisa exploratória, utilizando-se de um Procedimento de Pesquisa Translacional (PPT).

A matriz metodológica está relacionada a um conjunto de conceitos de três referências teóricas: a aprendizagem por descoberta, de Bruner (1969); a metodologia IBSE (Ensino de Ciências Baseado em Investigação); e os *standards* das aprendizagens.

Quando aplicadas a um tema referente ao estudo da luz, em um sistema de ensinamento por ciclos, essas referências teóricas proporcionam a criação de um sólido geométrico pentagonal, cuja base está situada na aprendizagem por descoberta. Suas extremidades são compostas por elementos da IBSE, e sua amplitude se dá por meio da ênfase nos *standards* das aprendizagens.

Nesse sentido, têm-se quatro pentágonos que gerenciam o estudo da luz aplicado às tecnologias: 1) Corpuscular: descreve as propriedades ópticas da luz; 2) Ondulatório: reestrutura a teoria corpuscular, com caráter ondulatório; 3) Eletromagnético: fortalece que a propagação da luz seja mediada entre

campos elétricos e magnéticos; e 4) Aplicações tecnológicas: apresenta as aplicações da luz na tecnologia em vigência no cotidiano.

Em uma pesquisa sobre o tema realizada na base de dados e de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), utilizando-se os descritores “IBSE” e “Bruner”, para todos os idiomas, entre 2004 e 2019, foram encontrados quatro arquivos. Desse total, um foi descartado, por se tratar de um estudo recente de estudantes com autismo.

Utilizando-se esses mesmos descritores e parâmetros, não foram obtidos resultados na base de dados e de periódicos da SciELO (*Scientific Electronic Library Online*). Buscando somente o descritor “Bruner”, para o idioma português, entre 2010 e 2018, foram encontrados cinco arquivos; um foi descartado por não englobar a temática aqui proposta.

Na biblioteca digital brasileira de dissertações e teses, não foram encontrados resultados com os descritores “IBSE” e “Bruner”. Em pesquisas separadas, foram encontradas quatro dissertações defendidas entre 2016 e 2018. Não foram encontrados resultados no repositório institucional da Universidade de Brasília (UnB).

O trabalho foi organizado da seguinte forma: além desta seção de apresentação, denominada “Palavras Iniciais”, o trabalho contém uma “Introdução”, em que buscamos apresentar e referenciar o problema de ensino de física; um capítulo que discute o “Referencial Teórico”; outro que trata da perspectiva metodológica da pesquisa e da proposição educacional; um capítulo que apresenta os resultados da aplicação da sequência didática, discutindo-os; e, por fim, as considerações finais, em que buscamos não apenas sintetizar o percurso investigativo e de aplicação, mas também lançar olhares sobre as possibilidades de expansão e de continuidade desta proposta. Nos anexos e apêndices, consta o produto educacional e os textos e demais referências que deram sustentação à proposta.

1 INTRODUÇÃO

Há inúmeros fatores inerentes ao processo de preparação de uma aula (ou mesmo de uma sequência ou de um plano de curso): relevância, aplicabilidade, importância, dificuldade nos conteúdos, nos conceitos, na experimentação e na aplicação etc.

No ensino de ciências, isso não é diferente. Esse fato torna-se evidente quando é feita a análise de livros didáticos referentes ao ensino de física, especificamente com relação ao estudo da luz. É possível perceber que os livros-textos utilizam como norte o processo histórico da óptica e da ondulatória para explicar os fenômenos luminosos que perturbam o meio no qual interagem, como na refração, na reflexão e na absorção.

[...] o gênero e a extensão histórica da natureza da luz presentes nos livros didáticos remetem a questões mais específicas da história da natureza da luz. O gênero histórico comum no contexto educativo e, de fato, presente entre os manuais escolares examinados, que distorce, simplifica, ressignifica e reconstrói os fatos e episódios científicos pode repercutir em equívocos de distintas ordens (MELO; CRUZ, 2008, p. 10).

As áreas da física clássica (óptica, ondulatória, eletricidade e magnetismo) visam à compreensão da interação dos fótons com a matéria, de acordo com seus aportes teóricos e metodológicos. Assim, mesmo sob diferentes contextos e ferramentas, o estudo da luz torna-se relevante em diversos cenários.

Nesse sentido, com objetivo de contribuir para o processo de ensino e aprendizagem relacionado à interação da luz na matéria, apresenta-se, aqui, uma proposta de pesquisa abrangente e unificada, que busca compreender esse fenômeno por meio de variados aportes teóricos e metodológicos.

É relevante destacar que o estudo da luz está presente nos mais diversos ambientes tecnológicos, eletromagnéticos, óticos, ondulatórios e virtuais. No entanto, Forte e Kirner (2009) afirmam que os ambientes tecnológicos e virtuais são os que têm maior visibilidade entre os estudantes. Essa afirmação leva em consideração os meios de comunicação e eletrônicos, a realidade aumentada (RA) e as diversas experimentações realizadas em ambiente controlado.

[...] a RA é definida pela inserção de objetos virtuais no ambiente físico, mostrada ao usuário, em tempo real, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais (FORTE; KIRNER, 2009, p. 2).

Diante disso, percebe-se que a unificação dos pilares da física clássica, ancorada aos diversos ambientes no qual a luz se apresenta, aparenta ser um gancho interessante para que se possa aprender mais sobre os fótons e as suas interações em diferentes meios.

O que se sabe é que o uso de recursos multimídia tende a auxiliar o educando quanto à compreensão do objeto estudado, porém, estes recursos multimídia não são normalmente providos de interação, fator relevante quando se implementa uma aplicação com RA (FORTE; KIRNER, 2009, p. 4).

A fim de tornar essa projeção uma situação real, é necessário utilizar os ambientes em que a luz está presente e, a partir disso, determinar uma linha de estudo de acordo com esses ambientes e segundo as interações dos fótons nesses meios. Dessa forma, será possível descrever as interações da luz no ambiente, por meio das ferramentas oriundas da unificação dos pilares da física clássica. Os recursos que auxiliarão no processo de ensino e aprendizagem serão as experimentações.

Perante o exposto, este trabalho tem como objetivo geral contribuir para o ensino de física e de ciências, por meio de uma investigação sobre o estudo da luz e os seus impactos tecnológicos no cotidiano. Esse objetivo desdobra-se em quatro etapas, que são: i) desenvolver, de forma categórica, aprofundamentos teóricos das representações da aprendizagem por descoberta e complementar, utilizando-se da metodologia de ensino investigativo baseado em ciências; ii) descrever uma transposição didática dos estudos da óptica, da ondulatória e do eletromagnetismo sobre a interação da luz, bem como seu comportamento em diferentes meios, aplicados a recursos tecnológicos cotidianos; iii) implementar uma matriz metodológica aplicada aos pentágonos das aprendizagens, com intuito de facilitar o processo de aquisição de conhecimento, de forma qualitativa; e iv) produzir uma escala avaliativa que descreva o processo de aquisição de conhecimento integrado a inquirições, explorações e explicações.

Para atingir o objetivo geral proposto por este estudo, construiu-se uma matriz metodológica de natureza aplicada, por meio de uma abordagem qualitativa em pesquisa exploratória, utilizando-se de um Procedimento de Pesquisa Translacional (PPT).

A matriz metodológica está relacionada a um conjunto de conceitos de três referências teóricas: a aprendizagem por descoberta, de Bruner (1969); a metodologia IBSE (Ensino de Ciências Baseado em Investigação); e os *standards* das aprendizagens.

Quando aplicadas a um tema referente ao estudo da luz, em um sistema de ensinamento por ciclos, essas referências teóricas proporcionam a criação de um sólido geométrico pentagonal, cuja base está situada na aprendizagem por descoberta. Suas extremidades são compostas por elementos da IBSE, e sua amplitude se dá por meio da ênfase nos *standards* das aprendizagens.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ORGANIZAÇÃO CURRICULAR DO ENSINO MÉDIO NO ÂMBITO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA

As bases teóricas relacionadas ao desenvolvimento do currículo para o ensino médio estão presentes em um documento chamado “Currículo em movimento da educação básica: pressupostos teóricos” (SEEDF, 2014), em que são descritos os objetivos específicos de cada área do saber e a respectiva organização pedagógica.

A organização curricular significa diferenciar os saberes em blocos dimensionais: dimensões da área de linguagens, dimensões da área de matemática, dimensões da área de ciências da natureza e dimensões da área de ciências humanas.

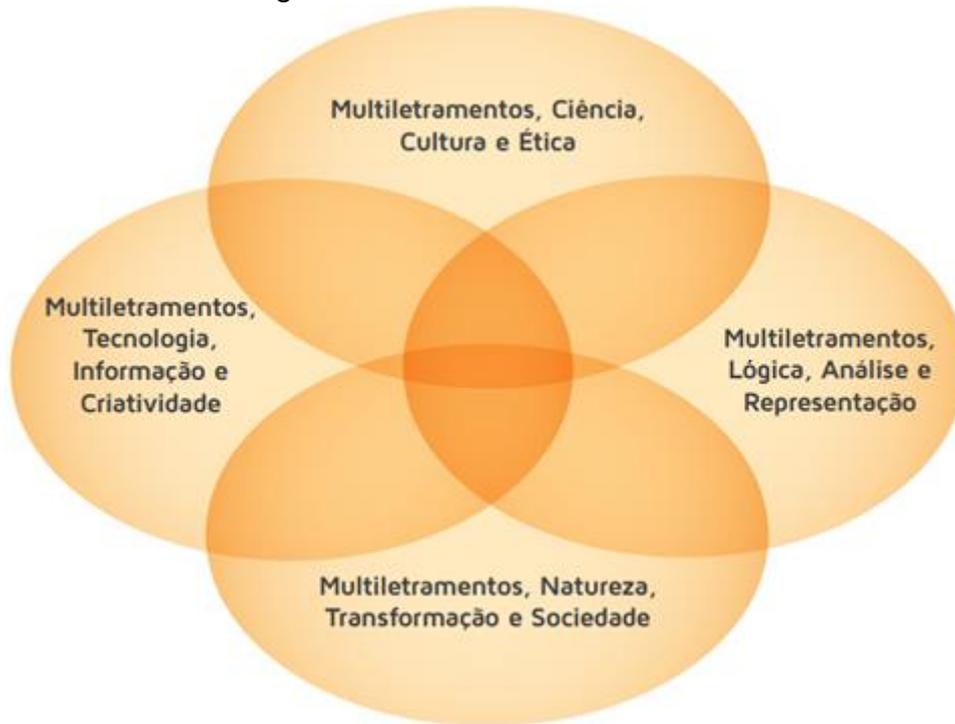
A Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal/SEEDF (2014) compreende que o conhecimento dividido em blocos auxilia a definir concepções, prioridades, ações e metodologias, de forma a construir uma aprendizagem mais coletiva e dinâmica:

[...] os conhecimentos se complementam e são significados numa relação dialética que os amplia no diálogo entre diferentes saberes. A efetivação dessa aproximação de conhecimentos se dará nas escolas, nas discussões coletivas da proposta curricular de cada instituição, tomando como referência este currículo (SEEDF, 2014, p. 22).

A participação efetiva e crítica dos estudantes pode propiciar o desenvolvimento de uma série de habilidades, tais como: leitura, escrita, oralidade, atitudes, conhecimentos linguísticos, dimensão intercultural etc. (BRASIL, [201-2018]).

As dimensões das ciências da natureza estão divididas em quatro multiletramentos: 1) Ciência, Cultura e Ética; 2) Lógica, Análise e Representação; 3) Natureza, Transformação e Sociedade; e 4) Tecnologia, Informação e Criatividade. Vejamos a figura a seguir:

Figura 1: Dimensões das ciências da natureza.



Fonte: SEEDF (2014, p. 22).

Diante disso, é importante dizer que:

[...] a pedagogia dos multiletramentos baseia-se na multiplicidade semiótica dos textos e na multiculturalidade que caracteriza a sociedade contemporânea a fim de que se adote uma perspectiva de abordagem dos conteúdos que favoreça o empoderamento dos estudantes na perspectiva de uma participação ativa na sociedade do conhecimento, caracterizada pela circulação de um grande e diversificado volume de informações e que se proporcione maior grau de autonomia e se ampliem as condições para o exercício da cidadania e, conseqüentemente, para o desenvolvimento da nação (SEEDF, 2014, p.14).

Assim, os multiletramentos contribuem para uma participação crítica, ativa e efetiva dos estudantes no processo de cultura digital, promovendo uma construção mais criativa do conhecimento:

Considerando esses pressupostos, e em articulação com as competências gerais da educação básica e com as da área de ciências da natureza do ensino fundamental, no ensino médio, a área de ciências da natureza e suas tecnologias deve garantir aos estudantes o desenvolvimento de competências específicas. Relacionadas a cada uma delas, são indicadas, posteriormente, habilidades a ser alcançadas nessa etapa (BRASIL, [201-2018], p. 552).

A) COMPETÊNCIAS

As competências das dimensões das ciências da natureza são compreendidas como um conjunto de aptidões a serem desenvolvidas pelos estudantes para a resolução de problemas. Nesse sentido, as competências educacionais previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) possibilitam o desenvolvimento de habilidades diversas por parte dos alunos.

Algumas das competências específicas das ciências da natureza e suas tecnologias para o ensino médio previstas pela BNCC (BRASIL, [201-2018], p. 553) são:

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.
2. Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da vida, da Terra e do cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
3. 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, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

As competências estabelecidas pela BNCC estão em sintonia com o referencial teórico utilizado neste trabalho, pois elas se assemelham ao que é proposto pelo modelo instrucional IBSE:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global. (BRASIL, [201-2018], p. 554)

B) HABILIDADES

Habilidades são conjuntos de informações adquiridas sobre determinado assunto, situação e/ou fenômeno interpretado por meio de diferentes inteligências. Vejamos a seguir as habilidades a serem desenvolvidas com base na aplicação das competências previstas na BNCC (BRASIL, [201-2018], p. 555):

(EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.

(EM13CNT102) Realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento, considerando também o uso de tecnologias digitais que auxiliem no cálculo de estimativas e no apoio à construção dos protótipos.

(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.

A ação e reação, o estímulo-resposta, o ensino e aprendizagem e as competências e habilidades são sinônimos quando se fala em aquisição de conhecimento. Todos esses fatores se assemelham pelos padrões educacionais erguidos com base em uma estrutura cognitiva que se caracteriza pelo processo de ensinar e aprender.

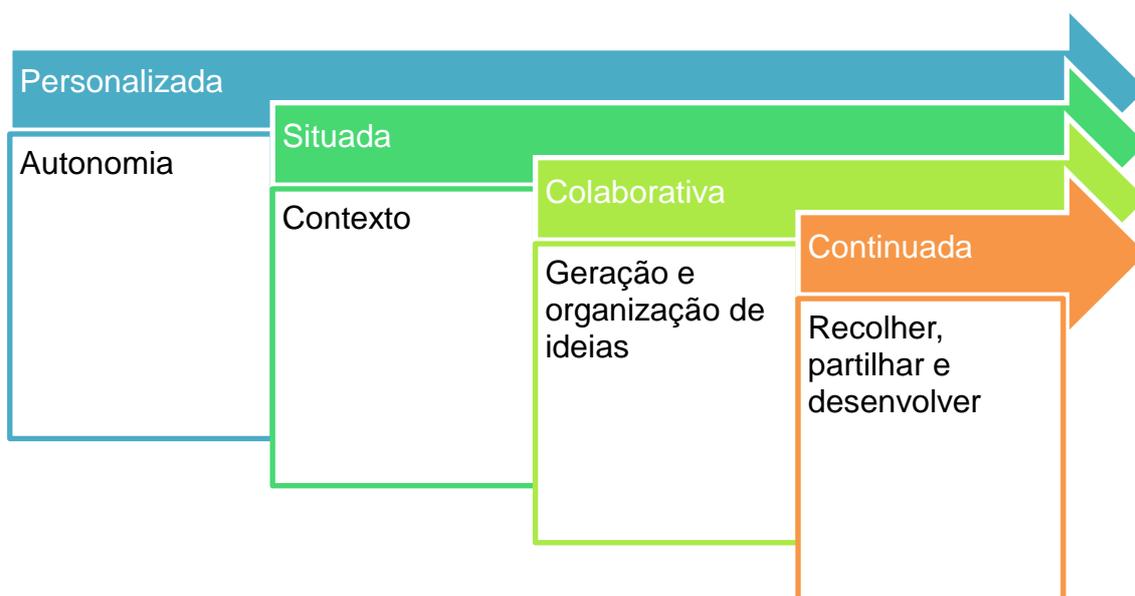
Na próxima seção, falaremos sobre os quatro padrões de aprendizagem e as possíveis habilidades a serem desenvolvidas nesses contextos.

2.2 OS STANDARDS DAS APRENDIZAGENS

Standards (ou padrões de aprendizagem), segundo Tavares e Almeida (2015), são características observadas com base em um comportamento recorrente em uma sequência de aulas. Neste trabalho, falaremos sobre quatro padrões de aprendizagem e, ao final da metodologia, mostraremos, de forma linear, a conexão existente entre os padrões e os referenciais teóricos de ensino e metodológicos.

Os *standards* das aprendizagens possibilitam o desenvolvimento de várias habilidades, sejam individuais, sejam coletivas. Os padrões das aprendizagens abordados por este trabalho são: aprendizagem personalizada, aprendizagem situada, aprendizagem colaborativa e aprendizagem continuada. Em cada padrão, desenvolve-se uma habilidade diferente. A seguir, temos uma figura que representa os *standards* das aprendizagens:

Figura 2: Os *standards* das aprendizagens



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No âmbito das competências a serem adquiridas pelos estudantes por meio da investigação, Costa (2014) indica como indícios de aprendizagem: i) capacidade de levantar questionamentos; ii) fazer previsões; iii) construir cenários investigativos; iv) analisar dados coletados; e v) conectar a descoberta com a evidência, solucionando o problema.

Tavares e Almeida (2015) discorrem sobre o desenvolvimento dos saberes atrelado às novas formas de interpretação dos meios de comunicação. Segundo os autores, isso exige do indivíduo uma atualização cada vez mais constante, principalmente em relação ao desenvolvimento e à adaptação da aprendizagem.

A aplicação da metodologia IBSE, associada às tecnologias móveis, possibilita aprendizagens diferenciadas. Nesse sentido, Tavares e Almeida (2015) afirmam que esse tipo de associação mobiliza características personalizadas, contínuas, situadas e colaborativas, com objetivo de proporcionar à sociedade competências-chaves e formação de pensamento crítico-científico.

A linguagem é talvez o exemplo ideal de uma tecnologia tão poderosa, capaz não só de comunicar como de codificar a realidade, representando assuntos remotos ou imediatos, sempre de acordo com regras convencionais, porém apropriadas, que nos permitem tanto representar a “realidade” como transformá-la (BRUNER, 1969, p. 40-41).

A proposta de Tavares e Almeida (2015) diz respeito ao desempenho potencializador que torna a aprendizagem mais atrativa. Alguns meios facilitadores são os dispositivos eletrônicos e portáteis, tais como: *smartphones*, computadores, *tablets*, entre outros. O aluno é o foco dessa proposta, que privilegia o questionamento, a formulação de hipóteses, as observações e as conclusões a respeito do fenômeno estudado. Assim, o indivíduo é uma ferramenta para a construção do seu próprio aprendizado, o que o torna mais responsável e consciente de suas decisões (TAVARES; ALMEIDA, 2015).

O intuito de se utilizar dispositivos móveis na IBSE é tornar a aprendizagem mais ativa, fazendo com que o indivíduo experimente, manipule e observe suas próprias investigações. A integração tecnológica é um fator por meio do qual os estudantes podem buscar informações a respeito do assunto e ampliar seu foco com relação ao fenômeno e às suas aplicabilidades. Com esse tipo de recurso, é possível desenvolver atividades extracurriculares, utilizando-se simuladores, *softwares* e *games* (TAVARES; ALMEIDA, 2015).

Tabela 1: Descrição dos *standards* das aprendizagens.

APRENDIZAGEM	DESCRIÇÃO
Personalizada	Realizar investigações de forma autônoma. Partilhar conhecimentos adquiridos. Analisar e refletir sobre o percurso investigativo. <i>Feedback</i> . Avaliação do desempenho.
Contínua	Recolher informações acerca do contexto. Partilhar informações em contexto. Desenvolver conhecimento em atividades contextualizadas.
Situada	Recolher informações com recursos diferentes. Construir conhecimento com recursos diferentes. Ampliar a gama de informações a partir de novas tecnologias.
Colaborativa	O compartilhamento de informações, dúvidas e estratégias acontece por diferentes meios de comunicação. Interação social acontece por meio da partilha de conteúdo. Desenvolvimento de atividades e resolução de problemas técnicos na contribuição da manipulação de <i>softwares</i> .

Fonte: Adaptada de Tavares e Almeida (2015, p. 36).

Com base nessa tabela, é possível desenvolver aulas com foco nas habilidades a serem adquiridas pelos estudantes. Ainda, a partir do uso da metodologia *standard*, é possível construir uma matriz metodológica, que é uma forma de fortalecer o processo de aquisição de habilidades, com base na teoria da aprendizagem por descoberta, de Bruner (1969).

2.2.1 Aprendizagem personalizada

A todo instante, aprendemos coisas de forma consciente e inconsciente, ou seja, aprender é algo inerente à essência humana. O cérebro está condicionado a interpretar as informações advindas de estímulos externos e torná-las conhecidas em nossa estrutura cognitiva. Quando se ouve uma música pela primeira vez, o cérebro separa a harmonia da melodia. Muitas vezes, ele sente um “apreço” maior pela melodia do que pela harmonia apresentada pelo conjunto (que é a música).

A aprendizagem pode ser considerada personalizada quando o estímulo recebido suscita a busca por respostas (LENT, 2010). Por exemplo,

tem-se a aprendizagem personalizada quando um indivíduo ouve uma música pela primeira vez e decide pesquisar o nome da canção ou de quem a canta/interpreta.

A personalização (aprendizagem adaptada aos ritmos e necessidades de cada pessoa) é cada vez mais importante e viável. Cada estudante, de forma mais direta ou indireta, procura respostas para suas inquietações mais profundas e as pode relacionar com seu projeto de vida e sua visão de futuro. É importante aprender a relacionar melhor o que está disperso, a aprofundar as informações relevantes, a tecer costuras mais complexas, a navegar entre as muitas redes, grupos e ideias com as quais convivemos. Num mundo tão agitado, de múltiplas linguagens, telas e efervescências, aprender a desenvolver roteiros individualizados de acordo com as necessidades e expectativas é cada vez mais importante e viável (BACICH; MORAN, 2018, p. 3).

Esse tipo de aprendizagem tem uma característica similar à do método behaviorista, que envolve o estudante em meio a perguntas e respostas, uma situação automática. Esse método personalizado valoriza a busca de dados e a pesquisa de forma ampliada.

O aluno pesquisa online e recolhe dados de forma autónoma e em diferentes suportes multimédia (fotografia, áudio, vídeo, notas de campo); produz conteúdos digitais de autoria e em diferentes suportes multimédia (fotografia, áudio, vídeo, esquemas conceptuais, sistemas de pergunta-resposta, animações, apresentações); partilha o seu conhecimento através de plataformas sociais e do *software* utilizado (GoKnow's MLE MyProjects©, Edmodo©, Evernote©, SMILE©, EvoRoom© e Zydeco©); e analisa e reflete sobre o seu percurso investigativo com recurso aos conteúdos digitais produzidos, ao feedback e à avaliação do seu desempenho (qualidade e adequação dos conteúdos produzidos e pesquisados, debate de ideias, resultados aferidos e conclusões) (TAVARES; ALMEIDA, 2015, p. 36).

De acordo com Bacich e Moran (2018), quando os estudantes encontram um sentido lógico nas atividades propostas, nasce o desejo interno de querer aprofundar o conhecimento sobre o conteúdo. Essa aprendizagem personalizada respeita o ritmo de cada um, o que é difícil de ser aplicado em massa, pelo fato de ser uma metodologia de desenvolvimento de aprendizagem individual.

2.2.2 Aprendizagem situada

Tavares e Almeida (2015) relatam que o surgimento da aprendizagem situada se deu em um ambiente interacionista. O objetivo é alcançar resultados por meio da produtividade na atividade social, com base no contexto correlato à situação de aprendizagem.

Um exemplo de aprendizagem situada diz respeito, por exemplo, ao ensino de mecânica. Em vez de contar situações irreais de um objeto em movimento, pode-se ilustrar situações reais que representam o movimento de um corpo. No entanto, há dificuldades de atingir, na aprendizagem situada, os conceitos de macro e de micro dentro da ciência, pois nem todas as situações ocorrem em meio familiar aos estudantes.

O aluno contacta com uma vasta gama de informação, podendo recolher a mesma com recurso a diferentes ferramentas do dispositivo móvel (câmara fotográfica, câmara de vídeo, gravador de áudio) e ao *software* utilizado; recolhe informação com recurso a diferentes suportes multimédia em espaços onde é possível contactar com o objeto de investigação (Centro de Ciência, Jardim Zoológico, Laboratório da Escola, Mercado de peixe e ambiente imersivo); e constrói o seu conhecimento com recurso a diferentes suportes multimédia em espaços onde é possível contactar com o objeto de investigação (fotografia, áudio, vídeo, animações, apresentações, experiências científicas, simulações) (TAVARES; ALMEIDA, 2015, p. 36).

Com esse método, o aluno estará imerso em uma quantidade ampla de informações, captadas de meios e recursos diferentes. Essa metodologia busca preencher espaços não respondidos com conhecimento adquirido por meio dos objetos de investigação.

2.2.3 Aprendizagem colaborativa

Construir uma interação com os estudantes de forma a promover a aprendizagem, estimulando a autonomia e a valorização do trabalho em grupo, é algo possível de ser feito por meio da metodologia de aprendizagem colaborativa (BARKLEY; MAJOR; CROSS, 2014).

O compartilhamento de informação é um método utilizado para que os alunos possam partilhar suas opiniões, positivas ou negativas, objetivando promover a interação social.

O aluno partilha ideias, dúvidas, hipóteses, conclusões e reflexões com o professor e os pares com recurso a diferentes ferramentas do dispositivo móvel e ao *software* utilizado; trabalha de forma colaborativa espontaneamente (por exemplo, os alunos juntam-se em pequenos grupos para resolver um problema, realizar uma atividade, pesquisar informação, refletir e tirar conclusões); interage socialmente através da partilha de informação (vídeos informativos, respostas encontradas na internet); resolve conflitos de ideias de forma colaborativa, recorrendo à informação da internet e às suas conclusões; e ajuda os pares na manipulação do *software* a usar no desenvolvimento das atividades e na resolução de problemas técnicos (TAVARES; ALMEIDA, 2015, p. 36).

A aprendizagem colaborativa, segundo Barkley, Major e Cross (2014), pode ser entendida como resultado da soma de quatro princípios fundamentais: 1) trabalho em conjunto; 2) interatividade; 3) compartilhamento; e 4) desenvolvimento de conhecimento coletivo.

Por sua vez, Klein e Vosgerau (2018) esperam que, por meio da aprendizagem colaborativa, o ambiente de ensino possa ser de interação, construção, complementação, discussão, aprimoramento e desenvolvimento de conhecimentos culturais, científicos e sociais, possibilitando alcançar resultados coletivos e pessoais de metas a serem atingidas.

2.2.4 Aprendizagem continuada

A aprendizagem continuada (ou contínua) é uma das mais importantes e vitais para a disseminação do conhecimento. Ela é vista por este pesquisador como a soma de todas as aprendizagens existentes, tendo em vista suas características de recolher, desenvolver e partilhar conhecimento.

O recolhimento de dados também é uma estratégia por meio da qual o estudante pode guardar uma informação que pode vir a ser valiosa para seu desenvolvimento pessoal no processo de ensino e aprendizagem.

O aluno recolhe informação em atividades de contexto (extra)escolar (fotografia, áudio, vídeo, notas de campo); partilha informação em contexto (extra)escolar com recurso a plataformas sociais e ao *software* utilizado (GoKnow's MLE MyProjects©, Edmodo©, Evernote©); e constrói o seu conhecimento em atividades de contexto (extra)escolar com recurso a diferentes suportes multimédia (áudio, vídeo, esquemas conceptuais, sistemas de pergunta-resposta, animações, apresentações) (TAVARES; ALMEIDA, 2015, p. 36).

À medida que a sociedade evolui, novas profissões surgem, e outras desaparecem, conforme relata Masetto (2004). Nesse sentido, o mercado de trabalho exigirá, cada vez mais, que as pessoas busquem uma aprendizagem continuada, a fim de se tornarem profissionais mais criativos, críticos, inovadores, fluentes em vários idiomas e com domínio científico-matemático e nas áreas de informática e de gestão de pessoas.

O presente trabalho investigará, sob o ponto de vista educacional e da física, aparatos tecnológicos baseados em conhecimentos adquiridos acerca dos raios de luz. Entre eles, estão: hologramas, impressoras 3D, carregamento sem fio etc. É relevante ressaltar que esses raios de luz representam uma dualidade, um problema que foi investigado durante séculos. Seu comportamento é ondulatório ou corpuscular? A essência da luz pode mesmo ser produzida por campos elétricos e magnéticos? Qual é a relação da luz com as cores?

Em última instância, este estudo busca contribuir para ampliar a qualidade do ensino de física, levantando uma concepção de aprendizagem e de ensino real. Esse ensino é o vivenciado diariamente no âmbito escolar por professores e alunos, que vai além dos problemas costumeiramente abordados em sala de aula.

Qualquer escolha de uma prática pedagógica implica uma concepção do aprendiz e pode, mais cedo ou mais tarde, ser adotada por ele como uma forma adequada de pensar sobre o processo de aprendizagem. Pois uma escolha de pedagogia inevitavelmente comunica uma concepção do processo de aprendizagem e do aprendiz. A pedagogia jamais é isenta. Trata-se de um meio que carrega sua própria mensagem (BRUNER, 2001, p. 67).

A teoria de ensino e aprendizagem utilizada neste trabalho tem como base os pressupostos de Bruner (2001, 1972 e 1969). Já a metodologia empregada é a Investigation Based Science Education (IBSE), que tem como objetivo investigar os processos de aprendizagem por meio de cinco pontos centrais: envolvimento, exploração, explicação, elaboração e avaliação. Esses pontos são conhecidos como 5Es e compõem a base da metodologia IBSE, cujos detalhes serão apresentados mais à frente. Para amalgamar essa perspectiva, na próxima seção, falaremos sobre o desenvolvimento das representações da aprendizagem por descoberta de Jerome Bruner.

2.3 APRENDIZAGEM POR DESCOBERTA

A teoria da aprendizagem por descoberta de Bruner (1969) vem ao encontro da ideia da aprendizagem por investigação, pois pressupõe que o indivíduo descobre as coisas por meio da inquirição feita a ele. Nesse sentido, Bruner (1969, p. 15) define o papel de ensinar como o “esforço para auxiliar ou moldar o desenvolvimento”.

O ensino é altamente facilitado por meio da linguagem que acaba sendo não apenas o meio de comunicação, mas o instrumento que o estudante pode usar para ordenar o meio ambiente. A natureza da linguagem e suas funções devem fazer parte de qualquer teoria do desenvolvimento cognitivo (BRUNER, 1969, p. 20).

Bruner (1972) também valoriza a importância da estrutura no processo de ensinar; o autor relata que há dois passos a serem completados na aprendizagem. O primeiro diz respeito à aplicação do que foi aprendido; e o segundo refere-se à transferência da informação aprendida.

Uma pergunta inquieta muitos pesquisadores da educação: como os estudantes aprendem? Bruner (2001) levanta esse questionamento no livro “A cultura da educação”, no qual conceitua as ideias de **agência**, **reflexão**, **colaboração** e **cultura**. Segundo o autor, **agência** implica “assumir mais controle da própria atividade mental”, **reflexão** diz respeito a “fazer com que o que você aprende faça sentido”, **colaboração** significa “compartilhar os recursos do grupo de seres humanos envolvidos no ensino e na aprendizagem”, e, por fim, **cultura** é “o modo de vida e pensamento que construímos, negociamos, institucionalizamos e que [...] acaba por se chamar ‘realidade’ [...]” (BRUNER, 2001, p. 89).

Quando uma criança aprende a construir e/ou moldar um objeto, ela tenta repassar constantemente o seu aprendizado a outras pessoas, a fim de promover interação social. Em um público juvenil, do ensino médio, por exemplo, os alunos que aprendem e passam a entender bem determinado assunto são capazes de ensiná-lo aos colegas que apresentam dificuldades. Assim, as situações são parecidas entre crianças e adolescentes, pois a **colaboração** é um passo para transformar a educação em cultura.

A cultura, neste sentido, é *superorgânica*, mas ela também molda a mente dos indivíduos. Sua expressão individual é parte da *produção de significados*, a atribuição de significados a coisas em diferentes contextos em ocasiões particulares. Produzir significados envolve situar encontros com o mundo em seus contextos culturais apropriados a fim de saber “do que eles tratam”. Embora os significados estejam “na mente”, eles têm suas origens e sua importância na cultura na qual são criados” (BRUNER, 2001, p. 16) [grifos no original].

Assim, se o processo educativo demanda sua transformação em algo cultural, então é necessário falar sobre os meios de informação e de comunicação, que são a base da atual cultura tecnológica digital. Tudo isso implica um par pragmático, ou seja, engloba a relação mútua entre indivíduos, além de um par técnico, que é a relação entre sujeito e objeto:

Para fixar, entretanto, as ideias, parece que um núcleo de nossos estudos reside na história da tecnologia do tratamento e da transmissão das mensagens. Este programa ultrapassa, para dizer a verdade, a história propriamente dita, em direção a uma midiologia, que examina a mídia ou a ferramenta de transmissão (telefone, imprensa ou rede de internet) sob todas as suas facetas, em seus aspectos *semiológicos* (que tipo de signo utiliza tal mídia, limita-se ela a transmitir o texto, ou enriquece-o com imagens ou índices, e para que desempenho? (BOUGNOUX, 1998, p. 14-15) [grifo no original].

A manutenção da cultura não significa transformar a escola em um ponto de encontro da comunidade para discutir fracassos e/ou sucessos. Na verdade, a escola deve ser o local em que os problemas possam ser transformados em situação controlável (BRUNER, 2001).

De acordo com Bruner (2001, p. 99), cultura é “[...] um modo de lidar com problemas humanos: como as transações humanas de todo tipo, representadas em símbolos”. Dessa forma, visualizar as representações feitas pelos estudantes é reconhecer indícios de aprendizagem acerca de símbolos, ícones e ações.

A noção de desenvolvimento é uma das bases que sustentam os processos de aprendizagem de Bruner (1969). Esses processos são etapas do crescimento intelectual de cada indivíduo. O autor afirma, ainda, que o desenvolvimento é um conjunto de esforços voltados a estabelecer esse crescimento intelectual (BRUNER, 1969, p. 15).

No estudo do desenvolvimento, o foco está na capacidade de raciocinar e de solucionar problemas. Segundo Bruner (1969, p. 16), o

desenvolvimento de processos cognitivos está ligado à solução de problemas, à conceituação, ao raciocínio e ao reconhecimento perceptivo. No entanto, é a percepção que faz com que o aprendiz extrapole a informação recebida e adquira pensamentos próprios. Em última instância, a percepção proporciona o envolvimento.

A teoria piagetiana construtivista-interacionista defende a abordagem epistemológica genética para explicar a conexão entre processo cognitivo e processo biológico (PIAGET, 1973). Assim, as conexões realizadas para formar e/ou estruturar uma ideia são oriundas da parte biológica, que Bruner (2001, p. 18) trata como irracional:

[...] a regra comum a todos os sistemas de informação não dá conta dos processos de produção de significados, que são confusos, ambíguos e sensíveis ao contexto. A produção de significados é uma forma de atividade na qual a construção de sistemas de categorias metafóricas e extremamente indistintos é tão notável quanto o uso de categorias especificáveis para a seleção de *inputs* de maneira que produza resultados compreensíveis [grifo no original].

Bruner (2001) percebe que a aprendizagem e o pensamento estão sempre situados em um contexto cultural. Isso quer dizer que a utilização de elementos originados de recursos culturais produzirá estímulos à aprendizagem. Da mesma maneira, Piaget (1973) entende que o sujeito constrói e desenvolve o conhecimento com base em sua interação com o meio ou o contexto no qual está inserido. Por sua vez, Vygotsky (1984), em sua teoria sócio-histórica, defende que as interações entre os sujeitos e o contexto favorecem o desenvolvimento de suas funções psíquicas.

Dessa forma, parece ser consenso que a aprendizagem pode ocorrer com base na combinação de elementos biológicos e culturais, produzindo processos racionais que dão significado às práticas cotidianas dos indivíduos.

[...] investigar as *origens* da atividade cognitiva humana, obtendo como resultado uma primeira de várias partidas falsas que me levaram a certas convicções sobre o estudo mais adequado do desenvolvimento intelectual. Essa primeira partida foi motivada em uma busca ao irracional [...] (BRUNER, 1969, p. 17) [grifo no original].

Envolvendo-se nas origens das atividades cognitivas, Bruner (1969) percebeu que o desenvolvimento matemático deveria ter mais clareza, pois muitas crianças com patologias ou lesões cerebrais, ao tentar resolver

problemas matemáticos, davam respostas consideradas erradas, no entanto, respondiam a outras perguntas. Essa situação recebeu o nome de bloqueio da aprendizagem. “Pensávamos que, assim como os estudos patológicos das lesões cerebrais haviam contribuído para esclarecer a função cognitiva, poderiam os estudos sobre o processo do desenvolvimento mental” (BRUNER, 1969, p. 18).

O processo de aprendizagem, segundo Bruner (1969), deve ser desafiador para os envolvidos. O desafio deve ser aceito, e a investigação inicia-se quando o indivíduo aceita confrontar os problemas, mesmo tendo algum tipo de *deficit*, patologia e/ou lesão cerebral:

Estudo da matemática: quando as crianças dão respostas erradas, o mais das vezes não há erros, mas, sim, respostas a outras questões – sendo então o caso de achar ao que estão, de fato, respondendo. Por vezes, tais crianças com dificuldades eram capazes de resolver os problemas oferecidos – quando tinham oportunidade de confrontá-los sem conflito – e seu desempenho passava a ser análogo ao das crianças normais, embora, de modo geral, com menor habilidade, vez que não haviam aprendido suficientemente o instrumento técnico dos assuntos que supostamente lhes eram ensinados (BRUNER, 1969, p. 18).

A resposta a um estímulo pode caracterizar a independência do retorno, ou seja, é uma forma de o indivíduo demonstrar liberdade. Nesse sentido, Bruner (1969, p. 19) afirma que “o desenvolvimento intelectual caracteriza-se por independência crescente da resposta em relação à natureza imediata do estímulo”.

Grande parte do desenvolvimento consiste na aptidão para manter a resposta invariável em face de mudanças no ambiente constante. A criança adquire essa liberdade do controle dos estímulos através de processos de mediação – aqueles que transformam os estímulos antes da resposta, por vezes causando sensíveis atrasos na reação (BRUNER, 1969, p. 19).

Essa ideia de desenvolvimento intelectual defendida por Bruner (1969) corresponde ao somatório das situações vivenciadas pelos sujeitos ao longo da vida. É isso, inclusive, que dá ao aprendiz a capacidade de fazer simulações e previsões.

O desenvolvimento intelectual baseia-se em absorver eventos, em um sistema de armazenamento que corresponde ao meio ambiente. É tal sistema que permite à criança aptidão progressiva de ir além da informação encontrada em uma única ocasião; ela faz previsões e extrapolações partindo do modelo armazenado, do universo (BRUNER, 1969, p. 20) [grifos no original].

O desenvolvimento intelectual auxilia também na formalização da linguagem, por meio de palavras ou símbolos. Esse é um ponto importante do processo de aprendizagem, pois é indício da evolução acerca do entendimento da informação recebida, posteriormente transferida para um símbolo ou uma palavra.

O desenvolvimento intelectual entende uma capacidade crescente de afirmar, a si mesmo e a outros, por palavras ou símbolos, o que alguém fará. Essa pretensão de contas ou consciência própria possibilita a transição de um comportamento simplesmente ordenado para o comportamento chamado lógico. O desenvolvimento intelectual é caracterizado por crescente capacidade para lidar com alternativas, simultaneamente, atender a várias sequências, ao mesmo tempo, e distribuir tempo e atenção, de maneira apropriada, a todas essas demandas múltiplas (BRUNER, 1969, p. 20-21).

Segundo Bruner (1969), para que o processo de aprendizagem seja satisfatório, é necessário que haja predisposição a aprender. Além disso, o conhecimento deve ser estruturado de forma que o indivíduo o interiorize da melhor maneira possível. Cabe ressaltar, ainda, que o conhecimento se apresenta em três estágios: ação, visual e linguagem. Vejamos cada ponto detalhadamente a seguir.

A **ação**, de acordo com Bruner (1969), é a compreensão adquirida acerca de um conhecimento prático, como aprender natação, dança, andar de bicicleta etc.

Conhecemos muita coisa pela qual não temos imagens ou palavras, o que torna bastante difícil ensiná-la com palavras, desenhos ou ilustrações: quem já tentou ensinar tênis, andar de bicicleta ou esquiar sentiu a falta de palavras e a impotência dos diagramas para o processo de ensino (BRUNER, 1969, p. 24).

Por sua vez, o **visual** é a representação da aprendizagem icônica, ou seja, é a compreensão adquirida por meio de estímulos visuais, a exemplo de leituras, filmes, animações etc.

Linguagem, por fim, diz respeito ao processo de aquisição de conhecimento pela linguagem. Esse estágio também é conhecido como simbólico, sendo compreendido por meio sonoro, ou seja, pela fala ou audição:

[...] o sistema simbólico é baseado na tradução da experiência na linguagem. É óbvio que não é a linguagem em si que faz a diferença, mas, antes, seu uso como instrumento para raciocinar, sua interiorização, aplicando um termo apropriado, mas embaraçante (BRUNER, 1969, p. 28).

É importante esclarecer os principais conceitos utilizados por Bruner (1969) nesse contexto: **ação** – está relacionada à aceitação do desafio de resolver o problema ou a situação; **sinóptica** – é um foco para a informação lógica e as primeiras impressões acerca da situação que envolve o indivíduo; e **linguagem**:

É a linguagem uma ferramenta das mais gerais, por dar direção e desenvolvimento ao equipamento muscular, aos órgãos dos sentidos e aos poderes de reflexão. Mas cada um desses domínios possui habilidades próprias, expressas em várias maneiras de utilizar os instrumentos. Há habilidades que economizam tempo e energia no emprego dos músculos, desenvolvidas nos instrumentos que utilizamos. Há técnicas de economia de atenção na percepção que participam das imagens que elaboramos e que depois passam a construir a base da representação de objetos através de desenhos e diagramas. E há, finalmente, a heurística, que diminui as tensões, ajudando-nos a imaginar coisas – como eliminar parâmetros impertinentes, como usar a cabeça para resguardar os calcanhares, como fazer aproximações rápidas e corretas etc (BRUNER, 1969, p. 41).

O papel do professor diz respeito à motivação. Assim, é necessário organizar os conceitos e construir um diálogo ativo entre docentes e estudantes. A esse respeito, Bruner (1969, p. 20) explica que o desenvolvimento intelectual “baseia-se numa interação sistemática e contingente, entre um professor e um aluno, na qual o professor, amplamente equipado com técnicas anteriormente inventadas, ensina à criança”.

Diante disso, a organização dos conteúdos deve ser estruturada em forma de espiral, em que a dificuldade é aumentada de forma gradual e lógica. De acordo com Bruner (1969, p. 24), “a exposição lógica pouco esclarece sobre o desenvolvimento psicológico, embora ajude seguramente na descrição dos conhecimentos que a criança possui”.

O início da espiral é o ponto de partida. A partir daí, procura-se atingir novas dificuldades e aprendizagens em outros pontos. Bruner (2001) defende o currículo em espiral, em que os trabalhos são organizados periodicamente, a partir de temas. A cada abordagem, aumenta-se a profundidade do que se pretende ensinar e aprender.

Essa linha de construção do conhecimento, que é o preceito construtivista de Bruner (2001), tem como característica principal o desenvolvimento cognitivo.

A construção da realidade é o produto da produção de significados moldada pelas tradições e pelo conjunto de ferramentas de formas de pensamento de uma cultura. Nesse sentido, a educação deve ser concebida como algo que auxilie o ser humano a aprender a utilizar as ferramentas de produção de significado e de construção de realidade, a adaptar-se melhor ao mundo em que ele se encontra [...] (BRUNER, 2001, p. 28).

A construção da realidade tem a ver com o significado atribuído ao que é investigado. Nesse contexto, Bruner (2001) afirma que as representações são produtos ativos da inteligência prática acerca de determinado assunto. À medida que essa inteligência prática é desenvolvida, constrói-se uma imagem em torno de um ícone de aprendizagem (símbolos).

Os fundamentos teóricos da aprendizagem indicam ao indivíduo um caminho a ser seguido no processo de ensino. Essa construção é viabilizada por aulas motivadoras, estruturadas, sequenciadas e que geram reforço mental.

A seguir, temos as descrições que apresentam a construção desses fundamentos e o detalhamento de cada momento, conforme propõe Bruner (1969).

Ativa¹ (ação): a representação da aprendizagem por meio da ativação dos conhecimentos não pode ser confundida com a habilidade inata do estudante de ver e repetir uma situação, ainda que, na prática, guardem semelhanças entre si. A representação ativa diz respeito à prática de executar uma situação de origem mecânica – no caso de um instrumento musical, por exemplo, a melhor forma de ensinar ou de aprender é praticando e repetindo

¹ **Ativar:** processo de aprendizagem da teoria de Bruner. É a primeira ação do aprendiz em contato com os objetos e os problemas, também conhecida como inteligência prática (PRÄSS, 2005, p. 24).

inúmeras vezes até alcançar o resultado esperado. “É a primeira ação do aprendiz em contato com objetos e problemas, também conhecida como inteligência prática, que surge e se desenvolve” (PRÄSS, 2005, p. 24).

Icônica² (visual): refere-se ao momento de desenvolvimento da representação da aprendizagem icônica. Essa representação está conectada ao meio visual, então, o aluno pode optar por aprender por meio de livros, revistas, vídeos etc. Nesse caso, ele conquistou autonomia para continuar seu processo de aquisição de conhecimento, sem necessitar de uma pessoa. Agora, sua dependência está atrelada a objetos.

Simbólica³ (sonoro): momento de desenvolvimento da habilidade simbólica. Utilizando o exemplo anterior da aprendizagem de um instrumento musical, a representação simbólica está ligada à comparação entre sons, melodias e padrões. O estudante desenvolverá, de forma gradual, uma postura musical, sem necessitar de alguém ou de algum objeto para conseguir tocar uma música (para tanto, faz uso da bagagem mental adquirida nas representações ativa e icônica). Assim, o aluno assimila os padrões musicais a partir de experiências anteriores, tornando-se totalmente independente de pessoas ou de objetos.

De acordo com Bruner (1969), a transição das representações acontece de forma automática, de acordo com a vivência e a experiência do aprendiz. O autor compara essa transição ao funcionamento do sistema nervoso central, o qual recebe inúmeras informações e as converte em reações químicas, proporcionando um desempenho fisiológico e neurológico ao sujeito. Bruner (1969) entende que a estabilização das reações fornece imagens ou esquemas ao indivíduo de forma irracional, e esse é o primeiro passo para as transições cognitivas.

[...] da representação ativa para icônica e de ambas para a simbólica – é uma questão tumultuada. Para resumir, ter-se-ia

² **Iconizar:** de acordo com Präss (2005, p. 24), “à medida que a representação ativa se desenvolve, o indivíduo deixa o hábito de estar em contato com a situação e a representa por imagens mentais, ou seja, desenvolve uma habilidade de transformar um problema em uma imagem mental”.

³ **Simbolizar:** segundo Präss (2005, p. 24), “o aprendiz traduz suas imagens mentais, providas de problemas, em códigos simbólicos. Isso pode ser entendido também como linguagem usual no meio científico-acadêmico”.

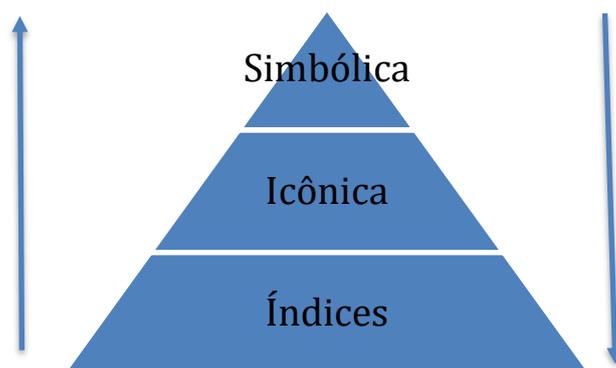
uma espécie de formação de imagens ou de esquemas – como quer que se queira chamar o dispositivo que produz uma sequência de ações simultâneas, vertendo-a em representação imediata – que se segue automaticamente como um complemento de estabilização das reações. Como, porém, o sistema nervoso converte uma sucessão de reações em imagens ou esquemas, simplesmente não sabemos (BRUNER, 1969, p. 28-29).

No processo de transmissão de conhecimento, é necessário considerar que a aprendizagem é construída com base na troca de informações, por meio da linguagem. Dessa forma, a linguagem empregada nesse processo deve ser clara e simples. Quem também defende essa ideia é Bougnoux (1998, p. 50), a partir do conceito de semiologia:

Esta ampliação, batizada como *semiologia*, vai ao encontro das ciências da informação e comunicação, concebidas como o estudo da troca, da produção e da circulação de signos em geral, no interior de uma cultura [grifo no original].

Além dos teóricos apresentados anteriormente, salientamos que Bougnoux (1998) também forneceu grandes contribuições para a construção deste trabalho. Esse autor entende que a linguagem é uma ferramenta importante para desenvolver a ciência e a cultura. A seguir, mostramos como a pirâmide semiótica de Bougnoux (1998) tem certa semelhança com as representações da aprendizagem de Bruner (1969).

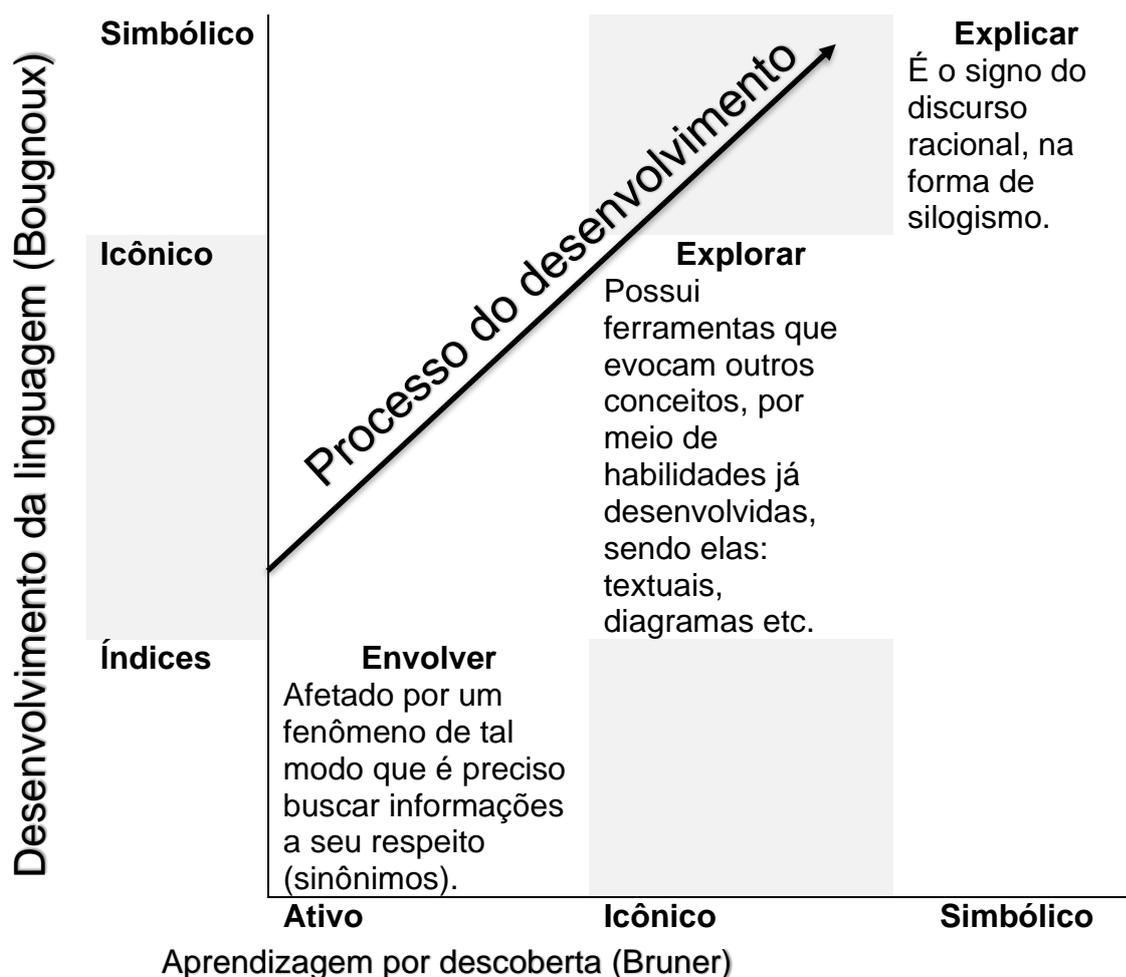
Figura 3: Pirâmide semiótica



Fonte: Adaptada de Bougnoux (1998, p. 62).

Os entrelaçamentos entre a teoria do desenvolvimento da linguagem e a teoria do desenvolvimento da aprendizagem tangenciam três pontos comuns, que são: envolver, explorar e explicar. Vejamos a figura a seguir:

Figura 4: Desenvolvimento da linguagem x Desenvolvimento da aprendizagem



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Percebe-se que o processo de desenvolvimento da aprendizagem e o processo de desenvolvimento da linguagem são semelhantes. No eixo das abcissas, está a teoria da aprendizagem por descoberta, apresentando as representações da aprendizagem; já no eixo das ordenadas, está o desenvolvimento da linguagem, que representa o processo de comunicação. Ambos têm em comum o fator do desenvolvimento.

A interiorização (ou o armazenamento) da informação acontece por meio de uma superordenação – conjuntos de objetos que se interligam de forma lógica na estrutura cognitiva do sujeito. Os objetos ganham sentido quando recebem uma lógica; essa é uma forma de codificar uma informação em um objeto.

A regra de superordenação permite acumular informações, trabalhar com maiores cadeias de inferência. Uma coisa passa

a não ser apenas essa coisa, mas um membro de uma classe maior, por sua vez contida em classe ainda maior, e assim por diante (BRUNER, 1969, p. 31-32) [grifo no original].

Bruner (1969) afirma que só há como acumular informações se o aprendiz aderir a uma linguagem que facilite o entendimento da realidade; a forma de codificar essas informações em símbolos é uma estratégia eficiente de salvá-las em sua estrutura cognitiva. A respeito dessa linguagem de caráter lógico, Bruner (1969, p. 40-41) ensina que:

A linguagem é talvez o exemplo ideal de uma tecnologia tão poderosa, capaz não só de comunicar como de codificar a realidade, representando assuntos remotos ou imediatos, sempre de acordo com regras convencionais, porém apropriadas, que nos permitem tanto representar a “realidade” como transformá-la.

A unidade de trabalho completa foi uma forma de Bruner (1969) organizar, no âmbito do ensino, o entendimento da aprendizagem sintetizada, explorando as formas de linguagem e o desenvolvimento intelectual a partir das representações, desde a aceitação do problema até a resolução da situação e o ganho de experiência. Esse teórico deu ênfase ao material didático, aos modelos de exercícios, aos papéis dos sujeitos envolvidos no processo, aos tipos de aprendizagem, entre outros elementos. Essa unidade de trabalho completa envolve atividades que ilustram situações, proporcionando a interpretação por meio de textos e a codificação em esquemas.

Segundo Bruner (1969, p. 116), em relação ao material didático, “o mais importante é, naturalmente, o material de leitura, e nós, como todos, esforçamo-nos em seu preparo”. Ainda de acordo com o autor, no tocante aos modelos de exercícios, “a tendência das crianças é ter preguiça de usar as informações, não explorando suas capacidades e potenciais até o grau justificável, bem como suas dificuldades de classificação” (BRUNER, 1969, p. 118). Por sua vez, em relação ao material de leitura, Bruner (1969, p. 117) explica que “há muitos outros recursos além do material de leitura que necessitam ser desenvolvidos em determinadas unidades, como trechos de filmes coloridos, cujo emprego está-se ampliando”. Finalizando a explicação dos conceitos anteriores, o teórico fala sobre material suplementar:

À medida que progredimos no estabelecimento de qual será a nossa trajetória-padrão, mais evidentes se mostrarão os materiais suplementares a serem aplicados. Foi descoberto

recentemente um novo tipo de filme que mostrou ser de grande auxílio como material suplementar. Construindo unidades, frequentemente reunimos o grande especialista que constrói a matéria e um grupo de alunos que a estudam (BRUNER, 1969, p. 119).

Perguntas e contrastes, ao selecionar matérias a serem ensinadas, aprendemos algumas maneiras de obter ideias, ou de fazer os alunos sugerirem assuntos que comumente podem ser esquematizados – em ilustrações, leituras ou diagramas. Mas, algumas vezes, são mais facilmente expressadas como sugestão aos professores sobre perguntas a fazer e contrastes a despertar (BRUNER, 1969, p. 116-117) [grifos no original].

A defesa de uma descrição analítica de situações mais complexas pode revelar indícios de aprendizagem. Ademais, uma busca aparentemente mais simples dessas descrições está em analisar documentários que visam a esclarecer situações-problemas, tornando mais evidentes objetivos e metas a serem traçados.

Documentários. O documentário é acompanhado de uma descrição mais analítica. O documentário analítico tem por fim servir a dois objetivos. O primeiro é tornar mais evidente, tanto para nós mesmos quanto para os professores, quais são de fato os problemas psicológicos envolvidos em determinado tipo de habilidade intelectual que pretendemos estimular nas crianças. O segundo objetivo – que podemos chamar educacional – consiste em dar aos professores o que pode vir a ser psicologia educacional mais útil do que a encontrada convencionalmente nos livros didáticos a este assunto obscuro (BRUNER, 1969, p. 118) [grifos no original].

A unidade de trabalho completa de Bruner (1969) tem como objetivo alcançar cinco ideais relacionados ao sucesso do planejamento e da aplicação. São eles: i) respeito e confiança à estrutura cognitiva; ii) poder de pensar e de argumentar; iii) facilitação de análises da natureza do mundo e da sociedade com modelos práticos; iv) dar sentido lógico ao papel do homem, da sociedade e da natureza; e v) apresentar aos aprendizes que a evolução do homem, da sociedade e da natureza não está completa.

Se alcançarmos sucesso total no planejamento e aplicação do curso, teremos realizado cinco ideais: 1 – Dar aos alunos respeito e confiança nos poderes de sua mente. 2 – Estender esse respeito e confiança ao seu poder de pensar sobre a condição, o estado e a vida social do homem. 3 – Fornece um conjunto de modelos práticos que facilitam a análise da natureza do mundo social em que vivemos e a condição em que o próprio homem se encontra. 4 – Dar um sentido de respeito à capacidade e humanidade do homem considerado como

espécie. 5 – Inculir no estudante o sentido de que a evolução humana ainda não terminou (BRUNER, 1969, p. 119-120).

Conforme Präss (2005), a teoria da aprendizagem por descoberta de Bruner (1969) está fundamentada em alguns pilares: motivação; estrutura; modo de apresentação; economia de apresentação; poder da apresentação; sequência; e reforçamento. Vejamos detalhadamente cada um deles a seguir.

Motivação: todo ser humano nasce com o “desejo de aprender”, mas esse desejo é mantido quando há motivações que servem de combustível para o aprendizado.

Estrutura: a transmissão de qualquer conteúdo pode ser organizada a fim de que seja compreensível para os estudantes. Em relação a esse ponto, Bruner (1969) ressalta que qualquer conteúdo é possível de ser aprendido, desde que sejam respeitados o nível de compreensão e a fase de desenvolvimento do aluno. Sobre a linguagem, Bruner (1969, p. 25) afirma que ela permite “introduzir transformações sintáticas corretas que tornam fácil e útil abordar declarações sobre a realidade da maneira mais surpreendente: observando um acontecimento”.

Modo de apresentação: técnica (ou método) necessária ao alcance do aprendizado.

Economia de apresentação: economizar em conteúdo. Muita informação atrapalha o processo de ensino e aprendizagem.

Poder da apresentação: a simplicidade em apresentar o conteúdo pode potencializar o processo de ensino e aprendizagem.

Sequência: o desenvolvimento intelectual acontece por meio de sequências de conteúdo, passando pelas fases de representações do conhecimento.

Reforçamento: apresentar ao indivíduo o seu rendimento, apontando, sobretudo, possíveis erros. O reforçamento pode tornar o sujeito autossuficiente.

Esses fundamentos devem estar sincronizados com o currículo escolar; dessa forma, o ensino poderá atingir o máximo de desempenho possível, fazendo com que a aprendizagem seja alcançada pelos estudantes. Segundo Bruner (1972, p. 16), “os currículos escolares e os métodos didáticos

devem estar articulados para que o ensino das ideias fundamentais, em todas as matérias, esteja realmente sendo ensinado”.

Bruner (1969) explica que o mecanismo de aprendizagem ocorre pela ativação de uma ação em imagem, que pode se tornar um ícone dependendo do quão estimuladora for a atividade. Um exemplo disso é uma equação matemática, supondo uma função quadrática. No início, o aprendiz ativa sua estrutura cognitiva guardando aquela informação sem significado, no entanto, quando descobre sua finalidade, consolida a imagem da função em uma ação, e esse processo é chamado de iconização. Logo, esse ícone recebe mais informações (concavidades, curvas, taxas de variações, entre outras), que passam a ser um símbolo. Assim, toda vez que o aluno se deparar com uma parábola, será remetido à imagem que se tornou um ícone em sua ativação cognitiva. De acordo com Bruner (1969, p. 25), “a representação por palavras, ou linguagem, caracterizada pela natureza simbólica, com algumas formas de sistemas simbólicos, só agora sendo bem compreendida”.

Como é possível perceber, no âmbito da teoria da aprendizagem por descoberta, o sujeito transforma suas estruturas cognitivas quando resolve problemas ou situações, ao mesmo tempo em que constrói a capacidade de transmitir os conhecimentos adquiridos durante esse processo.

Bruner baseia-se em paradigma que mantém preferência por pesquisa focada no desenvolvimento humano, visto isso da perspectiva intelectual-cognitiva. Esse paradigma é sintetizado na mente como o funcionamento qualitativo do cérebro, que serve como meio para a construção de modelos mentais, com base nos dados que você recebe, no armazenamento deles e nas inferências extraídas pelo aluno. Essa codificação é essencial para entender a relação entre coisas do mundo e suas respectivas representações dentro do modelo mental-abstrato (VIELMA; SALAS, 2000, p. 34).

Por outro lado, Marques ([s.d.]) aponta que a teoria de Bruner é utilizada de forma introdutória e generalista. Segundo esse autor, isso pode causar prejuízos metodológicos. Marques ([s.d.]) afirma também que houve uma grande generalização dos idealizadores dos currículos, fato que empobreceu a diversificação das metodologias. Dessa forma, o teórico defende que a aprendizagem não pode ser acessada por um único método somente.

Outra crítica realizada por Marques ([s.d.]) diz respeito à questão do protagonismo do estudante no processo de ensino e aprendizagem. O que ele

quer dizer é que o aluno até consegue explicar um conceito ou um fenômeno, mas não compreende a teoria ou a lei que abrange a situação, ou seja, o estudante não aprendeu o método científico, apenas tem à sua disposição alguns resquícios científicos.

Moreira (2009) descreve que Bruner não encara o reforço sob o ponto de vista da abordagem comportamentalista. Outro ponto frágil da teoria da aprendizagem por descoberta seria o foco na estrutura, e não no processo de aprendizagem. Ainda de acordo com Moreira (2009, p. 28), “se o indivíduo entendesse a estrutura do conhecimento, esse entendimento permitir-lhe-ia prosseguir por si mesmo”.

Nessa mesma esteira de pensamento, Erausquín (2003, p. 93) explica que “sem a teoria na mente, não importa quão declarativo seja o conhecimento do professor, a maneira de transmiti-lo e o conhecimento que os alunos tentam promover, desenvolver ou transformar”. Esse autor se contrapõe a Bruner, que diz que as habilidades são resultadas do processo de ensino e aprendizagem.

Essas lacunas incentivaram o presente trabalho a buscar metodologias que pudessem enriquecer o estudo referente ao processo de ensino e aprendizagem, a exemplo da IBSE (Ensino de Ciências Baseado em Investigação), a ser apresentada com mais detalhes na próxima seção. A IBSE baseia-se na investigação científica e possibilita a construção de uma matriz metodológica que fortalece o processo de aquisição de conhecimento. Esse método tem um viés construtivista, que aborda o indivíduo no contexto da construção de suas próprias ferramentas de aprendizagem.

Na próxima seção, discutiremos sobre a metodologia de ensino de ciências baseada em investigação (IBSE) e complementaremos a aprendizagem por descoberta, enfatizando pontos em comum entre a teoria de aprendizagem e a metodologia aqui propostas.

2.4 A METODOLOGIA IBSE (ENSINO DE CIÊNCIAS BASEADO EM INVESTIGAÇÃO)

É uma proposta voltada à preocupação do ensino de ciências nos países europeus, prezando por uma aprendizagem de qualidade nos diferentes sistemas de educação nacional, com foco no ensino primário (COSTA, 2014).

Dentro desse desafio, foram criadas atividades que se destacavam como caráter experimentador do perfil dos estudantes (COSTA, 2014). Um dos projetos recebeu o título de *Pri-Sci-Net*, em referência às palavras-chaves: *inquire*, *investigate*, *evaluate* e *connect*. O foco são atividades contextualizadas ao cotidiano dos estudantes, o que permite que eles desenvolvam o perfil projetado pela atividade com base em investigações, agregando um pensamento crítico e consciente.

Outro projeto que trabalha o método IBSE em 14 jardins botânicos na União Europeia é o *Inquire*, realizado em parceria com 11 países. Cada polo ativo nos jardins botânicos são pontos de treinamento para professores, com duração de um ano e certificação pelas universidades King's College London, no Reino Unido, e Universidade de Bremen, na Alemanha.

O projeto visa a inspirar e treinar uma diversidade de educadores e almeja atingir milhões de estudantes com informações acerca das alterações climáticas e da perda da biodiversidade. O *Inquire* é um projeto situado no âmbito das ciências biológicas, mas que se estende às ciências humanas, no sentido de tentar entender o que leva o ser humano a desmatar seu habitat natural.

O *Inquire* fornece aos professores e alunos manuais que norteiam a prática de pesquisa dentro dos jardins botânicos. Nesses materiais, constam atividades que vão desde plantar uma semente até a recuperação de uma árvore, passando também pelo manuseio de ferramentas e por cuidados relacionados a insetos e animais. O projeto *Inquire* corrobora com a aplicação da IBSE, combinando teoria e prática.

As atividades planejadas no âmbito da metodologia IBSE são responsáveis por promover discussões e desenvolvimento de situações-problemas de cunho exploratório e investigativo, realizando, assim, a promoção de pesquisa dentro da comunidade investigativa (COSTA, 2014).

De acordo com Costa (2014), o processo de ensino e aprendizagem necessita de clareza em relação às funções dos participantes. Cabe, então, ao professor ser um guia da construção da aprendizagem, sendo facilitador de ideias e criador de sequências de soluções de problemas. “*Informação aos professores*, constituindo de descrições claras da natureza da unidade –

particularmente da natureza dos seus mistérios, do que, sobre ela, provoca curiosidades e surpresas” (BRUNER, 1969, p. 116, *grifos no original*).

As competências dos professores são: i) identificar os níveis de competências da comunidade investigativa; ii) fornecer apoio na formulação da construção da solução para o problema; iii) dar oportunidade para os estudantes desenvolverem suas próprias investigações. Segundo Costa (2014, p. 9):

Todos os professores são incentivados a usar essas atividades como julgarem ser melhor. Os professores precisam de tempo e prática até que se consigam sentir confortáveis e confiantes para realizar atividades de investigação em ciências com as crianças. O desafio não é fácil, mas não é impossível.

Já os indivíduos, centro desse processo de investigação, devem desenvolver (COSTA, 2014): i) uma participação ativa, explorando as observações como sorvedouro de evidências; ii) o enfrentamento do problema; iii) capacidades de observações mais apuradas, questionamento com clareza, planejamento e colhimento de dados; iv) trabalhos em grupo, interações sociais e construção de argumentos; e v) autonomia e autorregulações de acordo com as experiências adquiridas.

Dentro da prática, as atividades refletem uma visão compartilhada do desenvolvimento dos grupos, afirma Costa (2014). A ocorrência desse fato se deve à autenticidade do problema, isto é, o problema deve se conectar com os estudantes, a fim de que adotem aquela situação como um problema particularmente seu. Tal problema deve ter um significado para que o indivíduo tenha interesse de discuti-lo e investigá-lo. Por essa visão, as atividades devem estar inseridas no ambiente cultural e social do aluno, sendo que a investigação deverá ser adequada à faixa etária.

A inserção da atividade investigativa na prática cotidiana compreende que o início da aprendizagem está na colocação do problema a ser resolvido (COSTA, 2014). O problema será um motivador para o aluno, que tomará o problema para si, reunirá informações, identificará possíveis soluções, avaliará as condições para que as soluções propostas se adéquem precisamente ao problema e apresentará suas conclusões. Ao estimular a participação nesse processo investigativo, espera-se que os estudantes desenvolvam, de forma ativa, os conhecimentos adquiridos, por meio do estímulo fornecido pelos professores (COSTA, 2014).

De acordo com Bybee *et al.* (2006), os educadores têm o desafio de tornar claro o conhecimento a ser aprendido, de forma a ampliar a discussão dentro da prática educacional, potencializando o desenvolvimento de habilidades. Uma das formas de potencializar o ensino é adotando a estratégia dos 5Es, que, no IBSE não é a única há, por exemplo, (CESCHINI, 2018).

Os 5Es têm como base um modelo de ensino e aprendizagem orientado à pesquisa. Os alunos utilizam seus conhecimentos prévios para fornecer explicações às suas experiências práticas científicas. Eles estão envolvidos ativamente no processo de ensino e aprendizagem e desenvolvem habilidades de investigação e de compreensão da natureza da ciência.

Figura 5: 5Es do modelo instrucional de aprendizagem.



Fonte: Adaptada de Swift Elearning (2019).

Tavares e Almeida (2015) descrevem que uma aprendizagem personalizada, continuada, colaborativa e situada deve passar por um processo de cinco etapas: i) envolvimento; ii) exploração; iii) explicação; iv) elaboração; e v) avaliação. Essa perspectiva auxilia o professor a identificar a etapa em que o

aluno se encontra, a fim de desenvolver modelos com mais agilidade e mais intensificadores do pensamento crítico-científico.

I) Envolvimento: cada atividade deve começar com uma lição que mentalmente envolva os estudantes, por meio de uma pergunta, por exemplo. Ao captar o interesse dos alunos, tem-se a oportunidade para que possam expressar o que sabem acerca do conceito ou da habilidade que está sendo desenvolvida.

II) Exploração: os estudantes realizam atividades práticas para explorar o conceito ou a habilidade. Eles lidam com o problema ou o fenômeno, descrevendo-o com suas próprias palavras. Essa fase permite que os alunos adquiram um conjunto comum de experiências, que podem ser utilizadas para ajudar uns aos outros a entender o novo conceito (ou a nova habilidade).

III) Explicação: somente depois de os estudantes explorarem o conceito ou a habilidade, o professor fornece os conceitos e os termos utilizados pelos estudantes para desenvolver explicações para o fenômeno que experimentaram. O aspecto significativo dessa fase é que a explicação segue a experiência.

IV) Elaboração: essa fase oferece oportunidades para os alunos aplicarem a novas situações o que aprenderam, a fim de desenvolver uma compreensão mais profunda do conceito ou um maior uso da habilidade. É importante que os estudantes discutam e comparem suas ideias uns com os outros durante essa fase.

V) Avaliação: a fase final oferece uma oportunidade para os alunos revisarem e refletirem acerca de seu aprendizado e de novos conhecimentos e habilidades. É também quando os estudantes fornecem evidências de mudanças em sua compreensão, crenças e habilidades.

A figura a seguir apresenta os cinco estágios da aprendizagem de acordo com a metodologia IBSE, com objetivo de esclarecer dúvidas acerca da aplicação correta de cada etapa.

Figura 6: Estágios de aprendizagem conforme metodologia IBSE.



Fonte: Adaptada de Bybee et al. (2006, p. 33, tradução nossa).

Uma aprendizagem alinhada à metodologia IBSE é aquela que se desenvolve em um contexto, mas que pode ser aplicada a outro contexto diferente, desde que haja regularidade nos dados e vinculação com o problema.

Segundo Bybee *et al.* (2006), no mesmo intervalo de tempo em que os estudantes desenvolvem a educação científica, eles também podem desenvolver habilidades cognitivas como adaptabilidade, comunicação complexa, solução de problemas não cotidianos, autoadministração e pensamento sistêmico.

A adaptabilidade está relacionada à capacidade e estruturação para lidar com relações instáveis, condições que modificam rapidamente, incluindo a resposta eficaz a emergências ou situações de crise e aprendendo novas tarefas, tecnologias e procedimentos. Adaptabilidade também inclui o manuseio do estresse no trabalho, adaptando-se a diferentes personalidades, comunicações, estilos e culturas (BYBEE *et al.*, 2006, p. 3) [tradução nossa].

A adaptabilidade é um passo importante a ser desenvolvido. Essa habilidade cognitiva proporciona ao aprendiz uma versatilidade na forma de trabalhar, e ele será notado por essa qualidade.

Sobre a comunicação complexa, são habilidades em processar e interpretar informações verbais e não verbais de outros, ligada intrinsecamente a ciências sociais e relacionada à empatia humana, a fim de responder apropriadamente. Um comunicador habilidoso seleciona peças-chaves de uma ideia complexa para expressar em palavras, sons e imagens, a fim de construir entendimento compartilhado. Especializados comunicadores negociam resultados positivos com os outros através da percepção social, persuasão, negociação e instrução (BYBEE *et al.*, 2006, p. 3) [tradução nossa].

Essa habilidade pode ser interpretada como transposição didática, em que o indivíduo se depara com um caso complexo que deve simplificar, de forma que outras pessoas que não tenham a mesma instrução (ou habilidade) possam compreender.

Um solucionador de problemas especializado usa o pensamento especializado para examinar um amplo leque de informações, reconhecer padrões e restringir as informações até chegar a um diagnóstico do problema. Ir além do diagnóstico para uma solução requer conhecimento de como a informação está vinculada conceitualmente e envolve metacognição – capacidade de refletir sobre se uma estratégia de solução de problemas está funcionando e mudar para outra estratégia caso a atual não estiver funcionando. Isso inclui criatividade para

gerar soluções novas e inovadoras, integrando informação não relacionada (BYBEE *et al.*, 2006, p. 4) [tradução nossa].

A habilidade do solucionador de problemas está conectada às ciências exatas e ao reconhecimento de padrões e estratégias para construir novas soluções e modelos, a fim de explicar um campo novo. Essa habilidade vai ao encontro de perfis de aprendizes que buscam quebrar paradigmas; são os que não aceitam as respostas convencionais. Para esses sujeitos, a busca de uma resposta satisfatória ajuda a melhorar essa habilidade de solucionar problemas.

Autogestão/autodesenvolvimento. Habilidades de autogestão incluem a capacidade de trabalhar remotamente, em equipes virtuais; trabalhar autonomamente; e ser automotivador e ter automonitoramento. Um aspecto do autogerenciamento é a disposição e capacidade de adquirir novas informações e habilidades relacionadas ao trabalho (BYBEE *et al.*, 2006, p. 4) [tradução nossa].

O indivíduo que desenvolve a autogestão tem como característica conseguir automotivar seu ambiente de trabalho, construindo ferramentas que auxiliam a fazer o melhor trabalho em menor tempo. Tecnicamente, são mecanicistas que buscam automatizar sistemas de grande armazenamento de informações.

Pensamento sistêmico. A capacidade de entender como um sistema inteiro funciona, como ação, alteração ou mau funcionamento em uma parte do sistema que afeta o restante do sistema, adotando uma perspectiva “grande figura” sobre o trabalho. Inclui julgamento e tomar uma decisão; análise de sistemas; e avaliação de sistemas, bem como raciocínio abstrato sobre como os diferentes elementos de um processo de trabalho interagem (BYBEE *et al.*, 2006, p. 4) [tradução nossa].

A habilidade sistêmica é a habilidade da curiosidade, em que o sujeito busca compreender o funcionamento de equipamentos. Na infância, quando uma criança procura entender como um carro de brinquedo funciona, sua necessidade só será saciada se desmontar o objeto e conferir como é o mecanismo que provoca a ação do objeto.

Na próxima seção, será descrita uma transposição didática sobre a luz em quatro frentes, conforme o currículo educacional proposto por Bruner. Essa transição didática será desenvolvida em uma linguagem simples e sem a necessidade de matemática sofisticada; dessa forma, busca-se explicar um

conceito complexo – e talvez abstrato – com uma simplificação dos conceitos utilizados em uma aplicação prática experimental.

3 DÁ ÓPTICA AO ELETROMAGNETISMO: UMA ABORDAGEM A PARTIR DE ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Este trabalho se dedicou a construir um produto educacional que possibilite aos aprendizes compreender a luz e a responder perguntas como: o que é a luz?; como ela é gerada; como se propaga?; entre outras. As respostas a essas questões, não triviais, podem ser encontradas com o apoio da aplicação da matriz metodológica proposta neste estudo.

Os questionamentos relacionados a essas perguntas foram o ponto de partida para dar início a uma investigação sobre a luz. Há muito tempo, a humanidade busca compreender as leis que explicam o comportamento da luz. Segundo Nussenzveig (2002), Isaac Newton, aproximadamente em 1650, propôs que a luz teria um comportamento corpuscular, como uma partícula, observando um feixe de luz penetrando um cristal, fenômeno explicado pela lei de Snell-Descartes e intitulado “refração da luz”. De acordo com Young e Freedman (2009), Huygens, aproximadamente em 1650, observou que a velocidade da luz, em diferentes meios, não era igual, ou seja, a luz depende do meio em que se propaga, e apresentou uma explicação de acordo com o comportamento ondulatório.

A dualidade onda e partícula, por muito tempo, foi uma interrogação dentro da ciência. Com a ascensão da mecânica quântica, ambas as naturezas têm validade – resumindo, a radiação é dual. Em geral, as ponderações quanto a utilizar as descrições referentes à natureza da luz são melhores entendidas pelo comportamento ondulatório nos efeitos de propagação e de interferências. Além disso, o comportamento corpuscular é mais bem descrito quando há uma interação da luz com a matéria, como no efeito fotoelétrico, efeito Compton e radiação do corpo negro.

Um experimento que revolucionou o século XX e abriu um novo capítulo na ciência, com suas diversas aplicações, foi a propagação de uma onda eletromagnética, proposta por Maxwell e executada por Hertz (~1888).

Em 1873, James Clerk Maxwell previu a existência das ondas eletromagnéticas e calculou a velocidade de propagação dessas ondas. Esse desenvolvimento, com o trabalho experimental de Heinrich Hertz iniciado em 1887, mostrou de maneira irrefutável que a luz realmente é uma onda eletromagnética (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 2).

Na contemporaneidade, os estudos da radiação são aplicados com a finalidade de melhorar a qualidade de vida humana (comunicação, aplicações médicas etc.). Assim, este trabalho buscou construir uma relação do raio de luz com as aplicações dos estudos da radiação. Nos próximos tópicos, faremos uma discussão acerca dos experimentos de óptica, ondulatória e eletromagnetismo aplicados ao cotidiano, do ponto de vista da física.

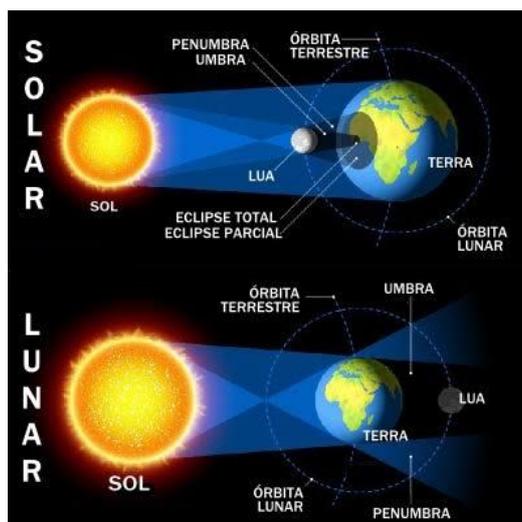
3.1 A INTERAÇÃO DA LUZ COM O MEIO

Começaremos com um questionamento: qual é a trajetória da luz? Quando se aciona um laser e aponta-se em uma direção qualquer, tem-se a impressão de que a trajetória da luz é retilínea. Sim, a trajetória da luz é retilínea, em um meio homogêneo e transparente, mas em meio a um campo gravitacional intenso. Essa trajetória pode ser curvada, de acordo com a teoria da relatividade geral de Einstein, que não é o foco deste trabalho.

Num meio homogêneo, como o ar dentro de uma sala ou o espaço interno estelar, a luz se propaga em linha reta. Isso é particularmente reconhecível quando a fonte de luz é “puntiforme”, ou seja, de dimensões desprezíveis em confronto com as demais que entram na observação: um exemplo é um buraquinho de alfinete iluminado num anteparo opaco (NUSSENZVEIG, 2002, p. 3).

A luz emitida pelo Sol, fonte primária de luz, percorre uma trajetória retilínea, passando pela Terra e por outros corpos do sistema solar. A luz do Sol ilumina a face da Terra – a parte não iluminada recebe o nome de sombra, e a pouca iluminação é denominada de penumbra. Essa observação explica os eclipses solares e lunares, em que o Sol, a Lua e a Terra se organizam de modo a gerar uma sombra projetada em um dos corpos.

Figura 7: Ilustração dos eclipses solares e lunares.

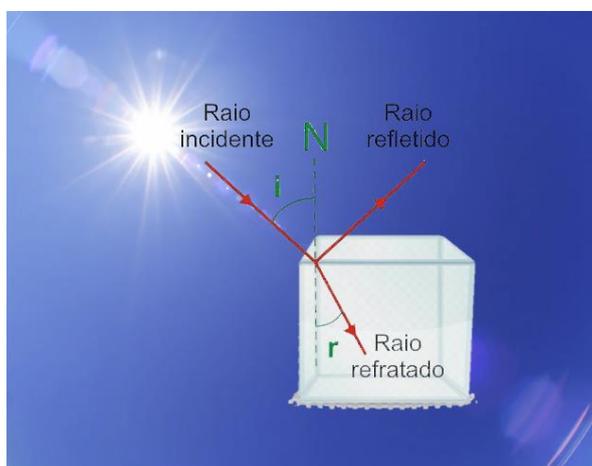


Fonte: Adaptada de Pena ([201-2019]).

Se a Lua se posicionar entre a Terra e o Sol, haverá um eclipse solar; se a Terra se posicionar entre os astros, o eclipse é lunar, portanto, observa-se que os eclipses ocorrem se um corpo dificultar a passagem de luz para outro corpo (Terra e Lua). A interação da luz com o meio condiciona a três fenômenos: reflexão, refração e absorção.

Dois desses fenômenos podem ser vistos em um cubo de gelo exposto à luz (Sol), como mostrado na Figura 8. Os raios de luz vindos do Sol são chamados de raios incidentes, que podem ser direcionados quando se chocam com a estrutura do cubo. O raio que muda sua trajetória quando colide com o cubo é o raio refletido, e o raio refratado é o que adentra no gelo e modifica sua trajetória, conforme equação 3.

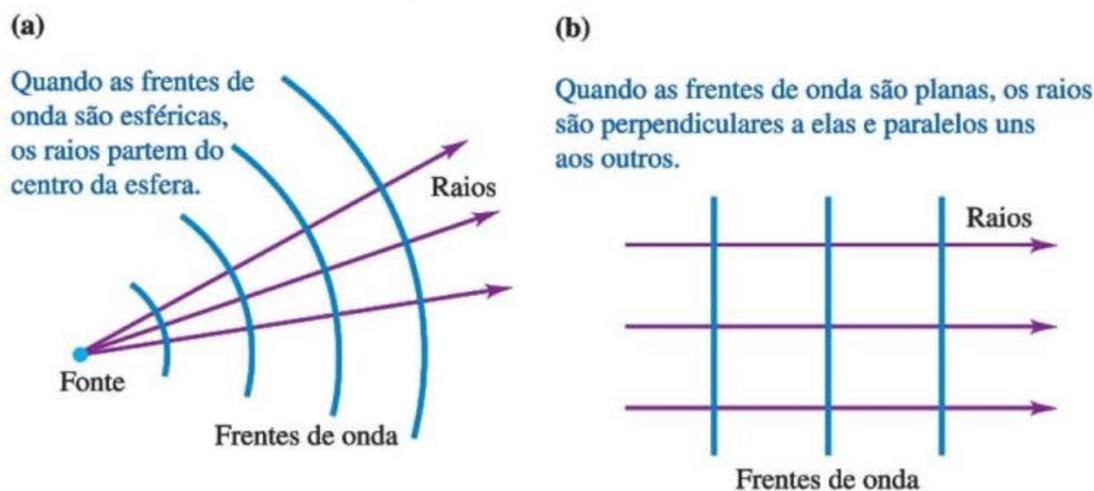
Figura 8: Reflexão e refração.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Essa explicação tem uma visão corpuscular, em que os mesmos fenômenos podem ser explicados de acordo com as observações de Huygens. A explicação ondulatória sobre a linearidade da luz é menos trivial. Huygens, ao tentar explicar o problema, deparou-se com ondas no formato esférico, e a fonte delas era um pulso que se iniciava no centro da onda. Logo, ele percebeu que as frentes de ondas seguiam uma linearidade, conforme Figura 9:

Figura 9: Pulsos lineares.



Fonte: Young e Freedman (2009, p. 3).

Na reflexão, a luz modifica sua trajetória ao colidir com o material, mas não modifica sua velocidade, que é equivalente a $c=3 \times 10^8$ m/s no vácuo. Em outros materiais, como vidro, cristais e gelo, a velocidade da luz é diferente e pode ser descoberta, de acordo com esta equação:

$$c = Vn. \quad (1)$$

n é o índice de refração no meio em que a luz se propaga, e V é a velocidade da luz nesse meio. Essa equação foi desenvolvida no tratamento da luz em uma ótica corpuscular; na ondulatória, a equação é apresentada como:

$$f = \frac{c}{\lambda}. \quad (2)$$

f é a frequência, que não se modifica ao mudar de meio.

O índice de refração no vácuo equivale a 1, de acordo com a equação (1). O índice de refração, em quaisquer meios, também pode ser descrito pela equação de Snell-Descartes, que afere, de forma geométrica, a angulação do raio de incidência e o refratado, conforme equação a seguir:

$$\frac{\eta_i}{n_r} = \frac{\sin(\theta_r)}{\sin(\theta_i)} \quad (3)$$

Foram encontrados os índices de refração da luz emitida por uma lâmpada de sódio, de cor amarela, com comprimento de onda de $\lambda_o = 589 \text{ nm}$. Comprimento de onda é a distância entre duas cristas de uma onda. Se essa luz for emitida no vácuo, então, sua velocidade é de aproximadamente $c=3 \times 10^8 \text{ m/s}$; logo, percebe-se que o índice de refração pode ser descrito como uma razão entre os comprimentos de onda no vácuo e no material.

Quadro 1: Índice de refração para a luz de sódio amarela ($\lambda_o = 589 \text{ nm}$)

Substância	Índice de Refração (n)	Substância	Índice de Refração (n)	Substância	Índice de Refração (n)
Sólidos		Vidros (valores típicos)		Líquidos a 20° C	
Gelo (H ₂ O)	1,309	Crown	1,52	Metanol (CH ₃ OH)	1,329
Fluorita (CaF ₂)	1,434	Flint Leve	1,58	Água (H ₂ O)	1,333
Poliestireno	1,49	Flint Médio	1,62	Etanol (C ₂ H ₅ OH)	1,36
Sal (NaCl)	1,544	Flint Denso	1,66	Tetracloro de carbono (CCl ₄)	1,460
Quartzo (SiO ₂)	1,544	Flint Lantânio	1,80	Turpentina	1,472
Zircônio (ZeO ₂ SiO ₂)	1,923			Glicerina	1,473
Diamante ©	2,417			Benzeno	1,501
Faburita (SrTiO ₃)	2,409			Dissulfeto de carbono (CS ₂)	1,628
Rutilo (TiO ₂)	2,62				

Fonte: Adaptado de Young e Freedman (2009, p. 7).

$$\eta = \frac{\lambda_c}{\lambda_o} \quad (4)$$

Além dos comprimentos de ondas, Isaac Newton também percebeu a dispersão da luz em um prisma. A dispersão da luz acontece quando a luz branca emitida por uma fonte refrata em um objeto homogêneo e transparente. A figura a seguir ilustra a dispersão da luz como em um arco-íris:

Figura 10: Dispersão da luz.



Fonte: Young e Freedman (2009, p. 13).

A luz branca, ao interagir com o prisma, ocasionou uma refração, que dispersou a luz em sete comprimentos de onda, sete cores. Cada feixe de luz tem ângulos de refração diferentes uns dos outros, proporcionando comprimentos de ondas diferentes dentro do prisma.

O estudo da luz e de suas tecnologias envolve um conjunto de análises básicas e avançadas sobre seu comportamento em diferentes meios e condições. A propagação da luz pode ser descrita pelo comportamento corpuscular e ondulatório e pode ser produzido pelo eletromagnetismo, o que evidencia que o estudo da luz está em diversas frentes do ensino de física, com variadas aplicações práticas no cotidiano.

3.2 PERSPECTIVA ELETROMAGNÉTICA

A luz ainda era um mistério para a ciência quando Maxwell (FERREIRA, 2017) concluiu que a luz, sensível ao olho humano, era formada por ondas eletromagnéticas na frequência do visível e que tal frequência é gerada por cargas elétricas que oscilam.

Na véspera de sua descoberta, conta-se que Maxwell teve um encontro com uma jovem mulher, com quem mais tarde se casaria. Enquanto caminhavam em um jardim, ele comentou sobre a beleza e o assombro das estrelas. Maxwell indagou como ela se sentia sabendo estar caminhando com a única pessoa do mundo que sabia o que realmente era a luz das estrelas. Pois aquilo era verdade. Naquela época, James Clerk Maxwell era a única pessoa no mundo a saber que qualquer tipo

de luz é energia transportada por campos elétricos e magnéticos que, de maneira contínua, se regeneram mutuamente (HEWITT, 2000, p. 480).

As quatro leis que regem o eletromagnetismo são as leis de Maxwell. Com essas quatro equações fundamentais, obtém-se a descrição da teoria do espectro eletromagnético (MELZI, 2012). Essas equações podem ser descritas na forma diferencial e integral, conforme o Quadro 2. Ferreira (2017) e Melzi (2012) mencionam que as quatro equações de Maxwell são: lei de Gauss para cargas elétricas; lei de Faraday-Lenz; lei de Gauss magnética; e lei de Ampère-Maxwell.

Quadro 2: Equações de Maxwell (forma integral e diferencial).

As leis de Maxwell	Integral	Diferencial
Lei de Gauss elétrica	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{Interna}}{\epsilon_0}$	$(\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Lei de Gauss magnética	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	$(\nabla \cdot \vec{B}) = 0$
Lei de Faraday-Lenz	$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \theta_B}{\partial t}$	$(\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
Lei de Ampère-Maxwell	$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i + \epsilon_0 \frac{\partial \theta_E}{\partial t} \right)$	$(\nabla \times \vec{B}) = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

Fonte: Feynman, Leighton e Sands (2008, p. 212).

O eletromagnetismo de Maxwell pode ser dividido em duas áreas de estudo, que são: 1) as cargas elétricas (**Q**), eletricidade; e 2) os materiais magnéticos, magnetismo. Cargas elétricas produzem linhas de forças elétricas e, por consequência, geram campo elétrico (\vec{E}); corpos magnéticos produzem campos magnéticos (\vec{B}). Campos elétricos (\vec{E}) são grandezas vetoriais, produzidos por cargas pontuais, em repouso, medidos em volts por metro. Os campos magnéticos (\vec{B}) são estabelecidos por cargas em movimento ou correntes elétricas (**i**). O quadro a seguir apresenta os significados dos símbolos das equações de Maxwell.

Quadro 3: Símbolos e seus significados nas equações de Maxwell.

Símbolo	Significado
$Q_{Interna}$	Carga elétrica interna
ρ	Densidade volumétrica
Q	Carga elétrica
σ	Condutividade
J	Densidade de corrente
i	Corrente elétrica
\vec{E}	Campo elétrico
\vec{B}	Campo magnético
ϵ_0	Permissividade elétrica
μ_0	Permeabilidade magnética
$d\vec{l}$	Elemento diferencial linear
$d\vec{A}$	Elemento diferencial área
$\frac{\partial \theta_B}{\partial t}$	Taxa de variação do fluxo magnético
$\frac{\partial \theta_E}{\partial t}$	Taxa de variação do fluxo elétrico
\oint	Integral de superfície fechada
\oint_c	Integral de circuito fechado
$\nabla \cdot \vec{E}$	Divergente do campo elétrico
$\nabla \cdot \vec{B}$	Divergente do campo magnético
$\nabla \times \vec{E}$	Rotacional do campo elétrico
$\nabla \times \vec{B}$	Rotacional do campo magnético

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O eletromagnetismo gira em torno do estudo da eletricidade e do magnetismo, e a unificação dessas duas áreas surge no experimento de Faraday-Lenz, com a variação do fluxo de campo magnético possibilitando em um circuito elétrico uma corrente induzida, ou seja, ao variar o campo magnético, surge a natureza elétrica, e vice-versa. A unificação da eletricidade e o magnetismo surgem com esse experimento e tomam seu fim na unificação das

leis que explicam a eletricidade com as leis que explicam o magnetismo. Esse é o eletromagnetismo de James Clerk Maxwell.

A interpretação das quatro leis de Maxwell, de forma experimental, pode ser regida por quatro experimentos: 1) força elétrica; 2) quebrar um ímã; 3) bobina de Tesla; e 4) corrente de deslocamento em um capacitor. Esses experimentos versam sobre o comportamento elétrico e magnético da natureza.

Em uma situação em que há duas cargas opostas no universo, uma das cargas percebe que há outra carga próxima, e uma força resultará na aproximação dessas cargas. A explicação desse fenômeno reside na afirmação de que há um campo elétrico intrínseco às cargas elétricas. Por sua vez, a atração se deve pela interação dos campos produzidos pelas cargas, de modo que a força seja atrativa.

A não existência de monopolos magnéticos é a explicação dada pela segunda lei de Maxwell, ou lei de Gauss magnética, e é corroborada pelo experimento de dividir um ímã em duas partes, quebrando-o. Nota-se que os dois pedaços quebrados do ímã tornaram-se dois novos ímãs, o que contraria a existência de um ímã de única polaridade, os monopolos magnéticos.

A indução eletromagnética, terceira lei de Maxwell, ou lei de Faraday-Lenz, necessita do fluxo magnético em oscilação dentro de espiras. Esse fluxo magnético – linhas de campo magnético que adentram as espiras – proporciona uma corrente elétrica induzida; em resumo, é gerada uma relação causa e efeito. Se há fluxo magnético oscilando em espiras, haverá uma corrente induzida. A bobina de Tesla destaca a indução eletromagnética por meio da oscilação magnética produzida por transistores de uma bobina primária, várias espiras, para uma bobina secundária.

No tocante à corrente de deslocamento descoberta por Maxwell, ao se debruçar sobre o trabalho de Ampère em correntes elétricas, notou-se que, em um circuito fechado com um capacitor e uma fonte, a corrente elétrica fluía para os terminais do capacitor. No entanto, entre as placas do capacitor, não se media corrente elétrica, mas campo elétrico. Como a corrente elétrica necessita de um meio condutor para deslocar-se, e entre as placas do capacitor não era possível ter corrente elétrica por conta de não haver um meio de fluidez, logo

Maxwell associou o campo elétrico a uma possível corrente de deslocamento entre as placas do capacitor.

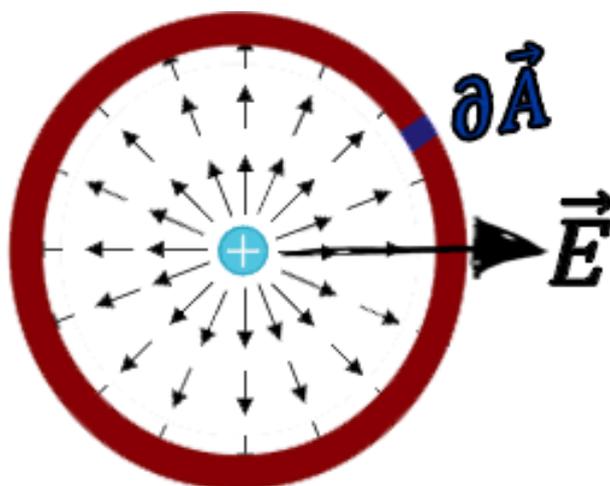
3.2.1 Lei de Gauss elétrica

O processo de eletrização é a explicação elétrica para determinar a natureza elétrica de um corpo. Um corpo negativo possui maior quantidade de cargas negativas do que cargas positivas; já um corpo neutro contém quantidades iguais de cargas positivas e negativas.

Dois corpos de cargas opostas, positivo e negativo, quando colocados a uma distância d , percebe-se que uma força acelera um corpo em direção ao outro, e essa força vem de um vetor chamado campo elétrico. A primeira lei de Maxwell revela que uma carga puntiforme produz um campo elétrico. Para corroborar essa situação, é colocada outra carga próxima. Nesse sistema, uma das cargas sofrerá uma força e acelerará em direção a outra ou contrária. A direção da aceleração e da força dependerá da natureza das cargas – se forem de sinais opostos, a força é atrativa; se forem de sinais iguais, a força é repulsiva. Essa explicação foi percebida por Coulomb, por volta de 1783.

Veamos a figura e a equação a seguir que representa uma carga elétrica puntiforme Q . Melzi (2012), a lei de Gauss para os campos elétricos, de natureza discreta, relata que a carga elétrica produz linhas de campo elétrico, ou seja, torna-se uma superfície elétrica de campo fechado.

Figura 11: Carga puntiforme e campo elétrico.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

$$Q = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{Interna}}{\epsilon_0}. \quad (5)$$

A definição matemática da carga elétrica é uma equação com uma integral de circuito fechado do campo elétrico em função ao seu elemento infinitesimal de área ($d\vec{A}$) ou igual a razão de toda carga elétrica interna sobre a constante ϵ_0 , constante de permissividade no vácuo.

Outra forma de escrever a equação elétrica de Gauss é na forma diferencial. Se a distribuição for contínua, podemos utilizar a densidade volumétrica de carga ρ , quantidade de cargas total em um volume.

$$\rho = \frac{\partial Q}{\partial V} \rightarrow Q = \int_V \rho dV. \quad (6)$$

Utilizaremos também o teorema da divergência, que transforma a integral de circuito fechado em uma integral de volume, conforme ilustrado pela equação (7).

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_V (\nabla \cdot \vec{E}) dV. \quad (7)$$

$$(\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z}.$$

A carga pode também ser descrita por um somatório de um circuito fechado do campo elétrico, em função de suas áreas infinitesimais, lei de Gauss para campos elétricos, e substituída por uma integral de volume do divergente com o campo elétrico ou uma integral de volume da densidade de carga em razão da constante de permissividade elétrica no vácuo, conforme equação (8).

$$Q = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int_V (\nabla \cdot \vec{E}) dV = \int_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV. \quad (8)$$

O teorema da divergência esclarece que as funções internas das integrais de volume só podem ser equivalentes. Logo, obtemos a lei de Gauss elétrica na forma diferencial.

$$(\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0}. \quad (9)$$

Expondo as equações (5) e (9), há uma descrição matemática completa da lei de Gauss elétrica, na forma integral e diferencial, ou primeira lei de Maxwell.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{Interna}}{\epsilon_0} \leftrightarrow (\nabla \cdot \vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0}. \quad (10)$$

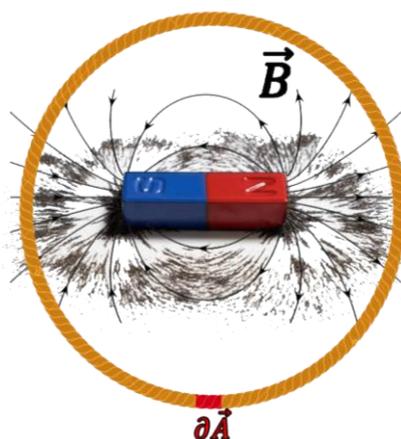
3.2.2 Lei de Gauss magnética.

Ímãs são materiais com propriedades magnéticas e que possuem duas polaridades, norte e sul. Dois ímãs, ao se aproximarem um do outro, produzem uma força de atração do polo norte de um ímã para o polo sul do outro ímã, ou repulsão, se as polaridades forem iguais.

Se quebrar um desses ímãs, a polaridade não se dissocia dos corpos do ímã, e cada parte do ímã quebrado possuirá as duas polaridades, norte e sul. Ao realizar esse experimento, será percebido que não é possível obter os monopolos magnéticos.

Utilizando a mesma analogia da lei de Gauss elétrica, construímos a lei de Gauss magnética, ou segunda lei de Maxwell. Imaginemos que um ímã em um local do espaço produza campos magnéticos. Ele tem duas polaridades: norte e sul; e as linhas de campo produzidas pelo polo norte se deslocam até o polo sul, conforme figura a seguir.

Figura 12: Campo magnético.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Logo, não há como separar tais polos, tornando o dipolo magnético em dois monopolos magnéticos. O que fundamenta esse argumento é a equação

de Gauss. As equações (11) e (12) são as formulações de Gauss para descrever os campos magnéticos de um dipolo magnético; as duas equações também são equivalentes.

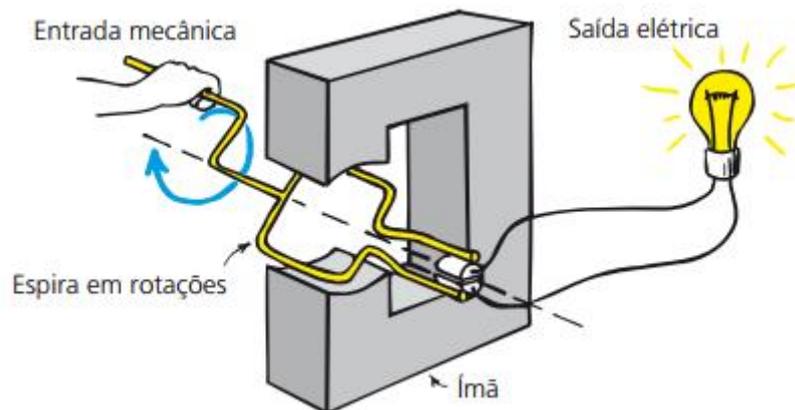
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0. \quad (11)$$

$$(\nabla \cdot \vec{B}) = 0. \quad (12)$$

3.2.3 Lei de Faraday-Lenz

A lei de Faraday-Lenz, ou terceira lei de Maxwell, é uma unificação do caráter elétrico com o magnético. Imaginemos uma bobina com várias espiras enrolada, conforme a figura a seguir.

Figura 13: Lei de Faraday-Lenz.



Fonte: Hewitt (2000, p. 473).

À medida que se rotaciona a espira em um campo magnético, é gerada uma corrente elétrica induzida, possibilitando o acendimento da lâmpada. Esse feito foi observado e percebeu-se que, em um circuito elétrico fechado, era produzida uma corrente elétrica induzida. Faraday-Lenz descreveu esse feito, de acordo com a equação (13) na forma integral, a seguir.

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \theta_B}{\partial t}. \quad (13)$$

A variação do fluxo magnético θ_B é produzida ao rotacionar a espira no campo magnético do ímã permanente, e esse fluxo magnético pode ser descrito como:

$$\theta_B = \oint_c \vec{B} \partial \vec{A}. \quad (14)$$

A transformação da forma integral para a diferencial depende da aplicação do teorema de Stokes, que converte uma integral de curva em uma integral de superfície. A equação (15) representa o teorema de Stokes.

$$\oint_c \vec{F} \partial \vec{l} = \int_s (\nabla \times \vec{F}) \partial \vec{A}. \quad (15)$$

Nesse teorema, converteu-se uma integral de curva em uma integral de superfície. Como resultado, surge um termo rotacional da função – rotacional é um campo de origem divergente e diferente de zero. A descrição matemática dos rotacionais é descrita pela matriz (16), a seguir.

$$(\nabla \times \vec{F}) = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix}. \quad (16)$$

Logo, essa integral de curva do campo elétrico é convertida em uma integral de superfície, com o rotacional aplicado ao campo elétrico, e esse termo é proporcional à variação do fluxo magnético.

$$\oint_c \vec{E} \partial \vec{l} = \int_s (\nabla \times \vec{E}) \partial \vec{A} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_s \vec{B} \partial \vec{A}. \quad (17)$$

Depois de aplicado o teorema de Stokes, é percebido que o argumento interno das integrais de superfície só pode ser equivalente, logo, obtém-se a equação diferencial de Faraday-Lenz.

$$(\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (18)$$

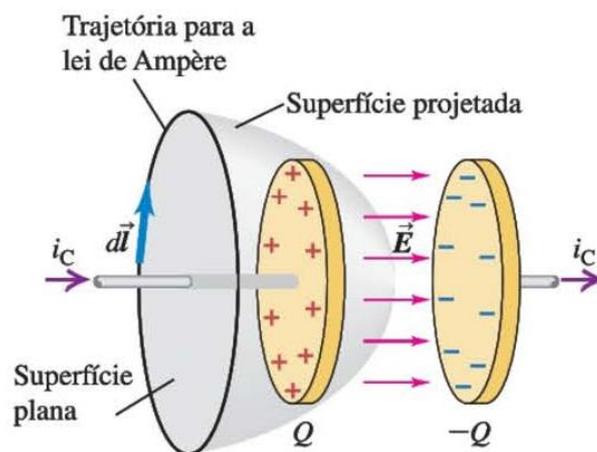
Expondo as equações (13) e (18), há uma descrição matemática completa da lei de Gauss magnética, na forma integral e diferencial.

$$\oint_c \vec{E} \partial \vec{l} = -\frac{\partial \theta_B}{\partial t} \leftrightarrow (\nabla \times \vec{E}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \quad (19)$$

3.2.4 Lei de Ampère-Maxwell

Iniciaremos imaginando um fio com corrente elétrica que produz um campo magnético, o inverso da lei de Faraday-Lenz. A próxima figura ilustra a situação.

Figura 14: Lei de Ampère-Maxwell.



Fonte: Young e Freedman (2009, p. 324).

Nesse problema, havia uma inconsistência que modificava o resultado do campo magnético. Se o campo magnético fosse analisado na superfície plana, o valor encontrado para o campo magnético seria $\mu_0 i$, sendo μ_0 a constante de permeabilidade magnética. Porém, se analisasse na outra placa do capacitor, então, o campo magnético seria igual a zero.

Como a corrente elétrica fluía de uma placa do capacitor para a outra, por meio do campo elétrico de Maxwell, essa corrente que ultrapassou as placas foi nomeada de corrente de deslocamento, $\epsilon_0 \frac{\partial \theta_E}{\partial t}$. A descrição matemática para esse feito está representada na forma integral, na equação (20) a seguir.

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i + \epsilon_0 \frac{\partial \theta_E}{\partial t} \right). \quad (20)$$

O fluxo elétrico é representado pela integral de superfície do campo elétrico.

$$\theta_E = \int_s \vec{E} \cdot d\vec{A}. \quad (21)$$

Para se obter a equação de Ampère-Maxwell na forma diferencial é necessário substituir a corrente elétrica pela densidade de corrente $\vec{J} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta S}$, pelo fato de a corrente elétrica não ter o comportamento uniforme.

$$(\nabla \times \vec{B}) = \mu_0 J + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (22)$$

Expondo as equações (20) e (22), há uma descrição matemática completa da lei de Ampère-Maxwell, também conhecida como quarta equação de Maxwell, na forma integral e diferencial.

$$\oint_c \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \left(i + \varepsilon_0 \frac{\partial \theta_E}{\partial t} \right) \leftrightarrow (\nabla \times \vec{B}) = \mu_0 J + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (23)$$

3.2.5 Ondas eletromagnéticas e espectro eletromagnético

Maxwell percebeu que, se um campo elétrico produzido por uma carga oscila, gera-se um campo magnético. Por outro lado, se oscilar o campo magnético, também é gerado um campo elétrico. Esse processo de oscilação cíclica proporciona uma onda eletromagnética.

Então, simplesmente através de experimentos com cargas e correntes, obtemos um número c^2 , que é o quadrado da velocidade de propagação das influências eletromagnéticas. A partir de medidas estáticas – medindo as forças entre duas unidades de carga e duas correntes – encontramos que $c = 3,00 \times 10^8$ m/s. Quando Maxwell resolveu este cálculo pela primeira vez com suas equações, ele disse que pacotes de campos elétricos e magnéticos deveriam se propagar com esta velocidade. Ele também realçou a coincidência misteriosa, de que esta era a velocidade da luz. “Mal podemos evitar a conclusão”, disse Maxwell, “de que a luz consiste de ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos efeitos elétricos e magnéticos” (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p. 249).

Então, James utilizou a propriedade dos rotacionais nas quatro equações que regem o eletromagnetismo, que é:

$$\nabla \times (\nabla \times \vec{F}) = \nabla \nabla \times \vec{F} - \nabla^2 \vec{F}. \quad (24)$$

Ele encontrou o Laplaciano, $\nabla^2 \vec{F} = \left(\frac{\partial^2 \vec{F}_x}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 \vec{F}_y}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 \vec{F}_z}{\partial z^2} \right)$, dos campos elétricos e magnéticos, conforme equações (25) e (26) a seguir.

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad (25)$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0. \quad (26)$$

A resposta encontrada é muito semelhante à função de onda em três dimensões, $\nabla^2 \vec{F} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \vec{F}}{\partial t^2}$, mas, para que isso seja verdade, o termo $\frac{1}{V^2}$ deve ser comparado com $\mu_0 \varepsilon_0$. As equações 27 a 30, a seguir, ilustram essa comparação.

$$\nabla^2 \vec{F} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \vec{F}}{\partial t^2} \leftrightarrow \nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}, \quad (27)$$

$$\frac{1}{V^2} = \mu_0 \varepsilon_0, \quad (28)$$

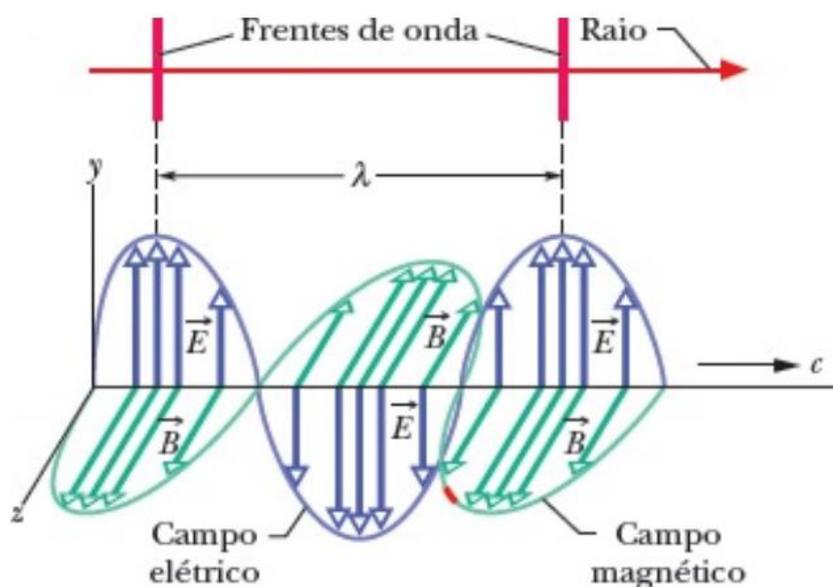
$$V = \sqrt[2]{\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}}, \quad (29)$$

$$V = \sqrt[2]{\frac{1}{4\pi \times 10^{-7} \times 8,854 \times 10^{-12}}} \cong 3 \times 10^8 \frac{m}{s}. \quad (30)$$

Considere em primeiro lugar o campo magnético. Como está variando senoidalmente, o campo induz (de acordo com a lei de indução de Faraday) um campo elétrico perpendicular que também varia senoidalmente. Entretanto, como o campo elétrico está variando senoidalmente, ele induz (de acordo com a lei de indução de Maxwell) um campo magnético perpendicular que também varia senoidalmente, e assim por diante. Os dois campos criam continuamente um ao outro por meio da indução, e as variações senoidais dos campos se propagam como uma onda: a onda eletromagnética. Se esse fenômeno espantoso não existisse, não poderíamos enxergar; na verdade, como dependemos das ondas eletromagnéticas do Sol para manter a Terra aquecida, sem esse fenômeno não poderíamos existir (HALLIDAY, RESNICK; WALKER, 2016, p. 35).

A interpretação não é trivial: uma carga elétrica em oscilação constrói um pulso eletromagnético, campos elétricos e magnéticos que se deslocam na velocidade da luz em um meio.

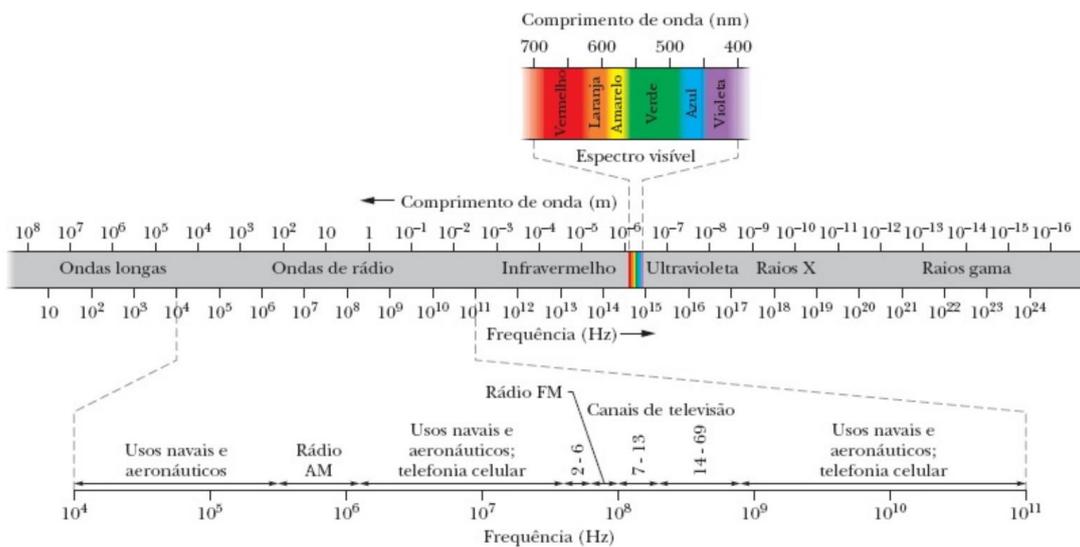
Figura 15: Onda eletromagnética.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 36).

James Clerk Maxwell unificou não só o eletromagnetismo, como também a óptica e a ondulatória, e abriu mais um capítulo dentro do estudo das ciências, dando origem ao espectro eletromagnético.

Figura 16: Espectro eletromagnético.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p. 3).

As ondas eletromagnéticas, conforme mostrado na figura anterior, são classificadas de: ondas longas, ondas de rádio, infravermelho, visível, ultravioleta, raio X e raio gama. Suas aplicações são em diversos campos, tais como: comunicação de rádio por modulação em amplitude (AM), modulação em frequência (FM), telefonia celular e sistemas de navegações navais e aeronáuticos.

No vácuo, as ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma rapidez e diferem entre si nas suas frequências. A classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético. Ondas eletromagnéticas com frequências de vários milhares de hertz (kHz) são classificadas como ondas de rádio de frequência muito baixa. Uma frequência de milhão de hertz (MHz) situa-se no meio da banda de rádio AM. A banda de frequências muito altas das ondas de televisão começa em cerca de 50 MHz, e a de rádio FM vai de 88 a 108 MHz (HEWITT, 2000, p. 473).

Próximas ao centro do espectro eletromagnético, estão as ondas de infravermelho e de espectro visível. As diversas aplicações com a comunicação entre circuitos elétricos utilizando os conhecimentos do infravermelho, por exemplo, é o conjunto aparelho televisor e seu controle, ao pressionar um botão no controle é enviado à televisão uma onda com uma assinatura eletrônica, ou informação, por meio da frequência e a TV interpreta essa frequência como um comando a ser executado.

Depois vêm as frequências ultra-altas, seguidas das micro-ondas, além das quais encontramos as ondas infravermelhas, costumeiramente chamadas de “ondas de calor”. Além dessas, se encontram as frequências da luz visível, que constituem menos do que 1 milionésimo de 1% do espectro eletromagnético medido (HEWITT, 2000, p. 473).

Tendendo à coloração violeta, estão as ondas com grau elevado de energia, que podem causar queimaduras ou ionizar partículas no meio. Esse intervalo do espectro eletromagnético é bastante utilizado nas aplicações médicas (raio X, quimioterapia e radioterapia), bem como na física, na química e na engenharia nuclear.

Frequências ainda mais altas constituem o ultravioleta. Essas ondas de frequência mais alta causam queimaduras à pele. Frequências mais altas, além do ultravioleta, se estendem para as regiões dos raios X e dos raios gama. Não existem fronteiras bem definidas entre essas regiões, que, de fato, se superpõem. O espectro é dividido nessas regiões arbitrárias apenas por razões de classificação (HEWITT, 2000, p. 473).

O papel das atividades propostas no produto educacional que envolve espectro eletromagnético teve o objetivo de englobar as áreas de atuação das ondas eletromagnéticas. Todos os questionamentos partiram do raio de luz, os fótons.

3.2.6 Fótons, hologramas e computação gráfica

Foi visto anteriormente que James Clerk Maxwell determinou que a luz era resultado das interações eletromagnéticas, logo, traduz-se como uma onda eletromagnética. A previsão de Maxwell foi concretizada experimentalmente com Hertz e deu início ao chamado espectro eletromagnético.

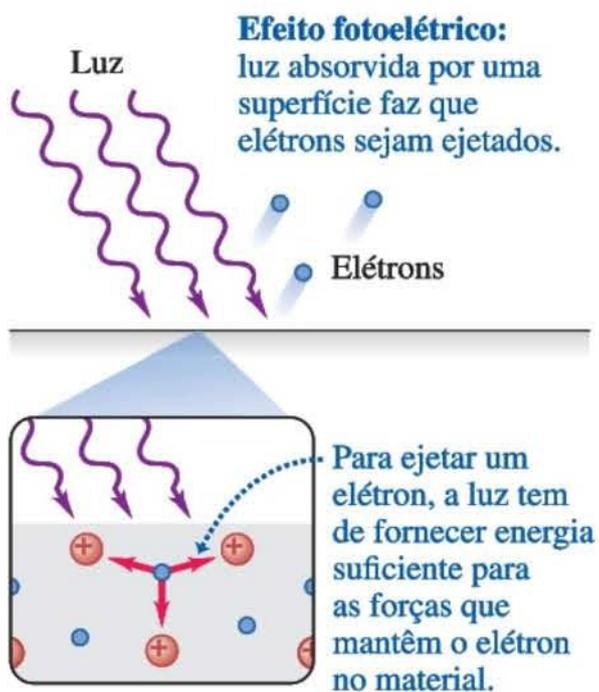
No entanto, quando observamos de perto a emissão, a absorção e o espalhamento da radiação eletromagnética, descobrimos um aspecto completamente diferente da luz. Verificamos que a energia de uma onda eletromagnética é quantizada; ela é emitida e absorvida em pacotes semelhantes a partículas com energias definidas, chamados de fótons ou quanta. A energia de um único fóton é proporcional à frequência da radiação (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 202).

Essa observação ultrapassa o limite da física clássica e inicia sua trajetória na física moderna. De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2016), na virada do século havia problemas que não poderiam ser explicados por meio

dos estudos realizados até então. Dois grandes ícones surgiram para resolver esses problemas: Max Planck e Albert Einstein. Planck observou que a energia era encapsulada em pequenos pacotes, chamados por ele de quantas. Por sua vez, Einstein se debruçou sobre a teoria quântica proposta por Planck para descrever o fenômeno do efeito fotoelétrico.

Suponha que raios de luz sejam direcionados para uma superfície com vários elétrons livres em sua camada de valência, como no caso do ouro (Au). Quando esse raio de luz, que contém vários fótons, adentra a superfície e encontra um elétron livre, esse elétron recebe uma energia que, dependendo de sua magnitude, pode expulsar o elétron de sua camada de valência. Ao ser expulso, esse elétron se torna um fotoelétron: um elétron que recebeu a energia de um fóton e saltou de sua camada de valência, como ilustrado na figura a seguir.

Figura 17: O efeito fotoelétrico.



Fonte: Young e Freedman (2009, p. 203).

Essa energia é suficiente para retirar um elétron da órbita de seu núcleo, que deve ser superior à força de interação do núcleo com o elétron. Albert Einstein resolveu esse problema, postulando que um feixe de luz era composto por fótons, ou quantas de energia, e chegou a uma equação que é uma extensão do trabalho de Max Planck.

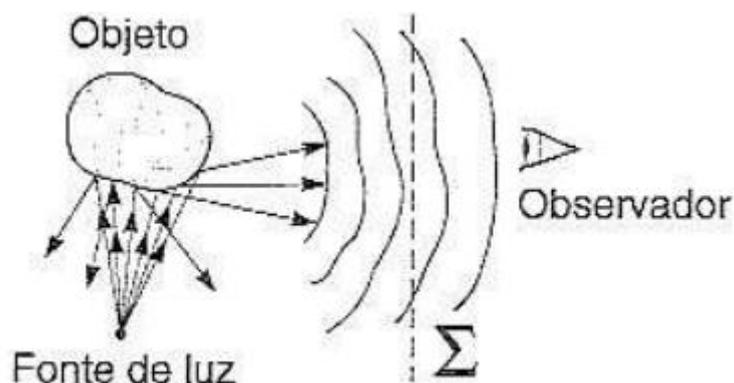
$$E = \frac{hC}{\lambda} = hf \quad (33)$$

Sendo E a energia de um fóton, h a constante de Planck, que equivale a $6,6260695729 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, C a velocidade da luz no vácuo, frequência (f) e comprimento de onda (λ).

[...] **Fótons não são “partículas” no sentido usual** [...] É comum, porém impreciso, visualizar fótons como se fossem bolas de bilhar em miniatura. Bolas de bilhar possuem uma massa de repouso e viajam em uma velocidade mais lenta que a velocidade da luz, enquanto fótons viajam na velocidade da luz e possuem zero massa de repouso. Além do mais, os fótons possuem características de onda (frequência e comprimento) que são facilmente observáveis. O conceito de fóton é muito estranho, e a verdadeira natureza dos fótons é difícil de visualizar de um jeito simples (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 204) [grifo no original].

De acordo com Nussenzveig (2002), os fótons, partícula de luz ou pacotes de energia, são fundamentais para que se registre uma imagem. Por muito tempo, reproduzimos imagens bidimensionais produzidas por meio de chapas, utilizando-se um sistema de lentes. Já no processo holográfico, a imagem conserva suas características tridimensionais, permitindo a reconstrução da luz.

Figura 18: Ideia básica da holografia.



Fonte: Nussenzveig (2002, p. 129).

Dennis Gabor, em 1949, apresentou uma ideia a respeito da captação de informações por meio da interferência causada pelas ondas. Esse grande feito deve-se ao registro das intensidades das ondas, como também de suas fases (GABOR, 1972).

Tentando reconstruir, de forma integral, as frentes de onda advindas do objeto, ao ser projetada, a imagem produz uma sensação visual, que é o próprio objeto – esse foi o primeiro holograma. O termo “holograma” vem do grego e significa “registro completo”, segundo Medeiros (2006).

O empenho de Gabor rendeu a ele o prêmio Nobel de 1971, por meio do qual relatou que a imagem holográfica se dá em duas etapas. A primeira é o registro que inclui a amplitude e a fase de uma onda, obtendo-se um feixe de interferência. Já a segunda etapa é a reconstrução das frentes de onda, utilizando-se uma fonte de luz coerente, como um laser, por exemplo.

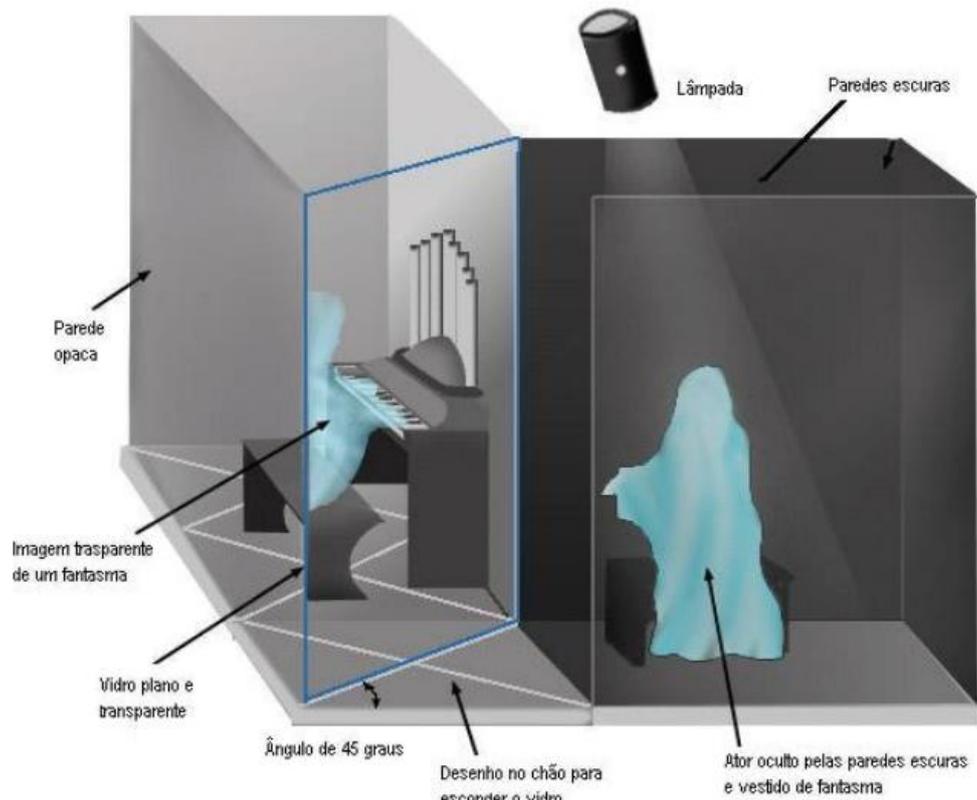
O laser é usado por médicos para fazer microcirurgias, na reprodução do som de um DVD ou blu-ray para ler as informações codificadas em discos compactos, na indústria para cortar aço ou fundir materiais que possuem um ponto de fusão elevado e em muitas outras aplicações (YOUNG; FREEDMAN, 2009, p. 3).

Este trabalho buscou apresentar uma experiência com a imagem virtual projetada, intitulada equivocadamente de pirâmide holográfica. A pirâmide holográfica constrói uma imagem central pelas projeções feitas nas superfícies de suas paredes, quando a luz incide sobre elas.

De fato, ao caracterizarmos as “pirâmides”, inicialmente chamamos atenção sobre sua nomeação equivocada, ao qual a associamos como um holograma. Contudo, as imagens ali observadas tratam-se de projeções bidimensionais que ocorrem nas superfícies, quando a luz incide sobre ela e posteriormente é refletida para os nossos olhos (ARAÚJO, 2018, p. 73).

A pirâmide holográfica é uma técnica conhecida como “o fantasma de Pepper” (MEDEIROS, 2006). Tudo foi desenvolvido no meio teatral para aperfeiçoar o espetáculo. Construiu-se um aparato experimental com uma lâmina de vidro a 45°, que, ao ser iluminada, projetava a imagem da pessoa em outro espaço, parecendo ser um fantasma inserido na cena.

Figura 19: O fantasma de Pepper.



Fonte: Medeiros (2006, p. 336).

Araújo (2018) afirma que um espetáculo que ficou bastante conhecido foi o da mulher gorila, que conta a história de uma mulher que se transformava em um gorila.

Figura 20: Monga, a mulher gorila.



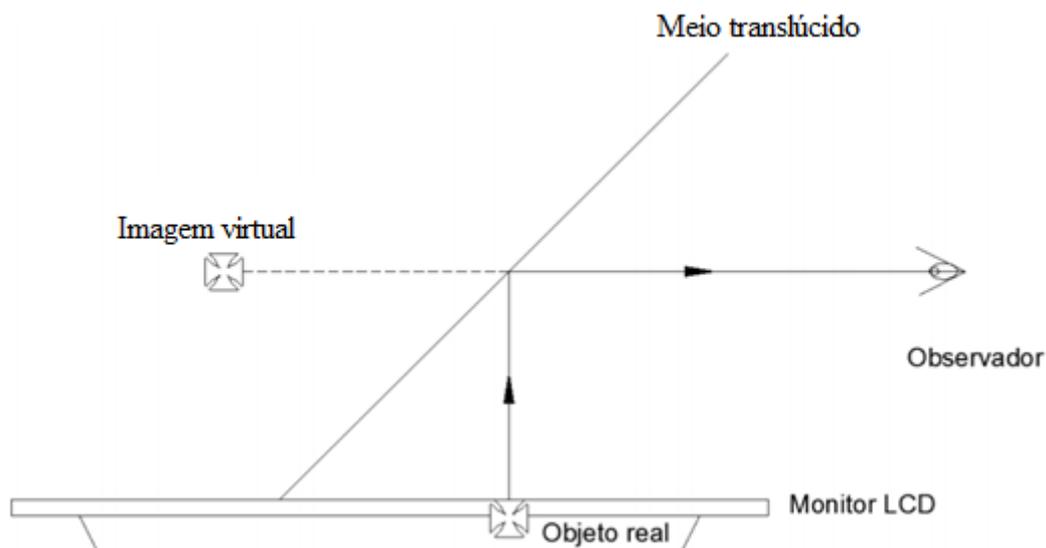
Fonte: Roque (2019, p. 1).

O espetáculo também era um truque de ilusão de óptica derivado dos aperfeiçoamentos de John Pepper, que é uma projeção de luz aplicada em dois meios de diferentes índices de refração, proporcionando a reflexão parcial da luz.

Ele encantou multidões com a aparição de “fantasmas” nos palcos que contracenavam e mesmo se sobrepunham a atores reais. O fundamento físico das projeções assim obtidas, com o dispositivo criado por John Pepper, baseia-se no fenômeno da reflexão parcial da luz nas interfaces entre dois meios com índices de refração diferentes. Quando a luz viaja através de um meio para outro, uma parte dessa luz é transmitida e outra parte é refletida na interface entre os dois meios. As quantidades relativas de luz que são transmitidas e refletidas dependem da razão entre os índices de refração dos dois meios assim como do ângulo de incidência da luz na interface (MEDEIROS, 2006, p. 337).

Com base no mesmo dispositivo de John Pepper, foi construída uma pirâmide holográfica para a assimilação de conhecimentos de óptica e o fortalecimento de conceitos (como reflexão e ângulo de desvio) utilizados no primeiro plano de aula. A figura a seguir ilustra um esquema geral do funcionamento da imagem refletida e direcionada.

Figura 21: Esquema geral das projeções das imagens observadas através das pirâmides “holográficas”.

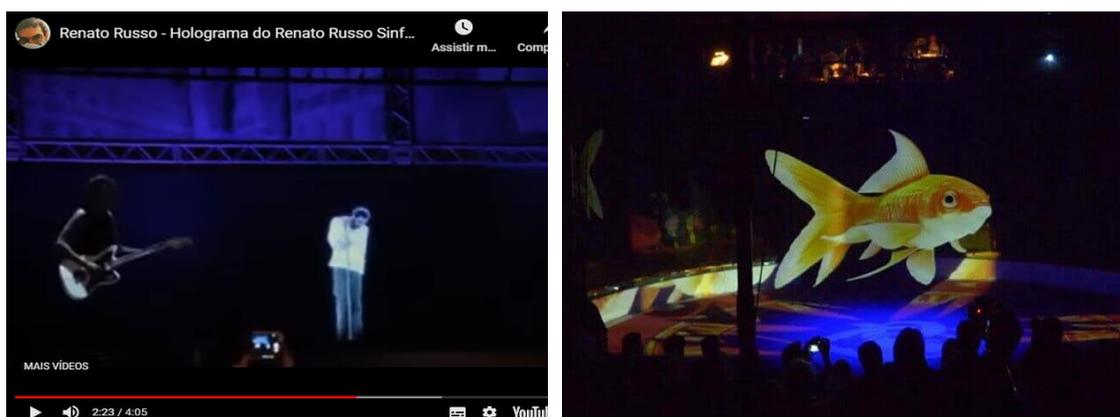


Fonte: Adaptada de Schivani, Souza e Pereira (2018, p. 5).

As pirâmides holográficas são evidenciadas pelo fato de transformarem uma imagem bidimensional em uma ilusão de uma imagem tridimensional. Assim como na pirâmide holográfica, a imagem modelada de forma computacional é descrita erroneamente, pelo fato de haver uma semelhança entre a imagem virtual projetada e a imagem computacional.

A holografia está cada vez mais presente na sociedade, via lazer ou via projeção de imagens (como em pirâmides holográficas). Alguns shows de artistas já falecidos, a exemplo de Tupac, Renato Russo, Cazuza e Amy Winehouse, ocorreram recentemente por meio da holografia (AMY WINEHOUSE..., 2018; ANDRION, 2019). Também circos da Alemanha substituíram os animais de seus espetáculos por animações holográficas (GLETTE, [201-2019]).

Figura 22: Aplicações da holografia em shows e circos.



Fonte: Glette ([201-2019]) e Andrion (2019).

O que difere em ambas as imagens é que a imagem virtual pode ser projetada em um meio material, e a imagem computacional só é explorada em ambiente computacional. No caso das imagens, eram virtuais e projetadas, já as imagens computacionais serão discutidas nas impressões em 3D.

Com intuito de materializar os objetos simulados em ambiente computacional em 3D, a impressora tridimensional facilita o processo de prototipagem rápida. De acordo com Aguiar e Yonezaw (2014), a impressora 3D fomenta muita discussão pela possibilidade de materializar objetos e atender a um público que vai desde crianças até médicos, tornando-a um instrumento importante para a produção de conhecimento.

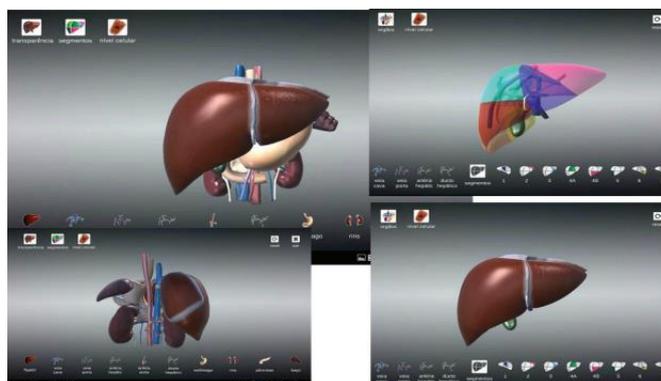
Um dos aspectos que torna a impressão 3D ainda atraente no ambiente escolar é a possibilidade de compartilhar os instrumentos didáticos. Depois que o professor ou o estudante modelou o instrumento em 3D, imprimiu-o e comprovou seu funcionamento, o conhecimento gerado pode ser compartilhado através da internet. Há comunidades virtuais dedicadas ao compartilhamento desses arquivos, como o Grabcad. Essa característica oferece a possibilidade para pesquisadores da área de educação criar instrumentos didáticos e experimentos com a impressora 3D, e junto a um artigo num periódico científico, pode publicar o modelo 3D passando um *link* para outros interessados no uso deste experimento (AGUIAR; YONEZAW, 2014, p. 11).

A impressão em 3D está cada vez mais evoluída. Para que seja realizada a impressão, deve ser feita uma modelagem computacional, a fim de materializar a imagem. Essa imagem computacional pode ser modelada em *softwares* específicos, como o 3D Studio Max, que proporciona ao usuário uma interface interativa para construir projetos com alta qualidade nos efeitos visuais, sendo um dos principais do mercado de animação em 3D.

A modernização dos recursos tecnológicos interativos vem ocorrendo de modo acelerado nos últimos anos. Entre outros elementos, são exemplos de tal evolução a computação gráfica em 3D de alta qualidade, objetos digitais em sistemas computacionais, realidade virtual, jogos interativos e impressoras 3D. (WEN, 2016, p. 9)

Um projeto que aderiu à tecnologia da impressão foi o **homem virtual** da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo (USP). As aulas de fisiologia acontecem em um laboratório virtual, onde todos os estudantes têm acesso a um órgão humano modelado em um *software* como o 3D Studio Max. A Figura 23 apresenta uma imagem da interface desse *software*, com uma representação em animação do fígado humano.

Figura 23: Imagem modelada em 3D.



Fonte: Wen (2016, p. 9).

Wen (2016) relata que o projeto teve início com a facilitação do acesso a impressoras em 3D, tendo em vista a precariedade dos laboratórios de fisiologia e fisiopatologia, onde não era possível realizar aulas práticas.

O capítulo a seguir discutirá a metodologia utilizada na aplicação do produto educacional e unirá o referencial teórico com desta abordagem da luz, tal qual a articulamos. Para que esse emparelhamento seja feito, será construída uma matriz metodológica, que corresponde à combinação dos tópicos do referencial teórico.

4 METODOLOGIA

4.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o ensino de física e de ciências por meio de uma investigação sobre o estudo da luz e de seus impactos tecnológicos cotidianos.

4.1.1 Objetivos específicos

- I.** Desenvolver, de forma categórica, aprofundamentos teóricos das representações da aprendizagem por descoberta e complementar com a metodologia de ensino investigativo baseado em ciências.
- II.** Descrever uma transposição didática dos estudos da óptica, da ondulatória e do eletromagnetismo sobre a interação da luz e seu comportamento em diferentes meios aplicados a recursos tecnológicos cotidianos.
- III.** Implementar uma matriz metodológica aplicada aos pentágonos das aprendizagens com o intuito de facilitar o processo de aquisição de conhecimento, de forma qualitativa.
- IV.** Produzir uma escala avaliativa que descreva o processo de aquisição de conhecimento integrado a inquirições, explorações e explicações.

4.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia proposta busca preencher duas dimensões: 1) metodologia de pesquisa; e 2) metodologia de desenvolvimento e aplicação do produto. A metodologia de pesquisa discutirá as competências quanto à pesquisa, em nível de mestrado, tais como: natureza de pesquisa, abordagem, tipologia e objetivos.

A metodologia de desenvolvimento e aplicação do produto educacional produzirá um aprofundamento visando a sanar os objetivos propostos. A metodologia de desenvolvimento tratará acerca da aplicação do produto educacional: contexto, matriz metodológica, sequência investigativa, construção dos planos de aula, aplicação do produto educacional e conexões realizadas com o referencial teórico.

De acordo com Küller e Rodrigo (2012), a metodologia de desenvolvimento de competências, em uma situação de aprendizagem, ocorre

quando há uma interação entre os educandos e os educadores no exercício de desenvolver uma ou mais competências.

A) Aplicada

A compreensão de Kauark, Manhães e Medeiros (2010) e de Neves e Domingues (2007) sobre pesquisa aplicada diz respeito a gerar conhecimento para a solução prática de problemas específicos envolvidos em verdades e interesses locais. Fontelles *et al.* (2009) complementam que a pesquisa aplicada gera novos processos metodológicos, com resultados imediatos e conectados à situação econômica e à melhoria da qualidade de vida.

Considerando que o presente trabalho possui características de natureza aplicada, o estudo dedicou-se a propor sugestões de melhorias ao processo de ensino e aprendizagem na educação básica, em especial no ensino de física, desenvolvendo uma matriz metodológica com base na teoria da aprendizagem por descoberta e na IBSE, aplicadas ao estudo da luz e a seus impactos cotidianos, com auxílio de experimentações.

B) Abordagem qualitativa

Fontelles *et al.* (2009) descrevem que a abordagem qualitativa busca o entendimento de situações complexas e específicas, prezando pela profundidade da natureza social e cultural. Sobre a abordagem qualitativa, Kauark, Manhães e Souza (2010, p. 26) afirmam que se trata de “um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números”.

É importante lembrar que, no ambiente de aprendizagem, os estudantes não têm tempo extra para desenvolver a atividade e construir analogias que dão indícios de aprendizagem. O tempo curto e a falta de ferramentas psicológicas de resolução de problemas abrem precedentes para a generalização de conceitos. Esse fator pesa bastante no tipo de abordagem, tendo em vista que, em uma abordagem quantitativa, o aluno resolveria o problema de forma numérica.

O presente trabalho se dispôs a desenvolver uma metodologia que ampliasse uma visão geral da luz e de seus impactos tecnológicos, com a finalidade de se atingir uma visualização panorâmica do estudo da luz em

diferentes áreas e contextos. A ênfase deste estudo reside na discussão qualitativa do estudo da luz, de forma geral. Entende-se que uma discussão aprofundada em um ponto específico do estudo da luz pode ser feita qualitativamente, sendo possível migrar para uma discussão sobre os resultados e analisar esses dados de maneira quantitativa.

C) Pesquisa exploratória

Sobre a pesquisa exploratória, Kauark, Manhães e Souza (2010, p. 28) afirmam que ela “objetiva a uma maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito, ou à construção de hipóteses”. Conforme indicado no referencial teórico, o estudante está no centro da aprendizagem, o que o torna um explorador em uma situação que tem como objetivo adquirir conhecimento.

Esse tipo de pesquisa aproxima o pesquisador do objeto a ser pesquisado, e, a partir das análises, é possível obter uma compreensão do problema. Para tanto, de acordo com Fontelles (2009), é necessário fomentar a pesquisa, que deve ser feita pelo docente e na mesma linha do fenômeno de aprendizagem, suscitando discussões sobre o tema a ser explorado.

Ressaltamos novamente que este trabalho se debruçou sobre a teoria da aprendizagem por descoberta. A metodologia é baseada na investigação científica, cujos pilares estão solidificados em busca explorativa, reafirmando o compromisso direto com a pesquisa exploratória com uso de tecnologias.

D) Procedimento de Pesquisa Translacional (PPT) em ensino

Com início nos Estados Unidos, nas áreas de saúde e ciências biológicas, o PPT tem como objetivo fortalecer a tecnologia e construir ferramentas que solucionem problemas, no contexto de um cenário epistemológico.

A pesquisa translacional em ensino tem como objeto o processo de ensino (também chamado de ensino/aprendizagem), que envolve atores diversos, não somente professores e alunos e a intermediação técnica mais apropriada, com interdisciplinaridade. Portanto, a pesquisa translacional em ensino é uma parte importante da pesquisa em educação. (COLOMBO; ANJOS; ANTUNES, 2019, p. 62).

O Procedimento de Pesquisa Translacional retrata seus participantes como atores, podendo ser médicos/pacientes ou professores/estudantes. Utiliza-

se essa nomenclatura para romper a estrutura hierárquica, ou seja, todos são importantes no processo e cada qual tem sua importância. Obviamente, esse “rompimento” da estrutura hierárquica não extingue a autoridade do professor nem dá ao estudante uma autoridade equivalente ao do docente.

As ferramentas desenvolvidas no âmbito do PPT têm característica crítica e transversal, com objetivo de buscar soluções em diversas frentes, desde o suporte em ações básicas até estudos avançados, proporcionando uma aplicabilidade de maior eficiência e eficácia.

4.3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO EDUCACIONAL

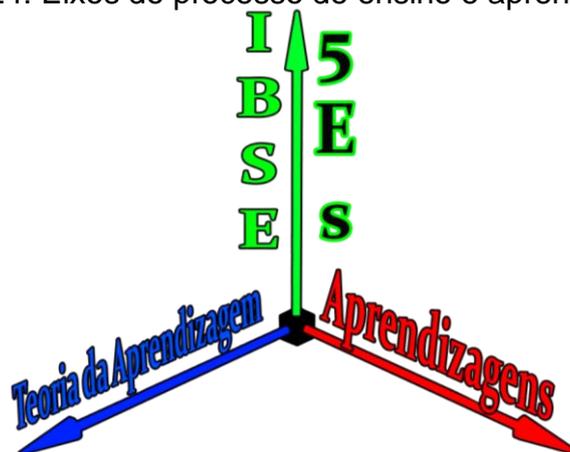
a) Matriz metodológica

O desenho metodológico da aprendizagem investigativa é uma proposta para o ensino investigativo que se compromete a unificar a aprendizagem por descoberta, a metodologia IBSE, o *standard* das aprendizagens e a organização curricular do ensino médio. Para atingir tal feito, foram organizados em um sistema de três eixos: a teoria da aprendizagem, o IBSE (5Es) e as aprendizagens, a fim de visualizar as dimensões do conhecimento. Cada eixo foi descrito em matrizes e denominado de matriz metodológica (MM), que é a soma dos eixos do ensino e aprendizagem. Esse tipo de perspectiva busca

[...] aprofundar o desenvolvimento de uma matriz metodológica capaz de favorecer articulação de saberes diversos e iniciativas de produções acadêmicas conectadas com as mudanças sociais em curso. Esta matriz objetiva equalizar diferentes saberes na produção de uma crítica social mais consistente, favorecendo a organização de redes transnacionais de pesquisadores que possam compartilhar com mais intensidade e profundidade ideias e reflexões (MARTINS; BENZAQUEN, 2018, p.11).

Foi observado pelo autor que as aprendizagens se desenvolviam entre eixos teóricos e metodológicos. A figura a seguir ilustra a condição dos eixos do processo de ensino e aprendizagem.

Figura 24: Eixos do processo de ensino e aprendizagem.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Cada eixo será representado pelos elementos que compõem a teoria da aprendizagem (neste caso, a de Bruner), a metodologia IBSE (5Es) e o *standard* das aprendizagens. Por sua vez, cada elemento de cada eixo será organizado dentro de uma matriz, e o conjunto dessas matrizes ganhou o nome de matriz metodológica. Seu objetivo é ser aplicada em quaisquer áreas do ensino, desde que sejam respeitadas a sua estrutura educacional e as fases de assimilação.

Representando em matrizes, temos: Bruner, Aprendizagens e IBSE (5Es) do tipo (3x1), (4x1) e (5x1), ou seja, todas as matrizes são linhas que podem ser somadas, com o intuito de promover indícios de aprendizagem. Essa soma corresponde a uma concatenação de conceitos que objetiva a promoção uma situação de aprendizagem que envolve o processo da descoberta, as representações da aprendizagem e as habilidades a serem desenvolvidas. A seguir, estão os eixos representados de forma matricial.

$$\text{Bruner} = \begin{bmatrix} \textit{Ativa} \\ \textit{Icônica} \\ \textit{Simbólica} \end{bmatrix}$$

$$\text{Aprendizagens} = \begin{bmatrix} \textit{Personalizada} \\ \textit{Situada} \\ \textit{Colaborativa} \\ \textit{Continuada} \end{bmatrix}$$

$$\text{IBSE (5Es)} = \begin{bmatrix} \textit{Envolvimento} \\ \textit{Exploração} \\ \textit{Explicação} \\ \textit{Elaboração} \\ \textit{Avaliação} \end{bmatrix}$$

Foi nomeada de matriz metodológica a compreensão cartesiana do processo de ensino e aprendizagem, nos eixos aprendizagens, teórico e metodológico somados, conforme mostrado a seguir:

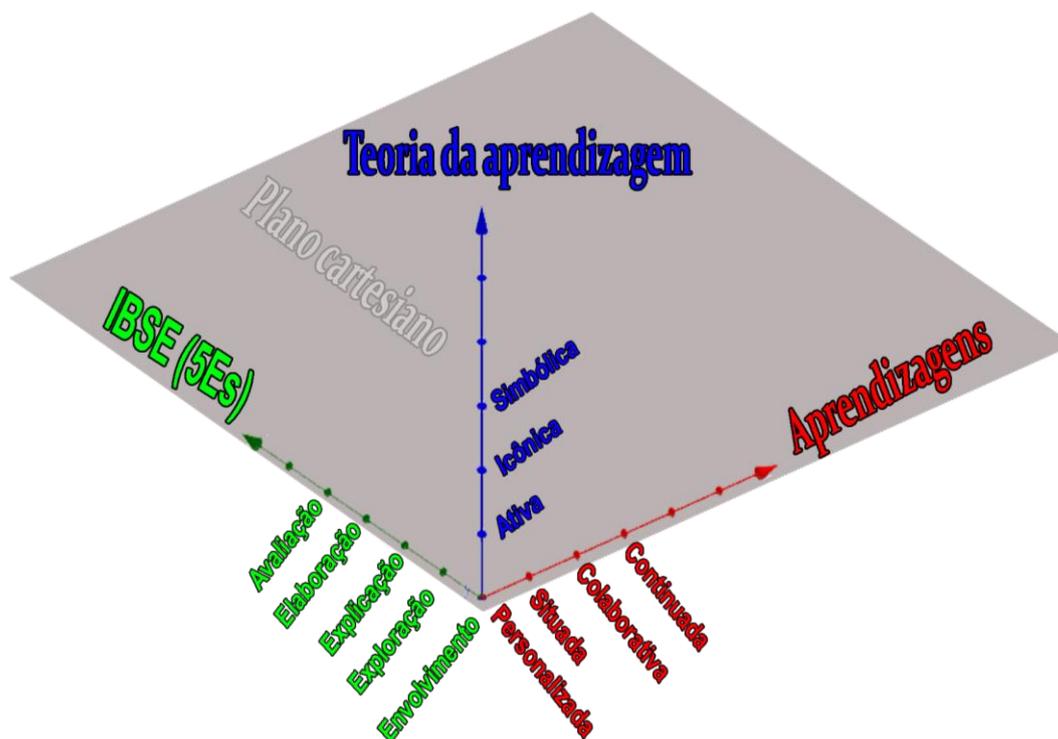
$$\textbf{Matriz metodológica (MM)} = [\text{Bruner}][\text{Aprendizagens}][\text{IBSE (5Es)}]$$

O entrelaçamento possibilita uma conexão linear entre as aprendizagens, a teoria da aprendizagem por descoberta e a metodologia IBSE (5Es), sendo elas organizadas em grupos: 1) Ativa, personalizada e envolvimento; 2) Icônica, situada e exploração; 3) Simbólica, colaborativa e explicação; 4) Continuada e elaboração; e 5) Avaliação.

$$\textbf{MM} = \begin{bmatrix} \textit{Ativa} & \textit{Personalizada} & \textit{Envolvimento} \\ \textit{Icônica} & \textit{Situada} & \textit{Exploração} \\ \textit{Simbólica} & \textit{Colaborativa} & \textit{Explicação} \\ & \textit{Continuada} & \textit{Elaboração} \\ & & \textit{Avaliação} \end{bmatrix}$$

Os grupos criados para compreender as dimensões das aprendizagens teórica e metodológica se organizam em um plano cartesiano tridimensional, no qual há um entrelaçamento entre as dimensões, possibilitando uma aprendizagem investigativa e efetiva.

Figura 25: Plano cartesiano da matriz metodológica.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A matriz metodológica é a organização das dimensões de aprendizagem, representada em um ponto de um plano cartesiano tridimensional. Cada ponto representa a unificação de elementos da aprendizagem, da teoria e da metodologia, sendo possível atingir cinco pontos. A seguir, tem-se uma tabela da matriz metodológica (MM), listando de forma linear os elementos unificados.

Tabela 2: Matriz metodológica (MM).

Bruner	Aprendizagens	IBSE (5Es)
ATIVA	Personalizada	Envolvimento
ICÔNICA	Situada	Exploração
SIMBÓLICA	Colaborativa	Explicação
	Continuada	Elaboração
		Avaliação

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A tabela apresenta uma linearidade entre os três eixos da matriz metodológica; exemplos disso são o planejamento e o foco das aulas. O

professor escolherá qual tipo de representação os alunos poderão adquirir em seu planejamento de aula. Caso escolha que sua turma necessita de uma representação ativa, o docente construirá uma aula com metodologia personalizada.

A construção das aulas pode ser pensada conforme o entrelaçamento das matrizes, desde que seja obedecida a regra matemática que rege as matrizes e os determinantes. Posteriormente, para aferir a efetividade matemática, podem ser testadas todas as combinações possíveis, buscando alcançar exatidão no processo de ensino e aprendizagem.

A seguir, temos um exemplo de entrelaçamento das matrizes Bruner com IBSE (5Es), além de uma possível aplicação.

$$\text{IBSE (5Es)} = \begin{bmatrix} \textit{Envolvimento} \\ \textit{Exploração} \\ \textit{Explicação} \\ \textit{Elaboração} \\ \textit{Avaliação} \end{bmatrix} \text{Aprendizagens} = \begin{bmatrix} \textit{Personalizada} \\ \textit{Situada} \\ \textit{Colaborativa} \\ \textit{Continuada} \end{bmatrix}$$

$$\text{IBSE (5Es), Aprendizagens} = \begin{bmatrix} \textit{Envolvimento} \\ \textit{Exploração} \\ \textit{Explicação} \\ \textit{Elaboração} \\ \textit{Avaliação} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \textit{Personalizada} \\ \textit{Situada} \\ \textit{Colaborativa} \\ \textit{Continuada} \end{bmatrix}$$

$$\text{IBSE (5Es), Aprendizagens} = \begin{bmatrix} \textit{Envolvimento, Personalizada} \\ \textit{Exploração, Situada} \\ \textit{Explicação, Colaborativa} \\ \textit{Elaboração, Continuada} \\ \textit{Avaliação} \end{bmatrix}$$

Tabela 3: Entrelaçamento das matrizes IBSE (5Es), Aprendizagens.

IBSE (5Es)	Aprendizagens
Envolvimento	Personalizada
Exploração	Situada
Explicação	Colaborativa
Elaboração	Continuada
Avaliação	

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No processo de ensino e aprendizagem, ao entrelaçar as duas matrizes (IBSE e Aprendizagens), os estudantes poderão atingir resultados baseados nas representações de Bruner. Dessa forma, observa-se que a teoria de aprendizagem por descoberta de Bruner está implícita na aplicação do entrelaçamento dessas duas matrizes.

Escolheu-se aplicar cada aprendizagem à IBSE (5Es) no discricionário do estudo da luz, entende-se como discricionário o conjunto de conceitos que relacionam as áreas da óptica, ondulatória, eletromagnetismo e aplicações tecnológicas. Com base nisso, organizou-se a tabela da matriz metodológica, conforme a seguir.

Tabela 4: Matriz metodológica aplicada ao estudo da luz.

IBSE (5Es)	Personalizada	Situada
<i>Envolvimento</i>	Raio de luz	Ondulatória
<i>Exploração</i>	Experimentação interação da luz	Simuladores de ondas
<i>Explicação</i>	Relações com o meio	Função de onda
<i>Elaboração</i>	Decomposição da luz	Gaiola de Faraday
<i>Avaliação</i>	Espectro eletromagnético	Wi-fi
IBSE (5Es)	Colaborativa	Continuada
<i>Envolvimento</i>	Eletromagnetismo	Ótica da visão
<i>Exploração</i>	Experimento de corrente induzida	Holograma
<i>Explicação</i>	Ligando o LED	Formação de imagem tridimensional
<i>Elaboração</i>	Bobina de Tesla	Realidade aumentada
<i>Avaliação</i>	<i>Charge Wireless Power Shell</i>	Impressoras 3D

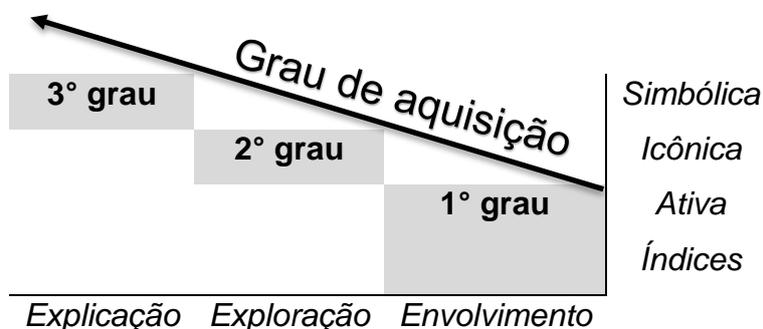
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A matriz metodológica aplicada ao estudo da luz foi dividida em quatro grupos de aprendizagem: personalizada, situada, colaborativa e continuada. Cada grupo de aprendizagem trabalha os 5Es da IBSE. Em relação ao estudo da luz, este também foi dividido em quatro partes: corpuscular, ondulatória, eletromagnetismo e aplicações. Contudo, cada parte terá aplicação direta da IBSE (5Es), com enfoque em uma das aprendizagens.

Quanto ao critério avaliativo, buscou-se apresentar, de forma clara e simples, a existência de indícios de aprendizagem na aplicação da matriz metodológica. Cada aula será avaliada com base nos *standards* das

aprendizagens, e também será avaliado em qual degrau se atingiu a escada avaliativa. A seguir, temos a escada avaliativa e os seus degraus.

Tabela 5: Escada avaliativa.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Avaliação tripla: avalia-se por meio da representação de Bruner, da IBSE (5Es) e do *standard* das aprendizagens. A avaliação será realizada por etapas: 1) aferir a fidelidade ao *standard* das aprendizagens; 2) verificar em qual grau de aquisição encontra-se a resposta; e 3) verificar se o instrumento utilizado foi facilitador do processo de ensino e aprendizagem.

A tabela a seguir discorre sobre as respostas dos alunos quanto à definição de seu grau de aquisição de aprendizagem.

Tabela 6: Descrição das características e habilidades dos graus de aquisição

Grau de aquisição	Característica	Habilidade
1° grau (Ativa, exploração)	Inteligência prática	Estabelecer relevância
2° grau (Icônica, explicação)	Imaginação	Compreensão de conceitos
3° grau (Simbólica, elaboração)	Descrição acadêmica-científica	Expressar novas compreensões
Sem grau	Resposta incoerente/Fuga ao tema.	
Sem resposta	O estudante deixou a resposta em branco.	

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

De forma geral, percebe-se que os ciclos de ensinamentos se organizam em um currículo em espiral, no qual se observa o conteúdo apresentado em nível de grau de aquisição simples a assimilações mais complexas.

Ciclos da IBSE (5Es) – dimensão metodológica: desenvolvem o processo de ensino e aprendizagem em cinco níveis: envolvimento, exploração, explicação, elaboração e avaliação, com objetivo de proporcionar uma investigação aos estudantes. Caso o aluno domine a dimensão metodológica, ele se envolverá com o problema por meio da *investigação*, experimentando ferramentas para colher pistas e explicar a situação com uma linguagem científica. Além disso, o estudante poderá elaborar algo que apresente seu esforço, a fim de avaliar se a aprendizagem foi efetiva.

Ciclos dos standards – dimensão das aprendizagens: quatro tipos de *habilidades* são desenvolvidos no processo de ensino e aprendizagem: autonomia, contexto, gerenciamento e propagação. Caso o aluno desenvolva as quatro habilidades, ele poderá se tornar um profissional autônomo, com facilidade de solucionar problemas em diferentes contextos, gerenciando ideias e propagando seus resultados.

Ciclos de multiletramentos – dimensão das ciências da natureza: descritos em quatro blocos, por meio dos quais se compreende a aplicação da ciência nos processos de: 1) cultura e ética; 2) lógica, análises e representações;

3) transformações e sociedade; e 4) tecnologia, informação e criatividade. Caso o estudante desenvolva a dimensão das ciências da natureza, ele poderá se tornar *multiletrado* nas aplicações científicas.

Ciclos de conteúdo – dimensão disciplinar: é o acesso para ensinar qualquer conteúdo ou *disciplina*, por meio da matriz metodológica.

Ciclos da teoria da aprendizagem por descoberta – dimensão de ensino teórica: compreendida por graus de aquisição, que são três: 1) inteligência prática; 2) inteligência visual; e 3) inteligência auditiva ou imaginativa. Caso o aluno domine essa dimensão, ele poderá desenvolver três formas de aprender: praticando, observando e ouvindo (ou imaginando).

b) Pentágonos das aprendizagens

De acordo com o currículo do ensino médio, percebe-se que temas relacionados à luz não possuem aprofundamento teórico nos pilares da física clássica, que são: a óptica, a ondulatória e o eletromagnetismo; a partir dessa análise, optou-se por desenvolver este produto educacional.

A aplicação do produto educacional dá-se na argumentação relativa à luz e aos seus impactos na tecnologia. Ela é uma proposta de planejamento para uma sequência dividida em quatro aulas; cada aula se desenvolve a partir de um tema gerador: corpuscular, ondulatória, eletromagnetismo e aplicações tecnológicas. Isso possibilita um desenvolvimento macro sobre as discussões que cercam a luz.

O estudo da luz foi dividido de acordo com os seguintes tópicos: 1) a trajetória corpuscular da luz; 2) o comportamento ondulatório; 3) a descrição eletromagnética; e 4) aplicações tecnológicas. Cada um desses tópicos serão temas geradores nos pentágonos das aprendizagens.

Com a matriz metodológica, foi possível aplicar o conteúdo a ser aprendido e, em seguida, organizar os conteúdos nos pentágonos das aprendizagens. Cada pentágono da aprendizagem se propôs a desenvolver a metodologia investigativa com base no ensino científico, na teoria da aprendizagem por descoberta, no *standard* das aprendizagens e nos multiletramentos aplicados aos temas geradores do estudo da luz. O intuito é ampliar o processo de aquisição de habilidades e competências.

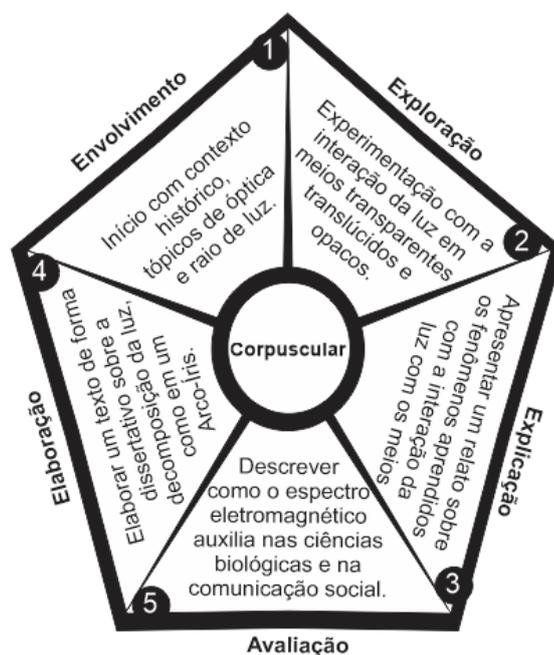
Quanto à organização metodológica, esta foi considerada nos ensinamentos em ciclos. Cada pentágono da aprendizagem representa uma das quatro aprendizagens, assim como na matriz metodológica.

O sólido geométrico pentagonal que representa a aplicação da IBSE (5Es) na aprendizagem personalizada atinge os três eixos da matriz metodológica: 1) desenvolve a aprendizagem personalizada; 2) aplica a metodologia IBSE, trabalhando as cinco etapas; e 3) apresenta a organização curricular prevista por Bruner (1969) e, por consequência, os níveis de representação ativo, icônico e simbólico, conforme a teoria da aprendizagem por descoberta.

O pentágono da aprendizagem personalizada engloba todas as etapas da IBSE (5Es) aplicadas ao estudo da luz, compreendendo sua trajetória corpuscular.

Figura 26: Pentágono da aprendizagem personalizada.

PERSONALIZADA



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Seguindo a discussão do referencial teórico e somando com o conteúdo a ser aprendido, o pentágono da aprendizagem personalizada elucida todas as etapas da IBSE (5Es) aplicadas ao estudo da luz, compreendendo sua trajetória corpuscular.

Envolvimento: buscou-se trazer os estudantes para uma conversa que relacionava o contexto histórico, os tópicos de óptica e o raio de luz. Fator potencializador de motivação individual e coletiva, o envolvimento também tangencia o multiletramento da ciência, da cultura e da ética.

Exploração: fazer com que os alunos explorem os fenômenos óticos por meio da experimentação da interação da luz com os meios transparentes, translúcidos e opacos. Espera-se que os estudantes atinjam o primeiro grau de aquisição, também conhecido como inteligência prática ou representação ativa.

Explicação: com intuito de verificar se os fenômenos de interação da luz com os meios foram compreendidos, o professor deve pedir que os estudantes relatem suas observações. A explicação engloba o multiletramento da lógica, da análise e da representação, no sentido de que o aluno deve argumentar e debater sobre o fenômeno estudado. Espera-se que os estudantes atinjam o segundo grau de aquisição, também conhecido como inteligência visual ou representação icônica.

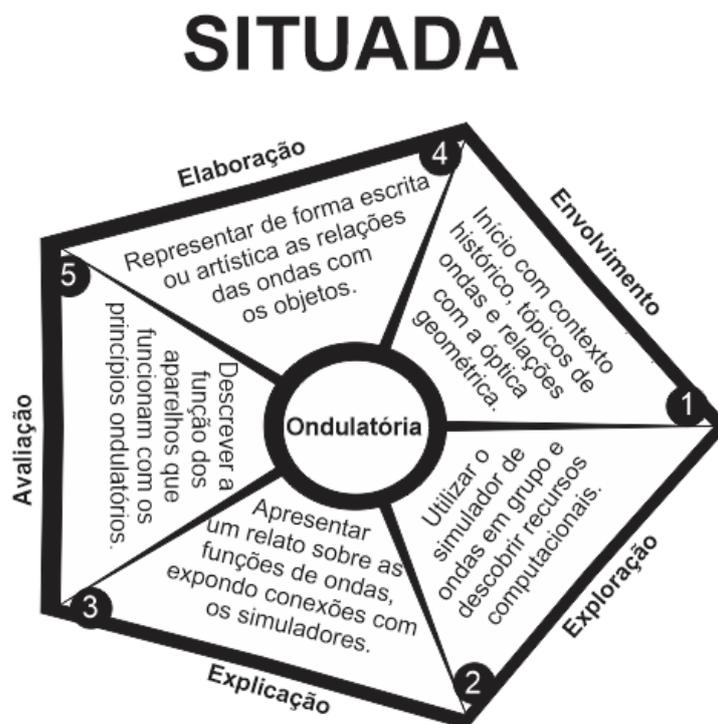
Elaboração: a atividade a ser elaborada pelos alunos é um mecanismo facilitador dos conceitos aprendidos sobre a interação da luz com o meio e descrever, de forma dissertativa, a origem científica do arco-íris produzido pela decomposição da luz. A elaboração associa-se ao multiletramento da natureza, das transformações e da sociedade. Espera-se que os estudantes atinjam o terceiro grau de aquisição, também conhecido como inteligência auditiva ou representação simbólica.

Avaliação: a avaliação proposta pede um grau de aquisição maior entre os fenômenos óticos: o espectro eletromagnético aplicado nas ciências biológicas e na comunicação social. A avaliação busca atingir o multiletramento: cultural, tecnológico, social e lógico.

A aprendizagem personalizada tem como objetivo fazer com que o aluno desenvolva a própria autonomia, ao experienciar os 5Es aplicados à temática da luz, estudada sob o ponto de vista corpuscular. A autonomia é atingida quando os estudantes visualizam o sentido lógico da atividade. Dessa forma, a motivação brota do desejo de aprofundar o conteúdo, fazendo com que o estudante investigue suas indagações e construa suas respostas.

O pentágono da aprendizagem situada dá mais clareza às etapas da IBSE (5Es), no que diz respeito ao comportamento ondulatório, e engloba dimensões culturais, sociais, tecnológicas e lógicas.

Figura 27: Pentágono da aprendizagem situada.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O pentágono da aprendizagem situada utiliza o *standard* da aprendizagem situada. Seu objetivo é desenvolver o letramento científico, buscando uma melhor compreensão dos fenômenos ondulatórios, por meio do uso de ferramentas – nesse caso, o simulador computacional de ondas. O *standard* da aprendizagem situada potencializa o ensino investigativo, por meio da contextualização fenomenológica.

A investigação produzida só será possível no contexto em que a atividade é aplicada. O objetivo de desenvolver uma discussão relativa à ondulatória e analisar com ferramentas da óptica. No geral, espera-se que os estudantes notem a dualidade “onda-partícula” da luz.

Envolvimento: apresentar aos estudantes um contexto histórico no qual é descrito pelo estudo das ondas, buscando relacionar os tópicos de óptica geométrica à ondulatória. O envolvimento atinge o multiletramento da ciência, da

cultura e da ética; duas áreas da ciência são relacionadas às mesmas ferramentas, mas em contextos diferentes – nesse caso, a ondulatória e a óptica.

Exploração: espera-se que os alunos alcancem o primeiro grau de aquisição, a inteligência prática, ao utilizar ambientes simulados computacionalmente para explorar situações reais, de forma controlada. Nessas simulações, serão visualizados os fenômenos de refração, reflexão e absorção, no contexto ondulatório.

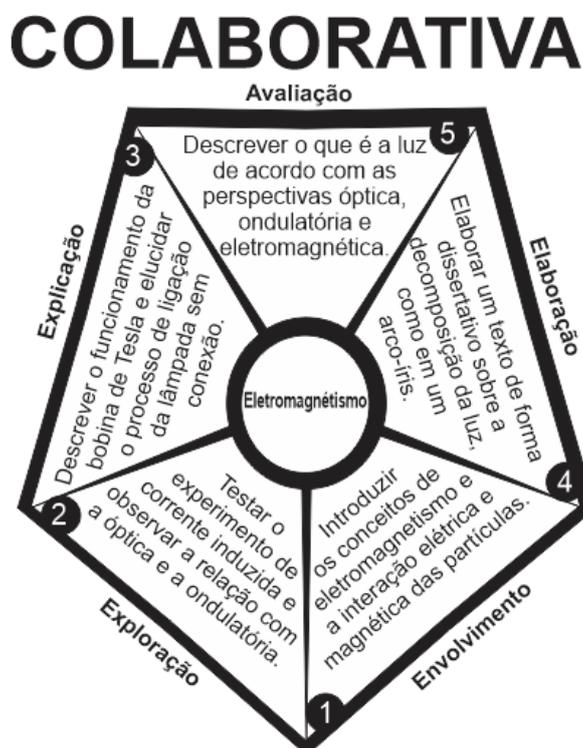
Explicação: aqui, pode ser observado o segundo grau de aquisição, a inteligência visual, em que o estudante relata, de forma dissertativa, o que visualizou. Nesse caso, é necessário que os alunos descrevam a função da onda relacionada ao simulador de ondas. Espera-se que seja alcançado o multiletramento da lógica, da análise e da representação, pois os estudantes têm a oportunidade de observar, pesquisar, perguntar, argumentar, defender e debater acerca das interações das ondas com os objetos.

Elaboração: tem relação com o multiletramento da natureza, das transformações e da sociedade, principalmente no que diz a respeito ao dimensionamento tecnológico das transformações que os estudos das ondas trouxeram para a sociedade (facilitação do processo de comunicação). Assim, planejou-se uma atividade, na forma escrita ou desenhada, sobre os aparelhos que utilizam os princípios ondulatórios. Para tanto, apresentou-se o experimento da gaiola de Faraday, com objetivo de complementar as interações das ondas com os materiais. Espera-se atingir a inteligência auditiva, o terceiro grau de aquisição.

Avaliação: foi proposto, para a avaliação, que os alunos relatassem o funcionamento de eletrônicos que utilizam comunicação sem fio (em especial, o sistema wi-fi). O objetivo é que os estudantes estabeleçam uma relação com a interação das ondas com os objetos, o simulador de ondas e a gaiola de Faraday. A proposta avaliativa almeja atingir os seguintes multiletramentos: cultural, tecnológico, social e lógico. Diante disso, utilizou-se o sistema *wireless*, pois ele abarca as dimensões culturais, sociais, tecnológicas e lógicas, tendo em vista o transporte de informação, a comunicação social, a velocidade de transmissão e a interação das ondas com o meio.

O pentágono da aprendizagem situada elucida todas as etapas da IBSE (5Es) aplicadas ao estudo da luz, compreendendo seu comportamento ondulatório.

Figura 28: Pentágono da aprendizagem colaborativa.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O pentágono da aprendizagem colaborativa retoma a discussão do referencial teórico e metodológico, apresentando o entendimento do eletromagnetismo sobre a interação da luz.

Envolvimento: tangencia o multiletramento da ciência, da cultura e da ética, potencializando o desenvolvimento da linguagem. Apresenta, de forma simples, a natureza elétrica e magnética dos objetos, ressaltando a transição didática das equações de Maxwell. Aqui, busca-se motivar os estudantes por meio de uma construção lógica e experimental do eletromagnetismo.

Exploração: o objeto a ser explorado é o experimento de corrente induzida, que apresentará, visualmente, a conservação de energia mecânica em elétrica. Nesse caso, ao movimentar um êmbolo com um ímã entre espiras de um motor, desenvolve-se uma corrente elétrica induzida, que acenderá um LED. Espera-se que os alunos alcancem o primeiro grau de aquisição, ao compreender a proposta de exploração.

Explicação: atende ao multiletramento da lógica, da análise e da representação, no que tange à explicação experimental do processo de ligação do LED e à conservação de energia. Espera-se que os estudantes atinjam o segundo grau de aquisição, a inteligência visual, ao descrever as observações feitas. A atividade de explicação foi projetada para incentivar o aluno a relatar a situação procedimental do experimento, de forma científica, diferenciando os principais conceitos de eletromagnetismo.

Elaboração: para a elaboração, planejou-se a representação dos fenômenos ondulatórios, explicados por meio de um viés eletromagnético e da bobina de Tesla, que cria um campo elétrico induzido e possibilita ligar uma lâmpada. Espera-se, aqui, alcançar o terceiro grau de aquisição, a inteligência auditiva, pois há uma soma de entendimentos com relação aos fenômenos ondulatórios e eletromagnéticos. A elaboração diz respeito ao multiletramento da natureza, das transformações e da sociedade, principalmente no tocante ao processo de produção e de distribuição de energia elétrica.

Avaliação: intenta atingir o seguinte multiletramento: cultural, tecnológico, social e lógico, ao combinar com o conhecimento do sistema de carregamento sem fio. Espera-se que o estudante tenha domínio do entendimento eletromagnético, ondulatório e corpuscular, a fim de fornecer uma resposta relativa à construção da luz ou para tecer postulações acerca dos fótons.

O pentágono da aprendizagem colaborativa pretende desenvolver uma linguagem que promova a geração e a organização de ideias. Com objetivo de possibilitar um entendimento completo, é necessário o trabalho em conjunto, além de interatividade, compartilhamento e desenvolvimento de conhecimento coletivo, ainda que a proposta avaliativa seja de cunho individual.

Por sua vez, o pentágono da aprendizagem continuada revela as etapas da IBSE (5Es), no que diz respeito ao conhecimento de algumas aplicações tecnológicas, dentre elas: impressora 3D, realidade aumentada e imagem holográfica. Nesse pentágono, compreenderemos as habilidades de recolher, partilhar e desenvolver atividades.

Figura 29: Pentágono da aprendizagem continuada.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O pentágono da aprendizagem continuada tem como foco o desenvolvimento de atividades compreendidas como aplicações tecnológicas. A aprendizagem continuada objetiva recolher, partilhar e desenvolver conhecimentos em atividades específicas que relacionam algumas aplicações tecnológicas, como, por exemplo, imagem holográfica, realidade aumentada e impressora 3D, por meio do desenvolvimento de habilidades. A intenção é armazenar informação, tornando o processo de ensino e aprendizagem uma tarefa individual e em grupo.

O processo de ensino e aprendizagem do pentágono continuado acessa os graus de aquisição produzidos nas outras aulas, a fim de desenvolver as habilidades necessárias para interconectar os pontos “costurados” no estudo da luz (corpúscular, ondulatória e eletromagnética).

Envolvimento: partindo-se da formação de imagem do olho humano, o intuito é promover uma motivação em relação ao ensino de óptica, tendo como base a interpretação científica desse processo. O envolvimento tem relação com o multiletramento da ciência, da cultura e da ética.

Exploração: será realizada com as pirâmides hologramas portáteis. Como explicado anteriormente, a pirâmide holográfica não se enquadra como um holograma, objeto que reproduz uma imagem em 3D por meio da refração produzida no centro. Nesse contexto, espera-se que os estudantes atinjam o primeiro grau de aquisição, a representação ativa. É necessário ter destreza para organizar os lados da pirâmide, o tamanho e a angulação, com objetivo de que a imagem seja projetada e refratada no meio da pirâmide. No momento da exploração, é importante observar a linguagem empregada pelos alunos, procurando compreender se há evidência da apropriação dos conceitos vistos no primeiro pentágono (da aprendizagem personalizada).

Explicação: espera-se que os estudantes alcancem o segundo grau de aquisição, a representação icônica, por meio da descrição verbal e escrita do que foi visualizado. A explicação a ser fornecida pelos alunos é acerca da formação da imagem tridimensional – nesse caso, devem responder que a imagem 3D é resultado da soma de imagens unidimensionais, comparando com a suposta imagem tridimensional. Além disso, os estudantes devem chegar à conclusão de que a imagem da pirâmide holográfica não é 3D, mas, sim, a refração da pirâmide holográfica direcionada ao centro.

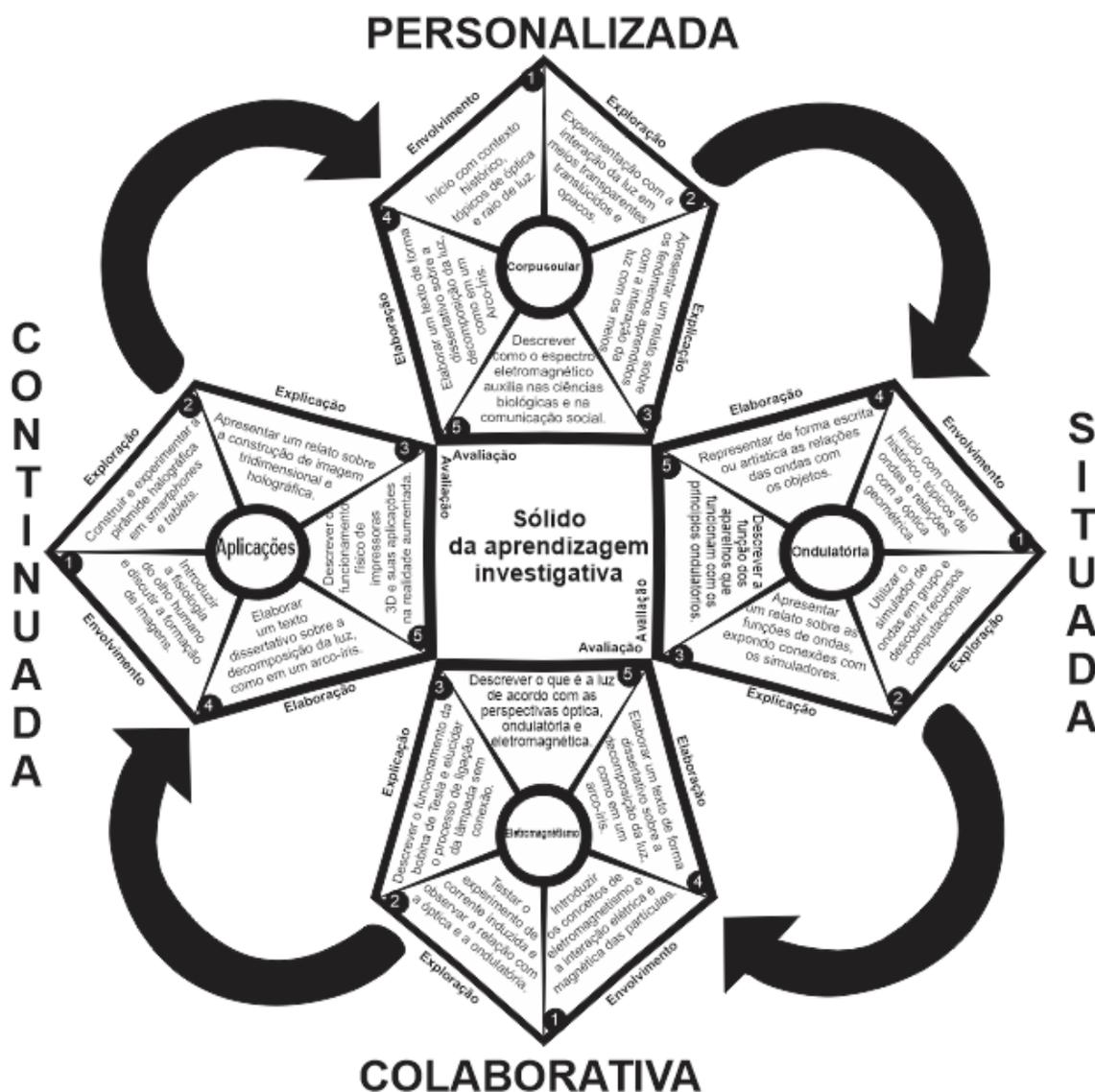
Elaboração: a proposta é dissertar a respeito de como a realidade aumentada contribui para o entretenimento social. O multiletramento a ser alcançado aqui é o seguinte: natureza, transformações e sociedade. Espera-se obter a representação simbólica, o terceiro grau de aquisição, ao imaginar como a propagação da realidade aumentada pode auxiliar a sociedade no entretenimento social.

Avaliação: a proposta almeja atingir o seguinte multiletramento: cultural, tecnológico, social e lógico. A impressora 3D possui um funcionamento eletromagnético em relação ao seu desenvolvimento mecânico, ótico e ondulatório. Para que seja realizada a interconexão entre os temas geradores, os alunos devem interagir com os pentágonos da aprendizagem e utilizar todo o conhecimento aprendido anteriormente. Como proposta avaliativa, espera-se que os estudantes desenvolvam um raciocínio acerca do processo de impressão 3D. Nessa etapa do planejamento, os alunos devem ter condições de descrever

os conhecimentos aprendidos, a partir dos temas geradores: corpuscular, ondulatória, eletromagnética e aplicações.

Apresentando-se todos os pentágonos juntos, tem-se a proposta de análise do processo de ensino e aprendizagem por meio de ciclos: ciclos da IBSE (5Es), ciclos de multiletramentos, ciclos dos *standards*, ciclos da teoria da aprendizagem por descoberta e ciclos de conteúdo. A seguir, apresenta-se um esquema com os pentágonos da aprendizagem investigativa.

Figura 30: Os pentágonos da aprendizagem investigativa.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A figura a seguir apresenta o ensinamento investigativo por meio dos ciclos de ensinamentos. Estão unidos todos os ciclos de forma congênere, e sua

aplicação atende aos cinco conceitos básicos do ensino investigativo: investigação, habilidade, multiletramento, disciplina e aquisição.

Figura 31: O ensino investigativo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Este trabalho almeja contribuir para a melhoria da aplicação metodológica do ensino investigativo. Para atingir tal feito, foi proposta a unificação dos ciclos de aprendizagens. O produto educacional proposto pode ser descrito como o estudo da interação da luz por diferentes enfoques: corpuscular, ondulatório, eletromagnético e aplicações tecnológicas.

O próximo capítulo discutirá a aplicação do produto educacional e, em especial, a justificativa de cada escolha feita em relação a conteúdo, experimentação, método, abordagem e proposta avaliativa.

b) Aplicação do produto educacional

Foi aplicado o produto educacional em uma escola particular do Distrito Federal, localizada aproximadamente 20km da capital federal, em uma turma que foi acompanhada a dois anos pelo professor regente. Essa era a única turma de segundo ano do colégio, com 30 estudantes frequentes.

O período de aplicação foi entre os dias 19 e 22 de novembro de 2019, conforme apresentada no quadro a seguir. As aulas foram agrupadas em uma semana e foi necessário utilizar aulas de outras disciplinas, para que fosse possível essa aplicação. Também foi articulado com a escola que fosse realizadas essas regências complementares (contraturno) com o objetivo de ampliar os conhecimentos sobre o estudo da luz no 2º ano do ensino médio.

Quadro 4: Organização das aulas complementares e reposições de Física no 2ª Série do Ensino Médio.

Datas	Aulas	Horário	Dia da Semana	Aula de:	Precisa de substituição?
19/11	Natureza Corpuscular da luz	5° e 6°	Terça-Feira	Física	Não
20/11	Natureza Ondulatória da Luz	5° e 6°	Quarta-Feira	Física e Espanhol	Sim, 1º ano
21/11	Onda eletromagnética	1° e 2°	Quinta-Feira	Matemática	Não
22/11	Aplicações da luz no cotidiano	2° e 3°	Sexta-Feira	Geografia	Não

Fonte: Documentos internos: Organização de aulas complementares.

Houve uma grande resistência para que se pudesse aplicar esse produto educacional na escola por conta do calendário elaborado e do currículo do ensino médio. A escola encontrava-se nas datas finais de fechamentos de notas e a aplicação do produto trouxe incertezas para os estudantes e o corpo diretivo da escola; vários estudantes decidiram se ausentar da aula de física por diversos motivos, e entre eles estão: já estava aprovado em física, necessitava de dedicação em outra disciplina, viagem, entre outros. Não foram atribuídos pontos adicionais pela participação nas atividades, o que, em parte, explica o significativo número de ausências em algumas delas.

Sobre o perfil, são estudantes que estão sendo acompanhados há dois anos e se mostram, em grande maioria, empenhados e responsáveis nas aulas de física. Nesse grupo, há alunos que têm desenvoltura em ciências exatas e possuem bastante criatividade. Outra parcela tem uma grande dificuldade em física e não apresentam interesse nas aulas.

produto educacional foi escolhido para se aplicado nessa turma através de um consenso entre orientador e orientando, tendo pesado o tempo em que a turma era acompanhada e o nível de ensino – as turmas envolvidas eram as turmas do 9º ano e a turma do 2º ano. É importante ressaltar que os estudantes possuem acesso a computadores e internet móvel no ambiente escolar, além de uma gama de livros didáticos e sala de estudos.

O perfil da escola é caracterizado pelo conteudismo, prezando muito pela resolução de exercícios em massa e aprovação nas principais bancas como ENEM, vestibulares como o da Universidade de Brasília (UnB) e o Programa de Avaliação Seriada (PAS), também da UnB. Alguns meses antes da aplicação do produto educacional, houve a venda da escola e o novo dono modificou partes do corpo docente e da coordenação pedagógica, um dos motivos pelo atraso da aplicação do produto educacional na escola. É importante ressaltar que a escola contém suporte para aderir a novas metodologias de aprendizagem, possui um ótimo sistema de internet wireless e é equipada com laboratórios de ciências, informática e robótica; contém, também, um amplo espaço para que se possa desenvolver atividades de diversas naturezas.

Um relato do professor é que as aulas foram totalmente diferentes das aulas que haviam sendo aplicadas durante o ano letivo; alguns estudantes corroboram essa percepção, dando feedbacks sobre as atividades. Um dos pontos a serem ressaltados é que o ensino de física não deve dissociar a teoria da prática, sobretudo pela necessidade de ressignificação dos conceitos. Durante o ano, os estudantes tiveram acesso a uma grande parte do conteúdo abordado no produto educacional, mas só foi entendido a importância do conteúdo quando houve uma experimentação envolvida. Como já foi explicado neste trabalho, houve o processo de representação icônica do conhecimento explorado.

No próximo capítulo, serão apresentados os dados obtidos a partir da aplicação do produto educacional, com ênfase na avaliação das atividades e nas respostas dos estudantes.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A proposição educacional (Apêndice 1 a 4) constitui-se de quatro aulas, envolvendo tópicos de óptica, ondulatória e eletromagnetismo, aplicada ao segundo ano do Ensino Médio de uma escola privada do Distrito Federal, no período de 19 a 22 de novembro de 2019. Ela se constitui de planos de aula, todos eles referenciados no modelo de Ferreira e Silva Filho (2019). Os detalhes da composição dessas aulas encontram-se no referido Apêndice. A seguir, nos ocupamos de descrever e analisar os resultados dessa aplicação, na perspectiva de avaliar a interconexão entre os fundamentos teórico-metodológicos que apresentamos e a aprendizagem dos alunos, tal qual a concebemos a partir do referencial elegido.

A matriz metodológica aplicada à investigação da luz nos encaminhou a quatro encontros, e em cada um deles falou-se sobre as características fenomenológicas da luz e suas aplicações. Participaram 24 estudantes, do total de 30 matriculados na turma. A tabela a seguir apresenta o percentual de alunos que participaram das aulas e a média da participação da turma.

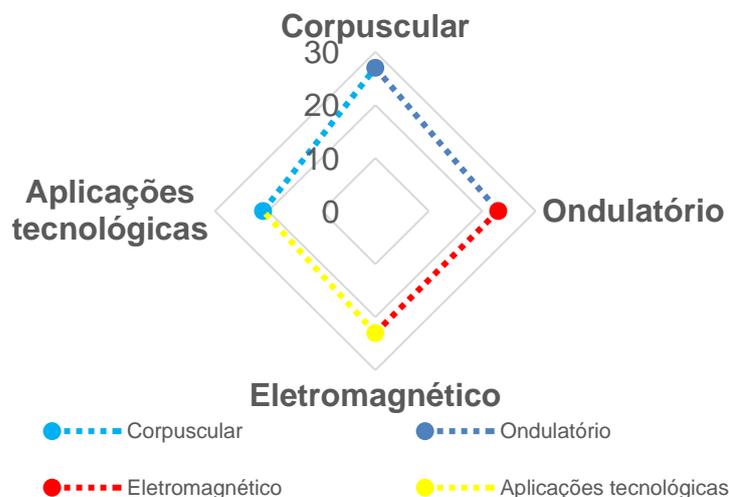
Tabela 7: Participação média da turma.

SEQUÊNCIA DE AULAS	TOTAL	PORCENTAGEM
CORPUSCULAR	27	90,00%
ONDULATÓRIO	23	76,67%
ELETROMAGNÉTICO	23	76,67%
APLICAÇÕES	21	70,00%
TECNOLÓGICAS		
MÉDIA DE PARTICIPAÇÃO	24	78,33%

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A plotagem a seguir foi construída de acordo com a tabela de participação média da turma. Ela apresenta, em seu centro, o número zero de participantes e, em suas pontas, o valor máximo (100%). Em nenhum dos encontros propostos houve o número máximo de alunos matriculados.

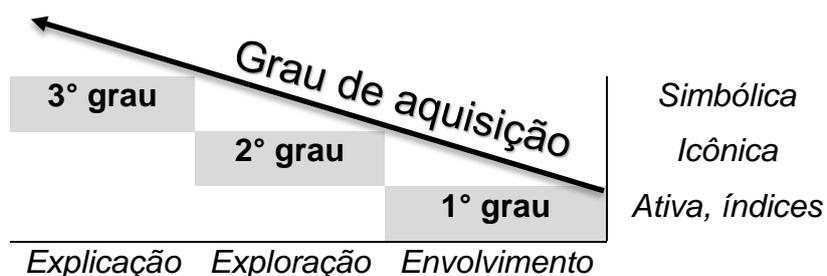
Gráfico 1: Participação média da turma.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quanto ao critério avaliativo, buscou-se apresentar, de forma clara e simples, a existência de aprendizagem ao aplicar a matriz metodológica. Cada aula será avaliada de acordo com os *standards* das aprendizagens, bem como pelo degrau atingido na escada avaliativa. A seguir, está ilustrada a escada avaliativa e seus degraus.

Figura 32: Escada avaliativa.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Avaliação tripla: avalia-se por meio da representação de Bruner, pela IBSE (5Es) e por meio do *standard* das aprendizagens. A avaliação será realizada por etapas: 1) verificar a fidelidade aos *standards* das aprendizagens; 2) verificar em qual grau de aquisição encontra-se a resposta; e 3) verificar se o instrumento utilizado foi facilitador do processo de ensino e aprendizagem.

Quanto aos graus de aquisição, foi disposta uma tabela incluindo, em cada grau, a característica apresentada pela aprendizagem e a forma de desenvolvimento expressa pelos estudantes.

Tabela 8: Descrição das características e desenvolvimento dos graus de aquisição.

Grau de aquisição	Característica	Desenvolvimento
1° grau (Ativa, exploração)	Inteligência prática	Estabelecer relevância
2° grau (Icônica, explicação)	Visual	Compreensão de conceitos
3° grau (Simbólica, elaboração)	Imaginação Acadêmica-científica	Expressar novas compreensões
Sem grau Sem resposta	Resposta incoerente/Fuga ao tema. O estudante deixou a resposta em branco.	

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Grau de aquisição: associa-se a três condições, que incluem: 1) ativa, exploração; 2) icônica, explicação; e 3) simbólica, elaboração. Em cada condição, há um elemento da teoria da aprendizagem por descoberta e um da metodologia IBSE.

Característica: ao atingir um grau de aquisição, será fornecida uma característica, que poderá ser expressa por inteligências na forma prática, visual e imaginária. A forma prática sugere que o indivíduo aprende algo praticando em uma experimentação ou montagem; a forma visual tem por característica a reprodução de algo que foi visto, nesse caso, o estudante consegue reproduzir uma situação vivenciada; e a forma imaginária se caracteriza pela imaginação, ou seja, o aluno produz uma solução mentalmente e a expressa por meio da linguagem.

Desenvolvimento: no primeiro grau, será estabelecida uma relevância quanto ao objeto ou estudo analisado. Essa importância ou exploração fenomenológica poderá ser expressa como inteligência prática. O desenvolvimento da inteligência visual poderá se destacar na apresentação dos

conceitos, nesse caso, o estudante visualiza a situação de estudo e consegue descrever o que foi visualizado. O último grau desenvolve uma solução para o fenômeno, nesse caso, o aluno imagina o que foi estudado em uma situação; essa inteligência é a imaginativa.

O quadro a seguir relata as atividades avaliativas em função dos graus de aquisição:

Quadro 5: Classificação das respostas por aula.

Classificação	Título	Sem resposta	Sem grau	Grau 1	Grau 2	Grau 3
Corpuscular	<i>Interações</i>	3	0	11	16	0
	<i>Dispersão da luz</i>	9	0	0	11	10
	<i>Espectro eletromagnético</i>	8	9	0	0	7
Ondulatória	<i>Função de onda</i>	7	7	11	3	2
	<i>Gaiola de Faraday</i>	5	6	8	6	2
Eletromagnética	<i>Bobina de Tesla</i>	7	0	0	10	13
	<i>Receptores e transmissores de sinal</i>	6	10	0	14	0
	<i>Descrição da luz</i>	3	14	6	5	2
Aplicações tecnológicas	<i>Imagem 3D</i>	9	6	9	5	1
	<i>Realidade aumentada</i>	9	7	5	2	7
	<i>Impressora 3D</i>	8	10	4	3	5

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

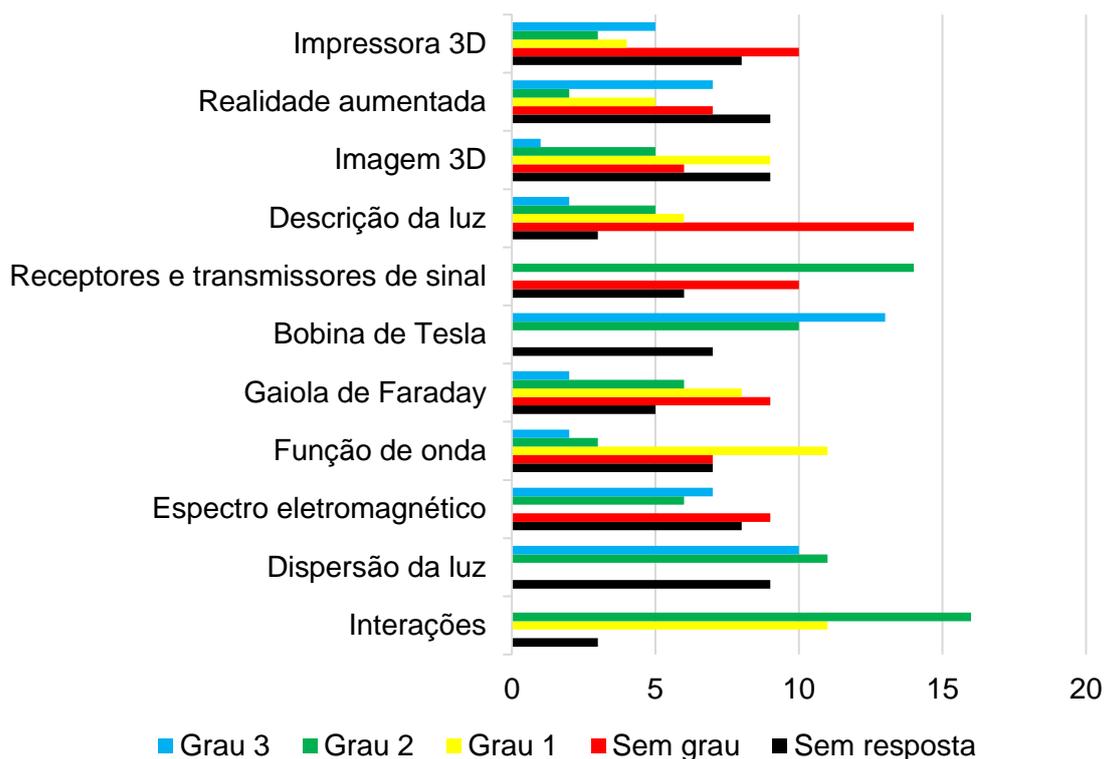
O quadro de classificação das respostas por aula foi dividido em quatro partes, quatro aulas. Cada subquadro e cada aula contêm o tema gerador da aula aplicada e as atividades avaliativas em função dos graus de aquisição. O quadro considerou todos os estudantes que estão matriculados, logo, aqueles que faltaram à aula na ocasião e/ou não responderam à atividade avaliativa foram direcionados ao campo “Sem resposta”.

O campo “Sem grau” foi atribuído aos alunos que não se enquadraram em nenhum dos graus de aquisição por meio de suas respostas. Para esse campo, foram realocadas todas as respostas que fugiram ao tema e/ou não previstas na pesquisa.

O gráfico a seguir revela a descrição geral das avaliações e as falhas ocorridas no processo avaliativo, podendo ser: de estrutura, elaboração ou

execução da atividade. É compreendida como problema estrutural a atividade que não atinge os critérios da avaliação tripla – esse caso remete à falta de elementos que estruturam o processo avaliativo. A avaliação pode ter falhas quanto à elaboração da atividade, às características de professores e alunos, ao contexto, ao fato de não englobar adequadamente o problema etc.

Gráfico 2: Classificação dos graus de aquisição sobre o estudo da luz e suas interações com o meio.



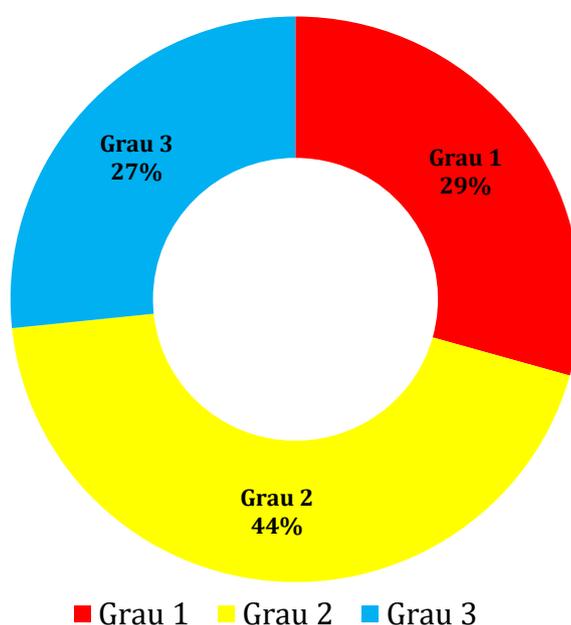
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O resultado “Sem grau” expresso pela plotagem pode especificar o motivo do resultado oposto ao esperado, por exemplo, nota-se que há na atividade descrição da luz que 47% dos estudantes não se enquadraram em nenhum dos graus de aquisição esperados. Esse resultado demonstra que a proposta não foi transposta para um método de fácil abstração, ou seja, supõe-se ter havido uma falha de elaboração, o que prejudicou o entendimento da atividade.

Um resultado contrário a esse foi o da atividade relativa às interações da luz, que obteve a classificação de 83% dos estudantes entre os graus de aquisição 1 e 2.

Por meio de uma análise visual da aplicação do produto educacional, é possível perceber que houve uma média em relação a atingir os graus de aquisição. Quanto à transformação de uma avaliação qualitativa para critérios quantitativos da turma: foi somada a quantidade de alunos que atingiu cada grau de aquisição em cada avaliação proposta e foi tirada a média de cada estudante em um bloco de desenvolvimento, logo, obteve-se um percentual de cada degrau. Para cada degrau, foi acrescida uma nota de 0 a 10 pontos, conforme a média dos graus de aquisição apresentada a seguir.

Gráfico 3: Quantificação média dos graus de aquisição.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A média dos graus de aquisição avalia a aplicação do produto educacional como um todo, por meio das avaliações dos estudantes. Nesse caso, o gráfico classificou como acima da média o método utilizado no estudo da luz e suas aplicações. Isso pode ser considerado um alerta aos possíveis próximos aplicadores que utilizarão a referida temática em conjunto com a metodologia. Nesse sentido, pode ser necessário reavaliar algumas atividades desse produto educacional, com intuito de aumentar a média e aprimorar o processo de ensino e aprendizagem.

Quanto à visão dos alunos acerca do produto educacional, o mediador solicitou que relatassem o processo de aplicação e a utilização da metodologia, escrevendo em um papel e colocando em um recipiente escolhido pelo professor; não era necessário se identificar. Foram separadas algumas respostas, que estão inclusas em três categorias de *feedback*: positivo, negativo e “sem resposta”. A seguir, apresentaremos alguns relatos.

Um dos estudantes, 1A1, relatou, de forma positiva, que gostou das aulas, disse que estão mais dinâmicas: “Sobre as aulas de física, eu gostei, pois foram aulas diferentes e dinâmicas; a aula que eu mais gostei foi a aula que falava do Tesla, achei muito interessante”.

Outro aluno, 1A2, descreveu que as aulas se tornaram mais interativas. Ele citou como exemplo a montagem do holograma: “Em relação às últimas aulas, achei que houve uma melhora com a aprendizagem, pois as dinâmicas feitas em aula, como a montagem do holograma, deixam as aulas mais interativas”.

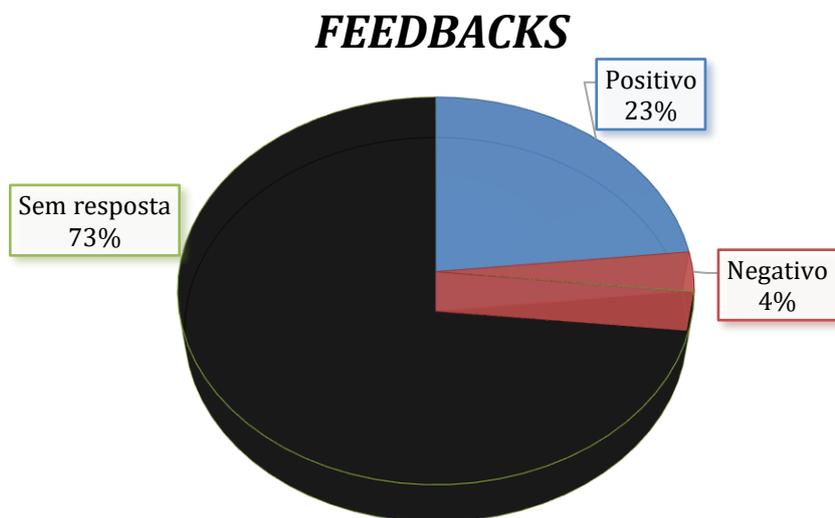
A resposta do próximo estudante, 1A3, foi a seguinte: “Eu gostava mais ou menos”. O aluno apontou como fatores positivos os vários conteúdos, que, em sua visão, foram interessantes. No entanto, ele julgou negativo o modo com que a escola organizou a aplicação do produto educacional. Em relação a esse ponto, a instituição compreendeu que deveria ser aplicado na mesma semana, a fim de não prejudicar o estudante em física e/ou em outras disciplinas. Dessa forma, a escola cedeu os primeiros horários para a aplicação do produto educacional.

Eu gostei mais ou menos das aulas, o lado bom foi que os conteúdos das aulas eram bastante interessantes, aprendi sobre eletromagnetismo, espectro de luz, entendi como um campo eletromagnético gera energia com uma bobina com um ímã, os hologramas também muito interessantes. O lado ruim foi que a outra metade da sala faltou descer para a sala de estudos, também o projeto pegou algumas aulas de outros professores, que nessas aulas os professores podiam olhar os cadernos ou passar revisão para o simulado, acho que o projeto deveria ser feito antes. (1A3)

De maneira geral, foram classificados pelos alunos os seguintes relatos quanto à aplicação do produto educacional: 73% da turma não

respondeu; 23% compreendeu como positiva a aplicação do produto educacional, em detrimento da metodologia; e 4% descreveu como negativa a aplicação do produto.

Gráfico 4: *Feedbacks*.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Em resumo, o produto educacional aplicado em uma turma com 30 estudantes, em média, gerou um bom aproveitamento. Em uma escala de 0 a 10 pontos, obtivemos 5,58 pontos, além da aprovação de 23% dos alunos, que deram *feedback* positivo quanto à aplicação do produto educacional.

A próxima seção apresentará uma análise das atividades propostas pelo produto educacional e descreverá o grau de aquisição produzido a partir das respostas. A nomenclatura empregada, a partir desse ponto, discrimina grupos, avaliações e outros, como, por exemplo, 1G2, em que o número 1 representa a aula aplicada – nesse caso, a primeira aula; caso se iniciasse em 2, estaria se referindo à segunda aula. A letra G caracteriza o grupo – se fosse a letra A, estaria se referindo à avaliação; e o número 2 representa a resposta em sequência.

5.1 ANÁLISE DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

Esta seção discute as propostas avaliativas desenvolvidas pelo produto educacional. São oito subtópicos, que analisam as respostas dos estudantes, em detrimento da avaliação tripla. Cada plano de aula desenvolveu

uma avaliação geral, além de avaliações de conteúdo e experimental. A tabela a seguir informa todas as propostas avaliativas, divididas por seu tema gerador, que são os enfoques desenvolvidos por aula.

Tabela 9: As propostas avaliativas.

Tema gerador	Conteúdo	Experimentação	Geral
Corpuscular	Interações	Dispersão da luz	Espectro eletromagnético
Ondulatório	Função de onda	Gaiola de Faraday	
Eletromagnético	Bobina de Tesla	Receptores e transmissores de sinal	Descrição da luz
Aplicações tecnológicas	Imagem 3D	Realidade aumentada	Impressora 3D

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Os próximos subtópicos seguirão a ordem do tema gerador, nesse caso, serão apresentadas todas as propostas avaliativas da luz, estudada sob o ponto de vista da óptica corpuscular.

I. Pesquisa realizada a respeito da óptica e da dispersão da luz

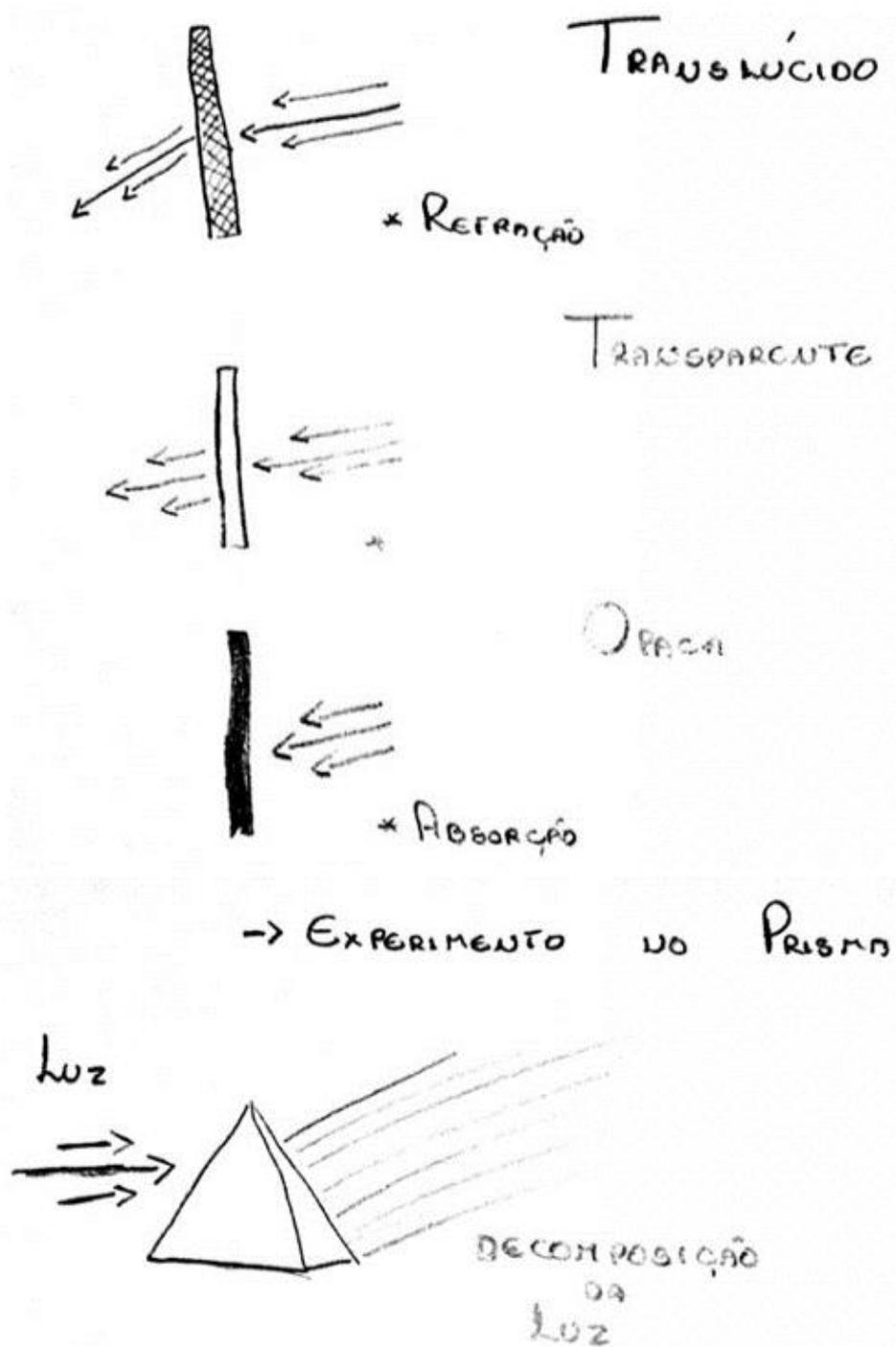
Após o mediador apresentar o experimento de interação da luz com os materiais transparentes, translúcidos e opacos, foi pedido que a turma se organizasse em grupos para que uma pesquisa fosse feita. Os resultados foram discutidos e escritos, comparando-os com a visualização da experimentação.

A pesquisa girava em torno do que foi experimentado: a interação da luz com o meio e a dispersão da luz. A figura a seguir apresenta o sincronismo entre o fenômeno e os resultados dos grupos 1G1, 1G2 e 1G3.

Todos os grupos realizaram suas pesquisas e entregaram sua resposta acerca da interação da luz com os materiais. Os três grupos demonstraram ter atingido a inteligência visual, pelo fato de experimentar, descrever o que foi visto e relacionar com suas pesquisas.

Vários estudantes optaram por responder como que ocorre a interação da luz com os materiais e a dispersão da luz de forma artística, por meio de desenho. Outros desenvolveram sua resposta de maneira dissertativa.

Figura 33: Resposta produzida pelo grupo 1G1 acerca da interação da luz com a matéria e da dispersão da luz.



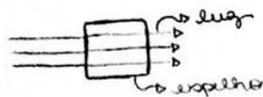
Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Todos os grupos apresentaram ideias semelhantes a respeito da interação da luz com a matéria e da dispersão da luz. Uns consideraram que a explicação ficaria mais compreensível por meio do desenho, como os grupos 1G1 e 1G2. Eles apresentaram, em seus desenhos, os fenômenos de refração, absorção e dispersão. Também representaram o raio de luz como seta, deslocando-se de forma linear. Outros desenharam que, quando a luz muda de meio, sua trajetória também é modificada.

Figura 34: Resposta produzida pelo grupo 1G2 sobre a interação da luz com a matéria e a dispersão da luz.

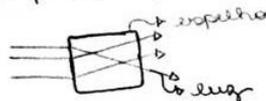
→ **Transparente:**

Nos meios transparentes não há meios em que a luz se perca em trajetórias bem definidas.



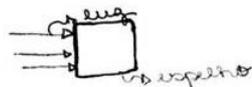
→ **Translúcido:**

Nos meios translúcidos a luz não passa por eles com tanta facilidade como nos meios transparentes, sua trajetória não é regular.



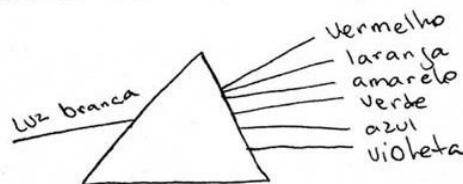
→ **Opaco:**

Nos meios opacos a luz não se propaga.



→ **Decomposição da luz branca:**

No prisma, a decomposição da luz branca é mais acentuada pelo fato de ela sofrer duas refrações, visto é, ela sofre a refração na primeira face e posteriormente na segunda face.

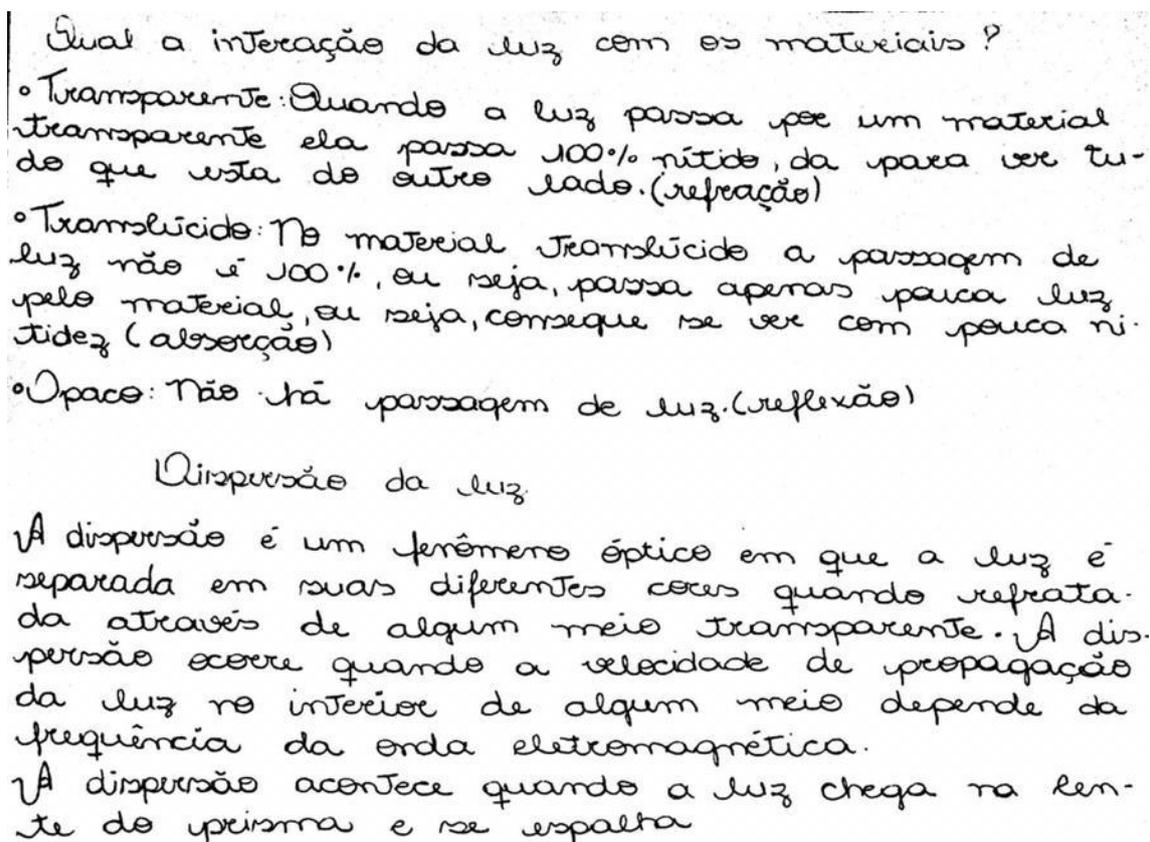


Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Essas observações apontam indícios de que houve aprendizagem e, nesse caso, uma aprendizagem por meio de representação icônica, em que os indivíduos traduziram seus pensamentos e materializaram na forma de desenho, que é a transcrição iconizada do que foi aprendido. O que ratifica esses indícios de aprendizagens pendendo para a representação icônica é a aproximação do estudante à explicação de um fenômeno visual; nessa situação, o aluno atingiu o segundo grau de aquisição.

Houve representações escritas, 1G2 e 1G3, que conectaram vários pontos-chaves tratados por Bruner como um desdobramento da representação ativa. O 1G2 descreve, de forma clara, simples e objetiva, que a interação da luz com o meio depende das características do meio, ressaltando que, quanto mais transparência o meio possuir, melhor será a passagem da luz por ele; por outro lado, quanto mais homogêneo for, menos refrações serão sofridas pela luz.

Figura 35: Resposta produzida pelo grupo 1G2 sobre a interação da luz com a matéria e a dispersão da luz.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

As respostas coerentes dos estudantes estão próximas de uma resposta esperada, no entanto, para que estejam de acordo, os alunos devem fortalecê-las com indícios de uma representação simbólica, o que, nesse caso, deveria ser uma discussão mais profunda de como ocorre essa interação de forma microscópica, por exemplo.

Os alunos conseguiram diferenciar alguns conceitos, empregando-os coerentemente, conforme relato do grupo 1G3: “A dispersão da luz ocorre quando a velocidade de propagação da luz no interior de alguns meios depende da frequência da onda eletromagnética”. Eles apresentam informações coerentes acerca da luz e de sua decomposição; há, por exemplo, a afirmação de que a luz é uma onda eletromagnética que, quando muda de meio, modifica sua velocidade de propagação, gerando frequências de ondas de luz com comprimentos específicos que ressaltam as cores, como foi mostrado pelo grupo 1G2 no desenho de dispersão da luz.

Assim que completou essa atividade de pesquisa e a descrição dos fenômenos vistos por meio da experimentação, o mediador seguiu a matriz metodológica e passou um vídeo que explica o espectro eletromagnético.

II. Espectro eletromagnético

A proposta avaliativa deste trabalho trouxe um texto que serviria como ponto de partida para descrever o espectro eletromagnético e suas aplicações no processo de comunicação social e nas ciências médicas:

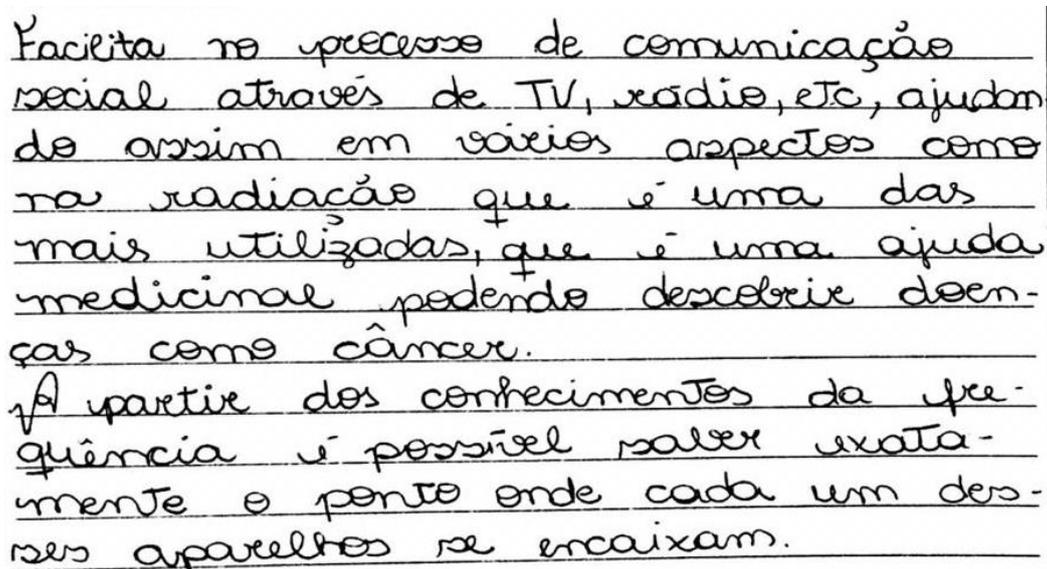
Até aqui, foi visto um conjunto de conceitos sobre óptica, tais como reflexão, refração, absorção etc. Foi falado também do espectro eletromagnético, como ele auxilia na exploração espacial, por meio de comparações com conhecimentos que já detemos. Enfim, a óptica é uma parte da ciência que visa a explicar fenômenos que tratam da interação da luz com o meio. Sabendo disso, **escreva, com suas palavras, como o conhecimento do espectro eletromagnético facilita o processo de comunicação social e contribui para as ciências médicas.** Utilize conhecimentos adquiridos, desde raios de luz até espectro eletromagnético, a fim de estabelecer clareza sobre o assunto.

A respeito do espectro eletromagnético, os estudantes dissertaram relatando que a comunicação social depende das ondas de telefone, rádio e TV.

Alguns discutiram acerca de aparelhos que auxiliam no âmbito da física médica, como, por exemplo, ressonância eletromagnética, ultrassom, infrassom, raio X, entre outros, e também a respeito da cura de doenças (câncer, exames de imagem etc.).

O aluno 1E1 criou uma conexão entre o processo de comunicação e as ciências médicas, ressaltando as frequências. Ele disse que os aparelhos utilizados para a comunicação e a medicina têm frequências diferentes, e essa diferenciação se encaixa dentro da característica buscada para a aula, aula situada, que é a de construir um contexto, conforme se observa na figura a seguir.

Figura 36: Avaliação A1, estudante 1E1 (3º grau de aquisição).



Facilita no processo de comunicação social através de TV, rádio, etc, ajudam de assim em vários aspectos como na radiação que é uma das mais utilizadas, que é uma ajuda medicinal podendo descobrir doenças como câncer.

A partir dos conhecimentos da frequência é possível saber exatamente o ponto onde cada um desses aparelhos se encaixam.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O estudante 1E2 não conseguiu esclarecer o que a atividade avaliativa propunha, não seguiu o que foi pedido e não dissertou a respeito da comunicação provida pelos avanços do espectro eletromagnético. Alguns argumentos fornecidos pelo 1E2 não ficaram claros, diferentemente do relato apresentado pelo aluno 1E3, que dissertou de forma clara e apresentou exemplos.

Figura 37: Avaliação A1, estudante 1E2 (1º grau de aquisição).

ATRAVÉS DO CONHECIMENTO ADQUIRIDO PELO MOMENTO SOBRE O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO, FORAM DESENVOLVIDOS DIVERSOS APARELHOS E FERRAMENTAS QUE APRIMORA O NOSSO DIA A DIA, PRINCIPALMENTE A COMUNICAÇÃO SOCIAL. A CRIAÇÃO DE APARELHOS COMO TELEFONE, CELULAR, RADIO, SÃO INVENÇÕES QUE UTILIZA DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO PARA SEU FUNCIONAMENTO, NO QUAL A COMUNICAÇÃO DE PESSOAS, DADOS, INFORMAÇÕES E COMPUTADORES.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Os estudantes que denotam desempenho igual e/ou semelhante ao aluno 1E3, 2º grau de aquisição, não foram considerados como tendo respostas adequadas, pelo fato de não conectarem o espectro eletromagnético aplicado à medicina.

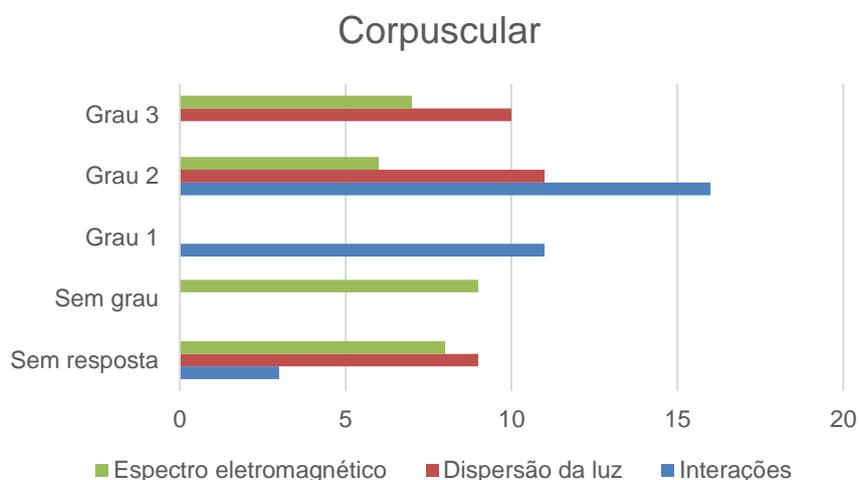
Figura 38: Avaliação A1, estudante 1E3 (2º grau de aquisição).

Basicamente tudo é feito de um composto químico onde de imite ondas eletromagnéticas que através disso podemos identificar as coisas. Cada objeto tem uma onda diferente, pode ser pequena ou grande como ondas de rádio e ultrassom, que através desses comprimentos podem diferenciá-los e encontrar o que queremos.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O gráfico a seguir apresenta os graus de aquisição dos estudantes, por meio de três propostas avaliativas: interações da luz, dispersão da luz e espectro eletromagnético.

Gráfico 5: Análise das respostas (corpúscular).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na segunda aula, o professor iniciou ressaltando vários pontos importantes da ondulatória e, logo em seguida, apresentou um simulador de ondas que ajuda a fortalecer os conhecimentos prévios dos alunos. Posteriormente, foi realizada uma demonstração experimental da gaiola de Faraday, utilizando-se dois *smartphones* e papel alumínio.

Em grupo, os estudantes discutiram, pesquisaram e descreveram o experimento, de forma simples e de acordo com a primeira aula, que tinha o foco da natureza corpúscular. O foco dessa aula é construir, partilhar e desenvolver conhecimento, por esse motivo, orientou-se, ao final, que se construísse uma imagem e que fosse postada nas redes sociais, com objetivo de que o conhecimento produzido fosse compartilhado em uma rede maior que o ambiente escolar.

Nessa etapa, foram analisadas as respostas dos alunos em relação à função de onda e à gaiola de Faraday, sendo concomitantemente verificado se há uma comunicação entre as aulas.

III. Função de onda e gaiola de Faraday

Os estudantes do grupo 2G1 relataram que a gaiola de Faraday, experimento realizado com um papel alumínio enrolado em um telefone celular, é uma forma de blindar o sinal interno no aparato experimental.

Figura 39: Resposta produzida pelo grupo 2G1 à natureza ondulatória.

*** no celular:**
Ao envolver o papel alumínio no celular, o papel alumínio servirá como uma blindagem, impedindo que a frequência de onda chegue até o celular.

*** Resumindo:** A onda de sinal emitido pelo celular, chegará até o celular que está com papel alumínio porém esse papel irá expulsar qualquer tipo de ondas externas, isolando o celular de qualquer tipo de sinal deixando-o na caixa postal.

*** No cubo de gelo:**
Ao a onda de água chegar/bater no cubo de gelo, ela voltará porém com uma frequência menor e o cubo de gelo apenas sofrerá uma vibração mas continuará no mesmo lugar.

**Função de onda no espectro eletro-
magnético**

*** Ondas:** São perturbações que se propagam de um lugar para outro através de um meio.

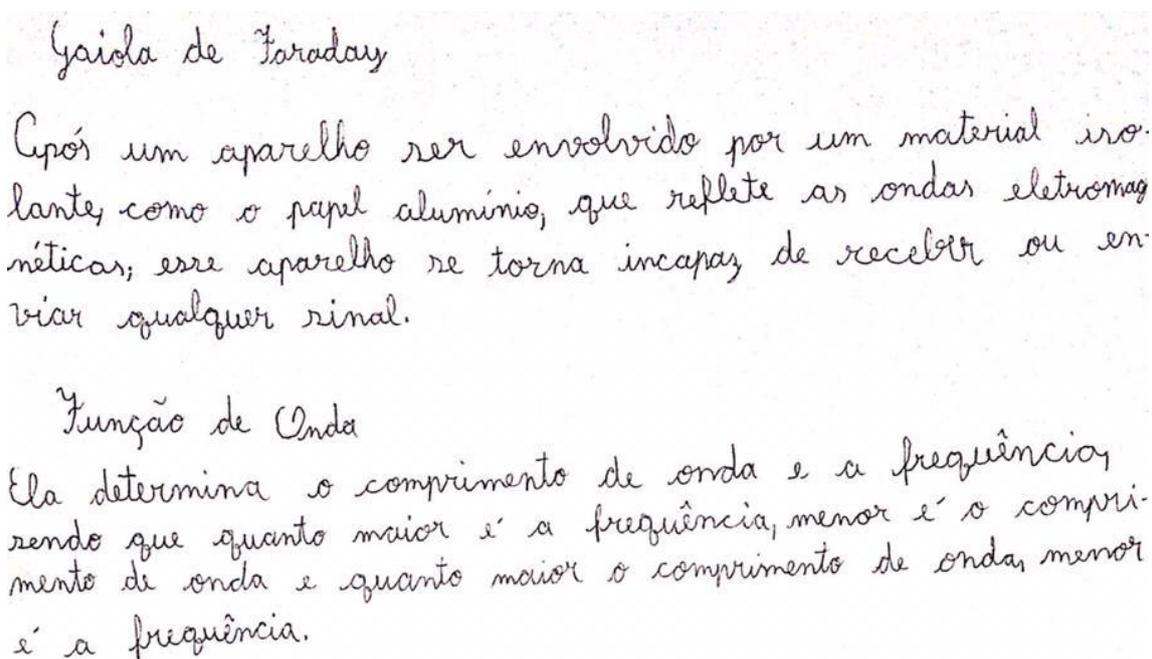
*** As ondas funcionam da seguinte maneira:**
Quanto maior a frequência menor será o comprimento da onda e vice-versa, para assim o sinal (rádio gamma) ficar mais forte.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Esses alunos (grupo 2G1) apresentam respostas definidas quanto às ondas e às perturbações que se propagam através de um meio e mencionam a relação das ondas com a frequência e o comprimento de onda. Desenvolvem também um raciocínio em uma situação em que há um cubo de gelo em meio a uma quantidade de água – as ondas produzidas pela água, ao se chocarem com o cubo de gelo, sofrem uma reflexão. Há um relato incompleto sobre o cubo não sair do lugar após uma onda se chocar com ele; entende-se que as ondas não transportam matéria.

O grupo 2G2 se expressou por meio de um desenho da onda chegando à gaiola de Faraday e sofrendo uma reflexão. É importante notar que o desenho tem tanto a descrição corpuscular, com as setas, quanto a descrição ondulatória, com as frentes de onda. Esse grupo escreveu que o papel alumínio tem a capacidade de refletir as ondas, impedindo que elas passem por ele.

Figura 40: Resposta produzida pelo grupo 2G2 à natureza ondulatória.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A resposta do grupo 2G2 foi comum a outros grupos. Esse fato mostra que há um ponto nivelado de aprendizagem, ou seja, todos estão no mínimo com relação ao nível de abstração acerca do conteúdo. Isso não é totalmente ruim, pois revela que os estudantes compreenderam o funcionamento da gaiola de

Faraday. No entanto, eles não deram indícios aprofundados sobre a função de onda, pois relatam que há uma não proporcionalidade entre a frequência e o comprimento de onda.

Em continuidade, o mediador exibiu o experimento da bobina de Tesla, comentando sobre o circuito e os componentes de funcionamento. Como atividade, pediu para que os aprendizes descrevessem o motivo de a lâmpada ter ligado; a resposta deveria considerar os conhecimentos aprendidos na aula anterior.

IV. Bobina de Tesla

Notou-se que os grupos compreenderam o funcionamento da bobina de Tesla, pois realizaram conexões com a frequência, citando a atuação dos transistores no circuito e ressaltando que a lâmpada é uma fonte primária. A lâmpada é acionada quando está imersa em um campo eletromagnético – o gás da lâmpada interage com a corrente elétrica induzida pelo campo gerado.

O grupo 2G3 transcreveu o funcionamento desde o acionamento do interruptor até o acendimento da lâmpada. Os alunos apontaram que a interação do campo eletromagnético com o gás gera ondas eletromagnéticas visíveis. Esse fato mostra que os estudantes fizeram uma conexão entre o eletromagnetismo e a ondulatória, conforme se observa na figura a seguir.

Figura 41: Relato do grupo 2G3 para a bobina de Tesla.

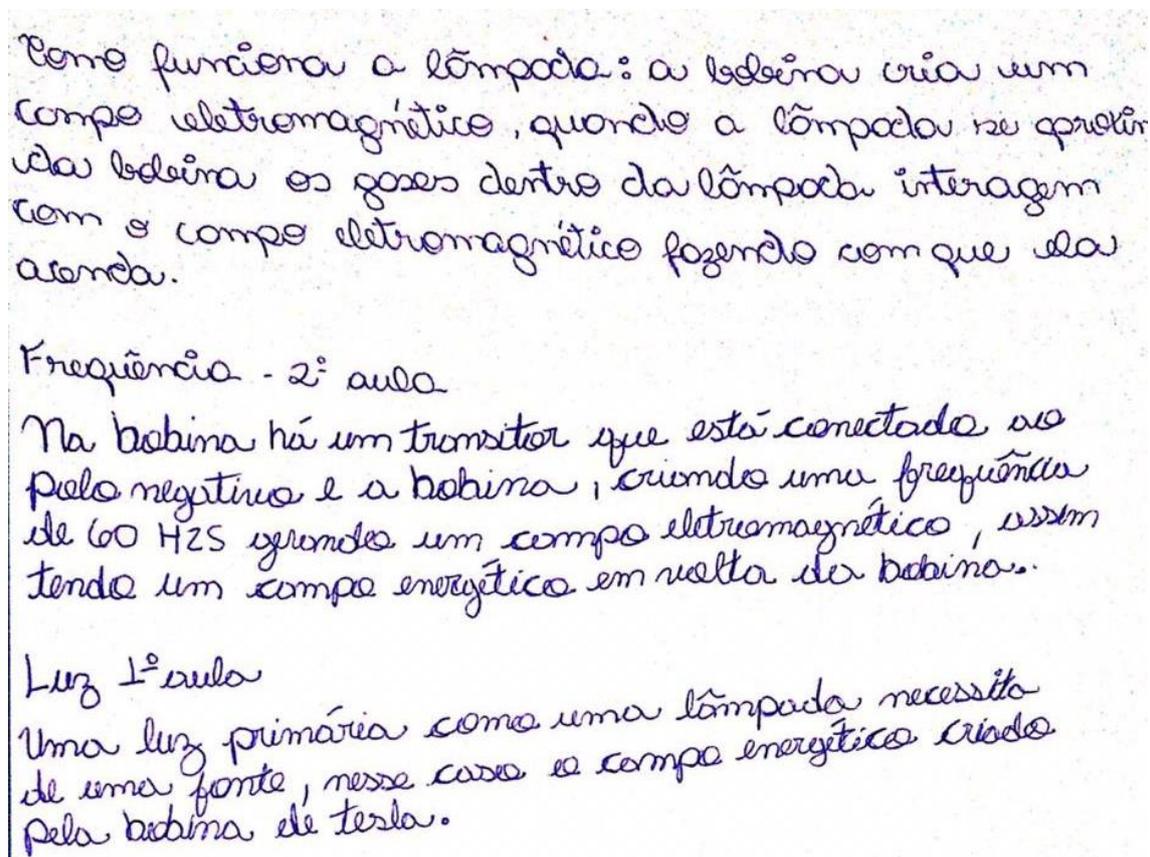
► COMO FUNCIONA? AO ACIONAR O INTERRUPTOR, É ENVIADO UMA CARGA AO TRANSISTOR, QUE É REDIRECIONADO A BOBINA DE TESLA, COM ISSO É GERADO UM CAMPO ELETROMAGNÉTICO ATRAVÉS DAS OSCILAÇÕES QUE O TRANSISTOR EMITE AO REDOR DA BOBINA. LOGO O CAMPO ELETROMAGNÉTICO SE INTERAGE COM O GÁS QUE POSSUI DENTRO DA LÂMPADA, FAZENDO QUE AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS SEJAM VISÍVEIS.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Já o grupo 2G5 agregou mais detalhes à explicação, dizendo que o que proporcionava as ondas eletromagnéticas eram os pulsos providos pelos transistores que oscilam na frequência de 60hz. Foi realizada também uma analogia sobre o campo eletromagnético ser um campo energético que interage com o gás da lâmpada, o que, por consequência, causa seu acendimento.

Por sua vez, o grupo 2G4 mencionou alguns pontos interessantes sobre a natureza da luz corpuscular e enfatizou que a lâmpada é uma fonte primária. Esse grupo mostrou ter uma noção mínima acerca de circuitos elétricos, conforme se observa na figura a seguir.

Figura 42: Relato do grupo 2G4 para a bobina de Tesla.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A avaliação da aula sobre a natureza ondulatória da luz iniciou com o seguinte texto: “Até aqui, foi vista uma gama de conceitos acerca de ondulatória: propagação, velocidade, tipos de ondas etc. Foi falado também da gaiola de Faraday, que provoca uma reflexão da onda no momento do choque da crista de onda com o objeto, nesse caso, a proteção com papel alumínio. Também foram

realizadas simulações computacionais, com intuito de transformar o fenômeno ondulatório em um ícone a ser acionado quando se deparar com uma situação semelhante. As redes sem fio (wi-fi), ou redes móveis, invadiram o nosso dia a dia, proporcionando uma facilidade em navegar na internet, sem a necessidade de conexões físicas como cabos. A rede móvel funciona semelhante a um princípio básico de ondulatória, que é a propagação de pulso. Uma análise física do wi-fi: é um aparelho tecnológico que converte sinal elétrico em uma onda e que pode ser reconhecido por outros aparelhos, como celulares, desde que os dois estejam sincronizados na mesma frequência. Sabendo disso, construa um diagrama ou desenho que explique o funcionamento de um roteador, ou modem, considerando os aspectos físicos que corroboram para o funcionamento do aparelho. Peça ajuda ao seu professor para construir esse diagrama ou imagem no computador.”

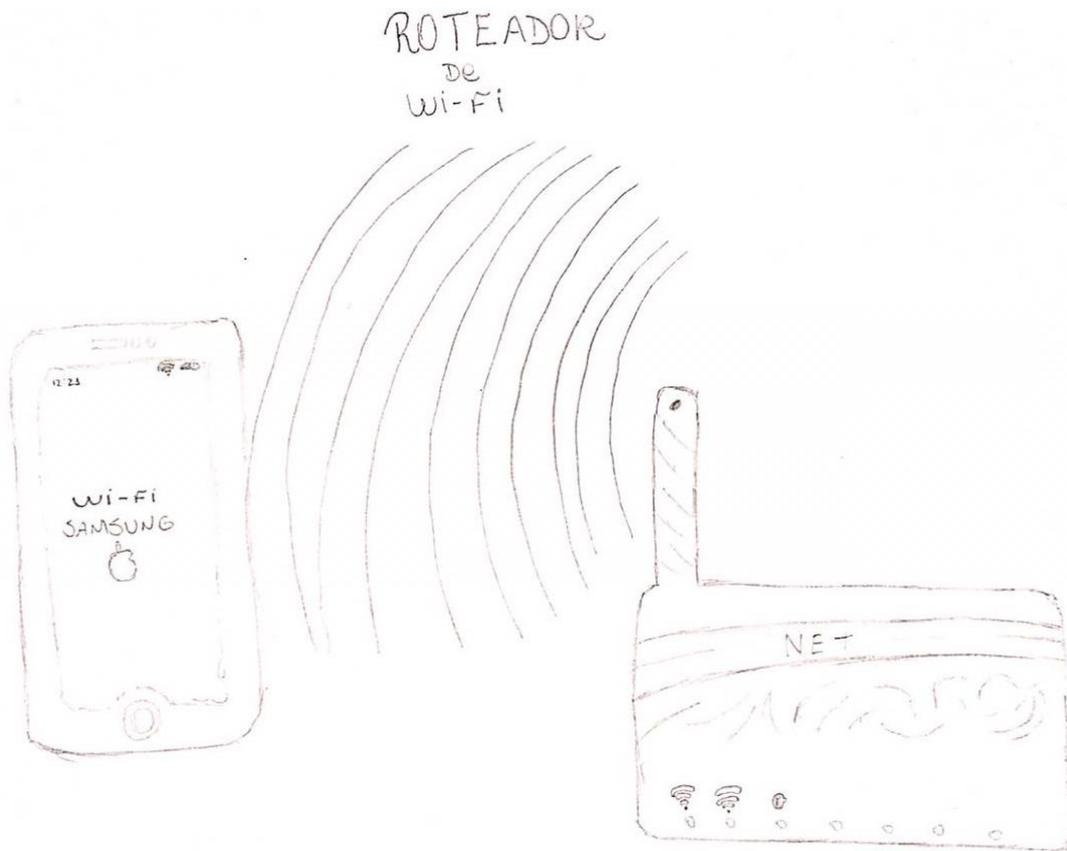
V. Roteadores e transmissores de sinal

Por dificuldades computacionais, os estudantes optaram por desenhar os fornecedores de sinal (como *modem* e roteadores) e os receptores de sinal (celulares, televisões, computadores e outros) manualmente, utilizando folhas e material de papelaria (lápiz, borrachas e canetas).

É fácil visualizar que os desenhos compõem uma rede de comunicação que se inicia em um aparelho elétrico e que termina em um dispositivo, sendo ele móvel ou fixo.

A avaliação feita pelo aluno 2A1 realça a conexão estabelecida entre as ondas geradas pelo roteador e convertidas em sinal de wi-fi. Demonstrando ter alcançado o terceiro grau de aquisição, esse feito é visualizado no desenho apresentado no *smartphone* com o símbolo do wi-fi; de forma inconsciente, o estudante ressaltou que, em meio a uma onda, o sinal interceptado pelo *smartphone* se traduz no ícone do wi-fi.

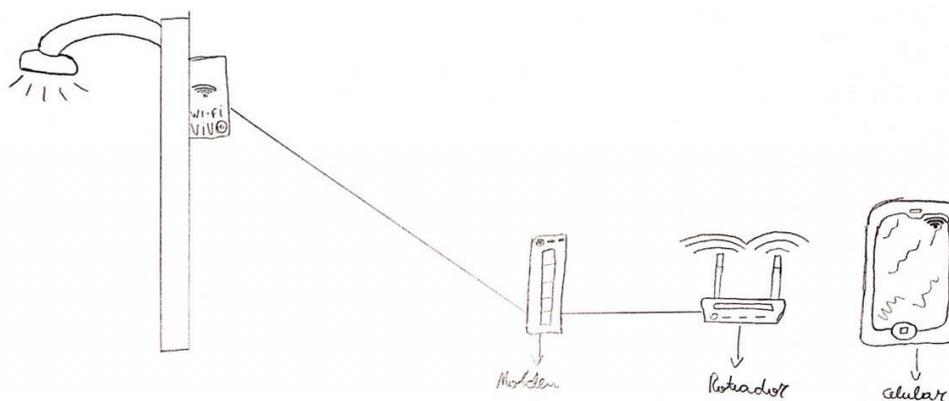
Figura 43: Avaliação 2A1 (descrição artística sobre a interação das ondas com equipamentos elétricos).



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O aluno 2A2 descreveu o sinal vindo de uma rede externa e que se propaga por meio de fios até chegar ao roteador – do roteador, é gerada uma onda que interage com o celular.

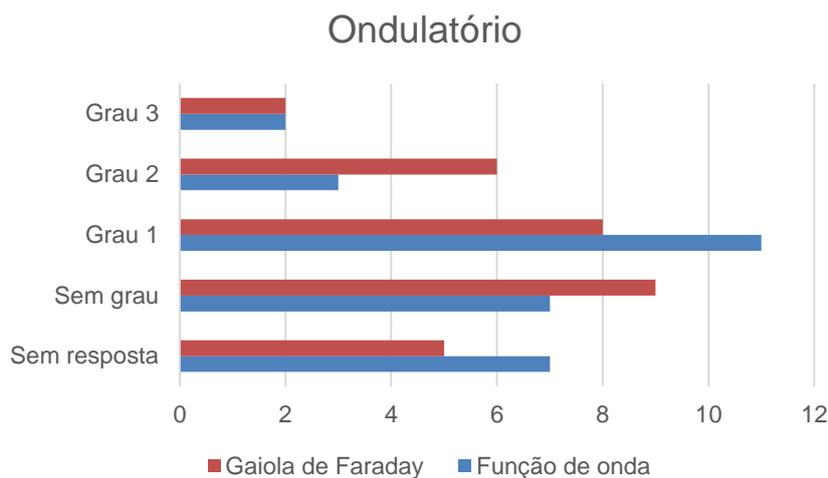
Figura 44: Avaliação 2A2 (descrição artística sobre a interação das ondas com equipamentos elétricos).



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Esses alunos também demonstraram alcançar o terceiro grau de aquisição, a diferença é que o estudante 2A2 ampliou a percepção sobre o processo de propagação da luz. O gráfico a seguir apresenta os graus de aquisição dos estudantes, por meio de duas propostas avaliativas: gaiola de Faraday e função de onda.

Gráfico 6: Análise das respostas (ondulatório).



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A aula 3, acerca do comportamento eletromagnético, foi extensa, pois o professor teve que gastar bastante tempo para descrever didaticamente as equações de Maxwell. Ele utilizou recursos computacionais para apresentar alguns experimentos que expressam as leis do eletromagnetismo.

VI. Descrição da luz

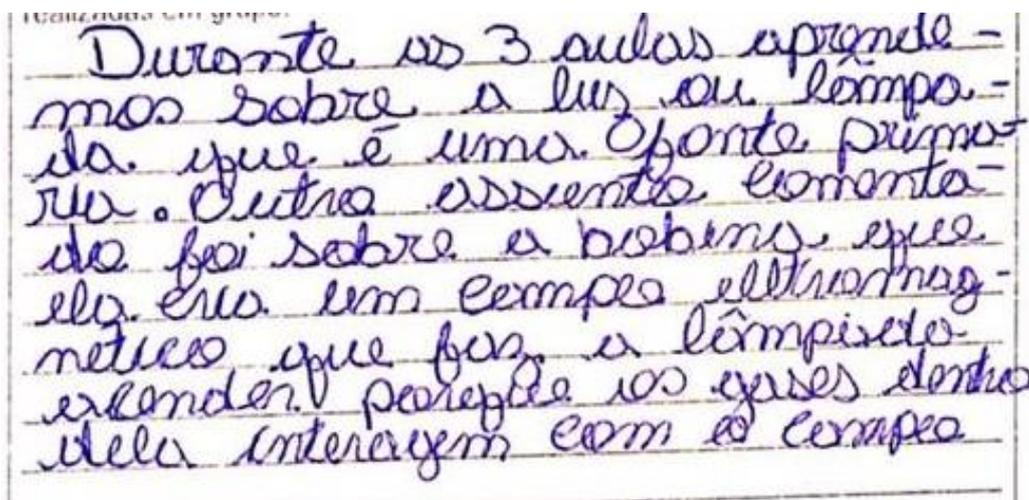
A proposta avaliativa dessa etapa buscou perceber a compreensão dos alunos acerca da luz, tendo em vista que foram abordadas as características corpusculares e ondulatórias, além de uma descrição eletromagnética.

No plano de aula, o seguinte texto serviu de ponto de partida para a avaliação: “A aula de hoje proporcionou uma visão simplificada das leis de Maxwell e foi visto que a tecnologia cotidiana é baseada em princípios básicos do eletromagnetismo. Evidenciou-se também que, a partir da corrente induzida por ímãs, podemos ligar LEDs e lâmpadas, fontes primárias, e que há componentes elétricos que substituem a variação dos ímãs de forma mais

eficiente. A bobina de Tesla recebe corrente induzida dentro de um campo eletromagnético e proporciona a ligação da luz. **Com base nesse conjunto de aulas aplicadas acerca da luz e de suas características ondulatórias e corpusculares, a luz se mostra um fenômeno complexo e, ao mesmo tempo, compreensível. Assim, descreva como a luz é construída.** Tente construir analogias dos experimentos apresentados e as explicações realizadas em grupo.”

O estudante 3A1 não conseguiu apresentar conhecimento transitório entre as aulas 2 e 3, fazendo uma descrição confusa e sem evolução. Todos os casos parecidos e/ou semelhantes a esse foram direcionados para a classificação “Sem grau de aquisição”.

Figura 45: Resposta 3A1 sobre a descrição da luz (sem grau).

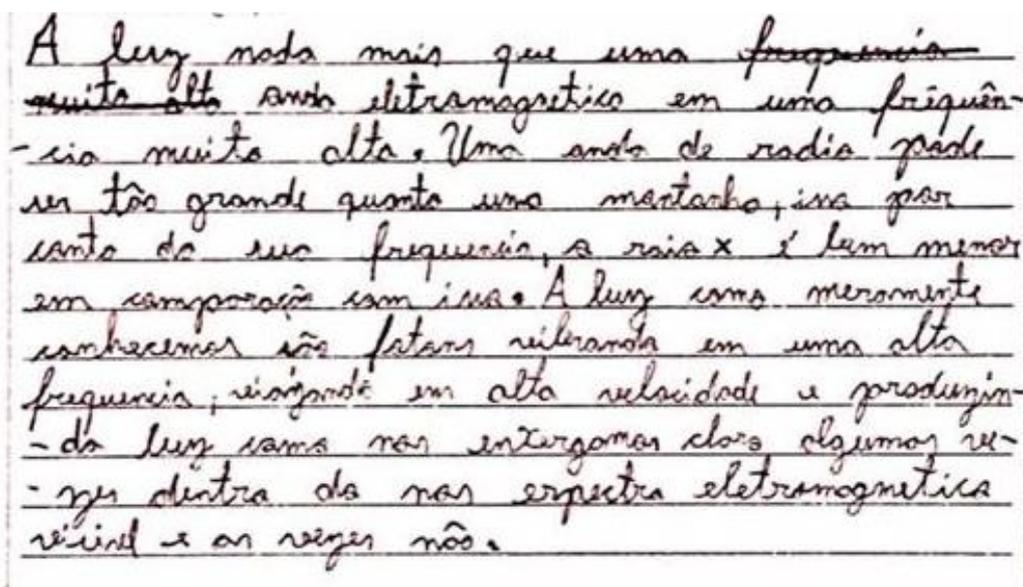


Durante as 3 aulas aprendemos sobre a luz ou lâmpada que é uma fonte primária. Outra essência importante foi sobre a bobina que ela era um campo eletromagnético que faz a lâmpada acender. percebe os raios dentro dela interagem com o campo

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A resposta do aluno 3A1 foi classificada como incoerente para o que foi pedido, tendo em vista que não construiu conexão com o comportamento eletromagnético, assim como foi feito pelos estudantes 3A2 e 3A3. O aluno 3A2 relatou: “A luz nada mais que uma onda eletromagnética em uma frequência muito alta. Uma onda de rádio pode ser tão grande quanto uma montanha, isso por conta da sua frequência, o raio x é bem menor em comparação com essa. **A luz como meramente conhecemos são fótons vibrando em uma alta frequência, viajando em alta velocidade e produzindo luz como nos enxergamos claro algumas vezes dentro do espectro eletromagnético visível e as vezes não.**”

Figura 46: Resposta 3A2 sobre a descrição da luz (2º grau de aquisição).



A luz nada mais que uma frequência
muito alta sendo eletromagnética em uma frequên-
cia muito alta. Uma onda de rádio pode
ser tão grande quanto uma montanha, isso por
conta da sua frequência, a raio x é bem menor
em comparação com isso. A luz como meromente
conhecemos são fótons vibrando em uma alta
frequência, viaja em alta velocidade e produzem
-da luz como nas entergomas cloas algumas re-
-tes dentro da nas espectra eletromagnética
visível e as vezes não.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Esse estudante, ao afirmar que a luz são fótons vibrando, mostra uma conexão realizada com a primeira lei de Maxwell. Essa analogia apresenta indícios de inteligência visual, pois o estudante fixou o conceito depois de visualizar uma partícula elétrica em oscilação, conforme expresso pela primeira lei de Maxwell.

Já o aluno 3A3 relatou o experimento da bobina de Tesla, que é explicado pela terceira lei de Maxwell ou lei de Faraday-Lenz, afirmando que a bobina principal recebe uma corrente elétrica induzida por meio da movimentação de ímãs. Ele construiu a seguinte analogia: ao executar a terceira lei de Maxwell, um campo eletromagnético é criado em volta da bobina, que desenvolve um campo eletromagnético que promove a ligação da lâmpada por meio da interação do campo eletromagnético com o gás da lâmpada. Esse é o tipo de aprendizagem simbólica, pois apresenta uma alta abstração de um conceito complexo, descrevendo de forma simples para seu nível de aprofundamento.

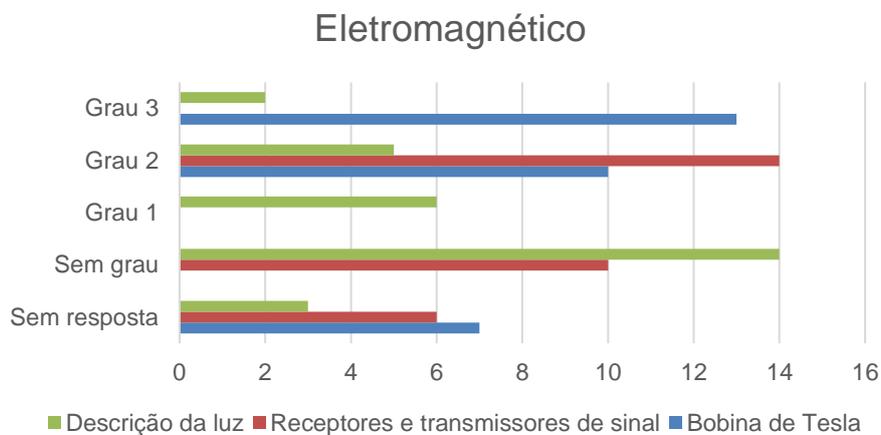
Figura 47: Resposta 3A3 sobre a descrição da luz (3º grau de aquisição).

A luz é, construída através dos princípios básicos do eletromagnetismo. No experimento de Maxwell foi construída uma estrutura formada por fios de cobre, e neste experimento foi utilizado ímã, no qual se oscila o ímã em movimentos verticais. Ocasionalmente campos eletromagnéticos, gerando uma energia induzida ao redor da estrutura, no qual interage com o gás que se encontra dentro da lâmpada, proporcionando a ligação da luz.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O gráfico a seguir apresenta os graus de aquisição dos estudantes, por meio de três propostas avaliativas: bobina de Tesla, receptores e transmissores de sinal e descrição da luz.

Gráfico 7: Análise das respostas (eletromagnetismo).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A próxima atividade adentra a quarta aula da sequência didática deste trabalho e apresenta as aplicações da óptica no cotidiano que são consideradas avanços tecnológicos, como o holograma, a realidade aumentada e a impressora 3D. Com relação a essa última aula, espera-se que os alunos tenham desenvolvido conceitos que ajudarão nas atividades propostas no plano de aula intitulado “Aplicações da natureza da luz”.

Dentro das atividades propostas, há a construção de um holograma de pirâmide e a utilização de óculos de realidade virtual. O intuito é explicar o funcionamento desses equipamentos, por meio de conceitos apresentados nas aulas anteriores.

Como forma-se uma imagem em 3D? Essa foi a pergunta feita aos estudantes após construir e experimentar os hologramas de pirâmide. Muitos alunos descreveram, em grupo, a construção experimental da pirâmide holográfica, ressaltando os materiais utilizados.

VII. Hologramas e realidade aumentada

Muitos estudantes ressaltaram que a formação da imagem em 3D depende da construção de uma pirâmide holográfica, como mostrado nos relatos dos grupos 4G1 e 4G2.

Nota-se que não houve a construção de uma resposta em relação às diversas imagens em 3D, mas somente em relação ao holograma construído em sala. No entanto, esses grupos apresentaram domínio em relação ao conceito de refração e contextualizaram a imagem formada como sendo uma imagem resultante da soma de quatro outras.

Relato do grupo 4G1: “No experimento feito, são refratadas quatro imagens no papel acetato, as imagens se encontram em um ponto e são refletidas, dando a impressão de que a imagem sai do aparelho. Lembrando que, para que não haja distorção, as quatro imagens devem ser iguais, para que, quando se encontrarem, formem uma única imagem a ser refletida”. Esse relato mostra que o estudante teve o entendimento de que a imagem espelhada no centro era resultado da soma das imagens projetadas na folha de acetato e refratadas para o centro.

No relato do grupo 4G1, há um amadurecimento no que diz respeito à imagem holográfica. Vale lembrar que foi apresentado aos alunos que a amostra experimental é chamada de pirâmide holográfica, e esse grupo não apontou como uma imagem holográfica, mas, sim, como uma imagem refratada.

Figura 48: Relato do grupo 4G1 sobre a formação de imagem 3D e a contribuição da realidade aumentada para o entretenimento social.

* Como é formado uma imagem 3D

→ No experimento feito, são refratadas 4 imagens no papel acetato, as imagens se encontram em um ponto e são refletidas, dando a impressão que a imagem sai do aparelho. lembrando que para que não haja distorção, as 4 imagens devem ser iguais, para que quando se encontram e formem uma única imagem a ser refletida.

* Como a realidade aumentada contribui para o entretenimento social.

- No caso do óculos de realidade aumentada ele pode ser usado para jogos e filmes 3D, trazendo maior realidade para a ficção, em jogos o óculos VR pode-se juntar com controles que também ajudam no aumento da realidade.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

A relação da realidade aumentada com o entretenimento social foi projetada para que pudesse haver uma nova ideia que englobasse métodos de utilização ou outras aplicações para os óculos de realidade virtual. No entanto, comparando-se as respostas dos estudantes, o objetivo não ficou claro, assim, nas próximas aplicações, os objetivos da atividade devem ser revistos, a fim de reformular sua aplicabilidade.

A falta de clareza do objetivo proposto pela atividade trouxe liberdade para que os estudantes escolhessem os recursos que ajudaria na interpretação com os óculos de realidade virtual aplicado no cotidiano. Nessa situação, o grupo 4G1 expressou-se assim: “No caso dos óculos de realidade aumentada, ele pode ser usado para jogos e filmes 3D, trazendo maior realidade à ficção, em jogos, os óculos VR podem se juntar com controles que também ajudam no aumento da realidade”.

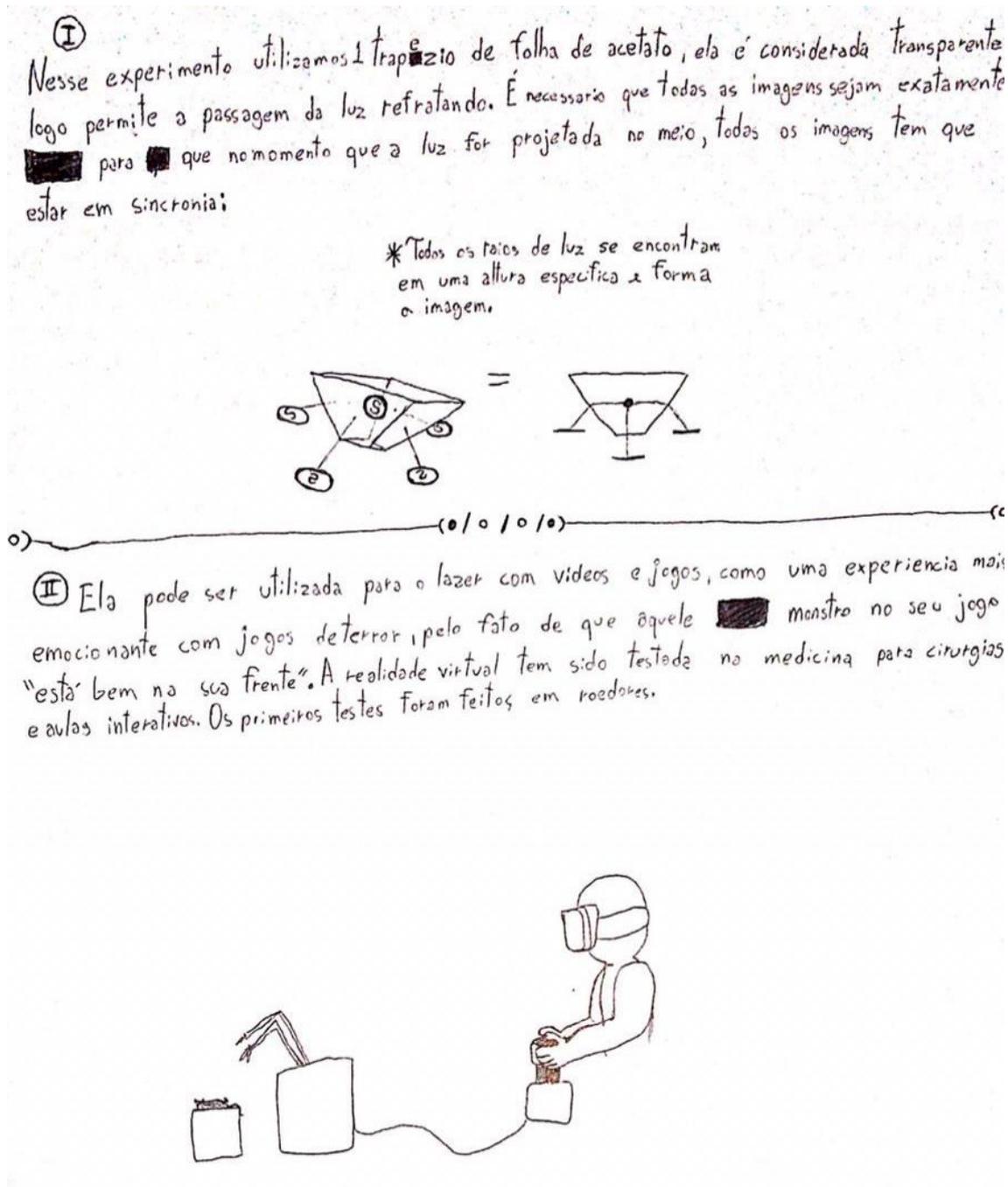
De acordo com a resposta do grupo 4G1, é possível notar que os óculos de realidade virtual foram relacionados a jogos e filmes 3D. Essa relação pode ser interpretada como segundo grau de aquisição, pois apresenta indícios de inteligência visual.

Os mesmos indícios foram apresentados pelo grupo 4G2, que descreveu o processo experimental da pirâmide holográfica para *smartphone*: “Nesse experimento, utilizamos um trapézio de folha de acetato, ela é considerada transparente, logo, permite a passagem da luz refratando. É necessário que todas as imagens sejam exatamente para que, no momento em que a luz for projetada no meio, todas as imagens têm que estar em sincronia”. Esse grupo desenhou o processo descrito e ressaltou também que todos os raios de luz se encontram em uma altura específica e formam a imagem.

Nota-se que há uma conexão entre o estudo da luz corpuscular nas aplicações tecnológicas, e os estudantes optam por explicar que a imagem formada em 3D pela pirâmide holográfica é resultado da refração dos raios através da folha de acetato. Essa conexão, além de denotar o segundo grau de aquisição, também dá indícios do terceiro grau de aquisição, ao imaginar partículas de luz sendo refratadas e se posicionando em um centro para formar a imagem.

Entretanto, há pontos não compreensíveis no relato do grupo 4G2; existem um quadro e um retângulo que podem ser vistos como um erro de escrita. Essas formas geométricas no meio do texto cobriram as palavras que completariam o raciocínio do grupo.

Figura 49: Relato do grupo 4G2 sobre a formação de imagem 3D e a contribuição da realidade aumentada para o entretenimento social.



Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Sobre a realidade virtual no ambiente social, o grupo 4G2 dissertou assim: "Ela pode ser utilizada para o lazer com vídeos e jogos, como uma experiência mais emocionante com jogos de terror, pelo fato de que aquele monstro no seu jogo 'está bem na sua frente'".

A realidade virtual tem sido testada na medicina para cirurgias interativas. Os primeiros testes foram feitos em roedores. Percebe-se que houve uma pesquisa com a aplicação da realidade virtual na medicina; como resposta dessa busca, têm-se as cirurgias interativas testadas em roedores.

Com relação ao grupo 4G2, há indícios de aproximação do terceiro grau de aquisição, pelo fato de os alunos terem construído uma explicação da situação proposta por meio de evidências de pesquisa, o que revela um alto nível de clareza da situação-problema.

Continuando na mesma linha da formação de imagem, o próximo tópico tratará das respostas elaboradas pela turma no processo de materialização da imagem produzida por uma impressora 3D. A proposta avaliativa vai ao encontro da compreensão do funcionamento da impressora 3D e sua aplicabilidade no cotidiano.

VIII. Funcionamento da impressora 3D

A proposta avaliativa iniciou com o seguinte texto: “O estudo da interação da luz com a matéria nos trouxe até aqui, foi visto que a luz pode se comportar de acordo com duas características: corpuscular e ondulatória; foi também descoberto que a luz pode ser produzida pela interação entre campos elétricos e magnéticos, e toda essa inquirição proporcionou uma visão ampliada do espectro eletromagnético. O manuseio correto da função de onda satisfaz a tecnologia cotidiana com diversas aplicações médicas e recorrentes. Nesta aula, foi visto como funcionam uma imagem em 3D, os hologramas e a realidade aumentada. **Agora que você tem uma visão ampla do espectro eletromagnético e de suas aplicações, descreva com suas palavras como uma impressora 3D funciona.** Esse é o momento de agregar todos os conceitos aprendidos, desde o raio de luz até os hologramas, para que sua descrição física seja clara e honesta.”

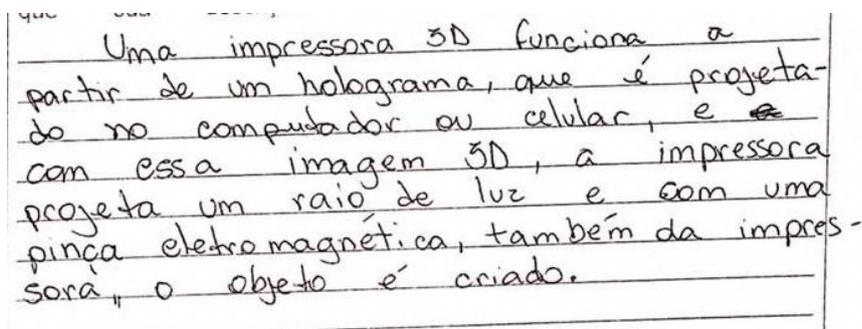
Sobre o funcionamento da impressora 3D, o aluno 4A1 relatou: “Uma impressora 3D funciona a partir de um holograma, que é projetado no computador ou celular, e com essa imagem 3D, a impressora projeta um raio de luz e, com uma pinça eletromagnética, também da impressora, o objeto é criado.”

O estudante explicou o processo de impressão 3D utilizando elementos que compuseram a explicação holográfica. Nesse caso, o aluno

explicitou que houve um desenho tridimensional criado em uma plataforma computacional e convertido em sinais luminosos; a assinatura luminosa deixada pelo *software* é atraída pela pinça eletromagnética, que libera um material plástico e materializa o desenho tridimensional.

Essas relações construídas pelo estudante revela uma ligação direta entre a aula corpuscular, a eletromagnética e as aplicações tecnológicas. A soma de conteúdos é um traço que evidencia uma aprendizagem relativa ao terceiro grau de aquisição, pois o aluno imaginou o funcionamento e o explicou a partir dos conceitos adquiridos nas aulas anteriores.

Figura 50: Relato 4A1 (funcionamento da impressora 3D).

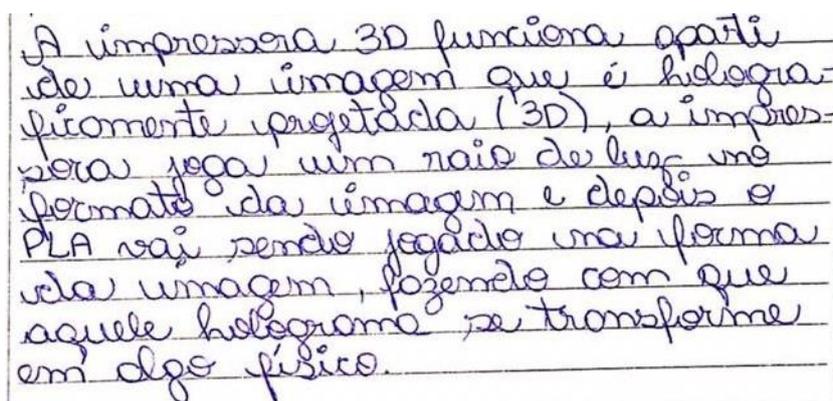


Uma impressora 3D funciona a partir de um holograma, que é projetado no computador ou celular, e com essa imagem 3D, a impressora projeta um raio de luz e com uma pinça eletromagnética, também da impressora, o objeto é criado.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Em um discurso parecido, o aluno 4A2 descreve o processo de impressão tridimensional: “A impressora 3D funciona a partir de uma imagem que é holograficamente projetada (3D), a impressora joga um raio de luz no formato da imagem e depois o PLA vai sendo jogado na forma da imagem, fazendo com que aquele holograma se transforme em algo físico.”

Figura 51: Relato 4A2 (funcionamento da impressora 3D).

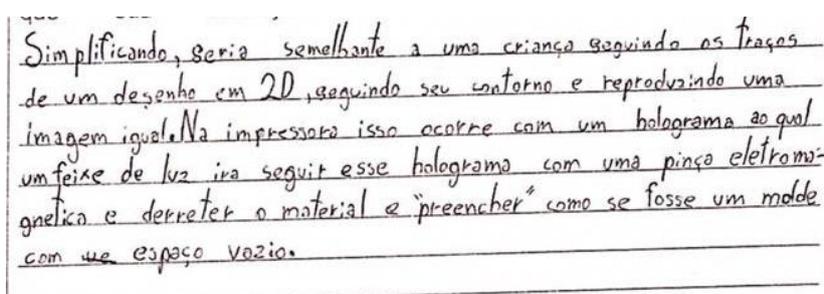


A impressora 3D funciona a partir de uma imagem que é holograficamente projetada (3D), a impressora joga um raio de luz no formato da imagem e depois o PLA vai sendo jogado na forma da imagem, fazendo com que aquele holograma se transforme em algo físico.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

O estudante 4A3 esclarece que o processo de impressão em 3D se baseia no contorno holográfico de um material, com uma pinça eletromagnética: “Simplificando, seria semelhante a uma criança seguindo os traços de um desenho em 3D, seguindo seu contorno e reproduzindo uma imagem igual. Na impressora isso ocorre com um holograma ao qual um feixe de luz irá seguir esse holograma com uma pinça eletromagnética e derreter um material e ‘preencher’ como se fosse um molde com espaço vazio.”

Figura 52: Relato 4A3 (funcionamento da impressora 3D).



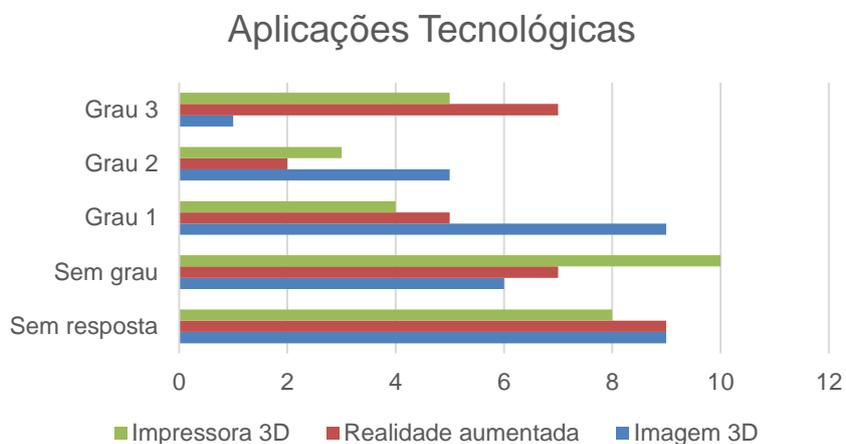
Simplificando, seria semelhante a uma criança seguindo os traços de um desenho em 2D, seguindo seu contorno e reproduzindo uma imagem igual. Na impressora isso ocorre com um holograma ao qual um feixe de luz irá seguir esse holograma com uma pinça eletromagnética e derreter o material e “preencher” como se fosse um molde com um espaço vazio.

Fonte: Dados da pesquisa (2020).

Essa avaliação acionou os conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores, assim, foi percebida, de acordo com os relatos dos alunos, uma transição entre os graus de aquisição. As respostas tiveram início em situações que desenvolveram a inteligência prática, e a explicação fundamentou a inteligência visual. Em um problema de maior grau de complexidade, foram interligados conceitos que solidificaram as inteligências prática e visual, dando origem à inteligência imaginativa.

O gráfico a seguir apresenta os graus de aquisição dos estudantes, por meio de três propostas avaliativas: imagem tridimensional, realidade aumentada e impressora 3D.

Gráfico 8: Análise das respostas (aplicações tecnológicas).



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No próximo capítulo, serão apresentadas as considerações finais desse trabalho, sendo apontados os principais resultados, êxitos e falhas na aplicação do produto educacional.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aprofundou-se sobre a teoria da aprendizagem por descoberta e a metodologia científica baseada na investigação. Ainda, realizou-se uma transposição didática sobre o estudo da luz, que relacionou três áreas da física: óptica, ondulatória e eletromagnetismo. Aportes teóricos e fenomenológicos foram entrelaçados a situações cotidianas e experimentais, enfatizando sempre a ciência, a tecnologia e a cultura. Realizou-se, também, uma implementação do estudo da luz em uma matriz metodológica, que se desdobra em pentágonos de aprendizagens; a soma desses pentágonos produz um sólido geométrico, visando a materializar o processo de aprendizagem teórico. Por fim, produziu-se uma escala avaliativa baseada em investigações, explorações e explicações, no âmbito do processo de aquisição de conhecimento.

Os resultados obtidos por meio da análise das respostas dos estudantes, referentes às atividades do produto educacional, foram classificados em cinco grupos. Utilizando como base o gráfico “Classificação dos graus de aquisição sobre o estudo da luz e suas interações com o meio”, presente no capítulo “Análise de resultados”, é possível perceber que os alunos se enquadraram, contando todas as atividades, no segundo grau de aquisição. O segundo grau é representado pela iconização do aprendido e pela explicação do fenômeno, ou seja, os estudantes têm a capacidade de visualizar o fenômeno e descrevê-lo utilizando conceitos lógicos retirados de sua bagagem social e cultural.

Em síntese, com os dados obtidos e a análise dos resultados, conclui-se que o trabalho alcançou os objetivos propostos inicialmente. Investigações complementares poderão analisar se a articulação teórica e se a proposta metodológica seriam aplicáveis a contextos um pouco diferenciados (como, por exemplo, em escolas públicas ou entre alunos do ensino fundamental) ou a tópicos de física com características constitutivas diferentes (por exemplo, temas clássicos que exijam menos abstração para a apreensão cognitiva). É uma perspectiva de ampliação e de continuidade que se coloca ao término desta investigação, considerando o seu domínio de validade.

Por fim, é importante mencionar que esta dissertação deu origem a trabalhos apresentados em congressos, os quais trataram das contribuições sobre o estudo da luz e seus impactos tecnológicos no cotidiano para o ensino de física e de ciências. Ela também resultou na publicação de um artigo, Cruzeiro *et al.* (2019), em uma revista de prestígio do Instituto de Física da Universidade de Brasília, a **Revista do Professor de Física**, posteriormente apresentado em um Encontro Regional preparado pelo Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ambos no ano de 2019.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. de C. D.; YONEZAW, W. M. Construção de instrumentos didáticos com impressoras 3D. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA*, 4., Ponta Grossa, 2014. **Anais...** Paraná, 2014. Disponível em: <http://sinect.com.br/anais2014/anais2014/artigos/tic-no-ensino-aprendizagem-de-ciencias-e-tecnologia/01409583389.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

ALMEIDA, E. G. de. Aprendizagem situada. **STIS**, v. 7, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.periodicos.letras.ufmg.br/index.php/textolivre/article/download/6097/5271>. Acesso em: 16 jun. 2020.

AMY WINEHOUSE voltará aos palcos na forma de holograma. **G1**, 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/pop-arte/musica/noticia/2018/10/11/amy-winehouse-voltara-aos-palcos-na-forma-de-holograma.ghtml>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANDRION, R. Hologramas ‘ressuscitam’ grandes nomes da música mundial em 2019. **Olhar Digital**, 18 jul. 2019. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/noticia/hologramas-sao-cada-vez-mais-presentes-em-shows-de-musica/88159>. Acesso em: 5 dez. 2019.

ARAÚJO, E. P. de. **Pirâmide “holográfica”**: uma introdução ao estudo da óptica no ensino fundamental. 2018. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/26475/1/Pir%C3%A2mide%22hologr%C3%A1fica%22introdu%C3%A7%C3%A3o_Ara%C3%BAjo_2018.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.

BACICH, L.; MORAN, J. (org.). **Metodologias ativas para uma educação inovadora**: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.

BARBOSA, J. C. Modelagem na educação matemática: contribuições para o debate teórico. *In: REUNIÃO ANUAL DA ANPED*, 24., Caxambu, 2001. **Anais...** Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/MATEMATICA/Artigo_Barbosa.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.

BARKLEY, E. F.; MAJOR, C. H.; CROSS, P. K. **Collaborative learning techniques**: a handbook for college faculty. 2. ed. São Francisco/CA: Jossey-Bass, 2014.

BOUGNOUX, D. **Introdução às ciências da comunicação**. 1. ed. São Paulo: EDUSC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: educação é a base. [S.l.]: CONSED; UNDIME, [201- 2018].

BRUNER, J. **A cultura da educação**. Porto Alegre: Artmed, 2001.

BRUNER, J. **O processo da educação**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972.

BRUNER, J. **Uma nova teoria de aprendizagem**. Rio de Janeiro: Edições Block, 1969.

BYBEE, R. W. **The BSCS 5E instructional model and 21ST century skills**. Colorado Springs, CO: BSCS, 2009. Disponível em: https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbassesite/documents/webpage/d_basse_073327.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.

BYBEE, R. W. *et al.* **The BSCS 5E instructional model: origins, effectiveness, and applications**. Colorado Springs, CO: BSCS, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242363914_The_BSCS_5E_Instructional_Model_Origins_Effectiveness_and_Applications. Acesso em: 16 jun. 2020.

CEP e mapa de Vicente Pires. **Blog da IBLMOV**, 28 fev. 2012. Disponível em: <http://iblmvp.blogspot.com/2012/02/cep-de-cada-condominio-de-vicente-pires.html>. Acesso em: 20 jan. 2020.

CESCHINI, Mayra da Silva Cutruneo. **Avaliação processual pela metodologia IBSE (Inquiry Based Science Education) na formação ecocidadã: contribuições para o ensino de ciências**. 2018.

COLOMBO, I. M.; ANJOS, D. A. S.; ANTUNES, J. R. Pesquisa translacional em ensino: uma aproximação. **Educação Profissional e Tecnológica em Revista**, Espírito Santo, v. 3, n. 1, p. 51-70, 2019. Disponível em: <https://ojs.ifes.edu.br/index.php/ept/article/view/377/338>. Acesso em: 16 jun. 2020.

COSTA, M. F. P. da C. M. (ed.). **45 atividades IBSE de aprendizagem das ciências para crianças dos 3-11 anos**. Braga, Portugal: Universidade do Minho, 2014. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/37365/1/45Atividades_PriSciNet_versaoelectronica.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.

CRUZEIRO, W. DA S.; FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. DA; ALBERNAZ, A. F. Investigação sobre a luz e seus impactos tecnológicos no cotidiano. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. Especial, p. 13-14, 6 jul. 2019.

ERAUSQUÍN, C. **La participación de los estudiantes de psicología en comunidades de práctica como contextos de formación académica y profesional: apropiación y construcción del conocimiento: uso de las teorías como herramientas para el análisis de los problemas**. 2003. 315 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, Buenos Aires, Argentina, 2003. Disponível em: <https://www.aacademica.org/cristina.erausquin/522.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L. Proposta de plano de aula para o ensino de física. **Physicae Organum**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 39-44, 2019. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/physicae/index>. Acesso em: 20 mar. 2019.

FERREIRA, P. R. **Ensinagem de cálculo às equações de Maxwell no ensino médio**: proposta extracurricular à luz da aprendizagem significativa. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, Goiás, 2017. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7434>. Acesso em: 16 jun. 2020.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física**: the Feynman lectures on physics. Porto Alegre: Bookman, 2008. v. 2.

FONTELLES, M. J. *et al.* Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, Belém, v. 23, n. 3, p. 1-8, jul./set. 2009. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=588477&indexSearch=ID>. Acesso em: 16 jun. 2020.

FORTE, C. E.; KIRNER, C. **Usando realidade aumentada no desenvolvimento de ferramenta para aprendizagem de física e matemática**. Santos, 2009. Disponível em: <https://sites.unisanta.br/wrva/st/62200.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

GABOR, D. Holography, 1948-1971. **Science**, v. 177, n. 4.046, p. 299-313, 1972. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/gabor-lecture.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

GARDNER, H. **Inteligências múltiplas**: a teoria na prática. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. Porto Alegre: Artmed, 1995.

GIORDAN, M.; GUIMARÃES, Y. A. F.; MASSI, L. Uma análise das abordagens investigativas de trabalhos sobre sequências didáticas: tendências no ensino de ciências. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 8., Campinas, 2011. **Anais...** São Paulo, 2011. Disponível em: http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/index.htm. Acesso em: 16 jun. 2020.

GLETTTE, G. Circo na Alemanha dá exemplo e troca animais por hologramas incríveis. **Hypeness**, Rio de Janeiro, [201-2019]. Disponível em: https://www.hypeness.com.br/2019/04/circo-na-alemanha-da-exemplo-e-troca-animais-por-hologramas-incriveis/?utm_source=facebook&utm_medium=hypeness_fb. Acesso em: 5 dez. 2019.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: óptica e física moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 4.

HEIDEMANN, L. A. **Ressignificação das atividades experimentais no ensino de física por meio do enfoque no processo de modelagem científica**. 2015. 298 f. Tese (Doutorado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/117767>. Acesso em: 16 jun. 2020.

HEWITT, P. G. **Fundamentos de física conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

INQUIRE BOTANY. **O projeto INQUIRE está a revigorar a aprendizagem ativa no ensino das ciências**. 2019. Disponível em: <http://www.inquirebotany.org/pt/>. Acesso em: 22 abr. 2019.

INTELIGÊNCIAS MÚLTIPLAS: conheça os vários tipos de inteligência e descubra a sua. **Hipercultura**, [2020]. Disponível em: <https://www.hipercultura.com/inteligencia-multipla-conheca-os-varios-tipos-de-inteligencia-e-descubra-a-sua/>. Acesso em: 4 mar. 2019.

KAUARK, F. S.; MANHÃES, F. C.; SOUZA, C. H. M. de. **Metodologia da pesquisa**: um guia prático. Itabuna/BA: Via Litterarum, 2010.

KLEIN, E. L.; VOSGERAU, D. S. R. Possibilidades e desafios da prática de aprendizagem colaborativa no ensino superior. **Revista Educação**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 667-698, out./dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reeducacao/article/view/29300/pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

KÜLLER, J. A.; RODRIGO, N. de F. Uma metodologia de desenvolvimento de competências. **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 1, p. 6-15, jan./abr. 2012. Disponível em: <https://www.bts.senac.br/bts/article/view/171>. Acesso em: 16 jun. 2020.

LENT, R. **100 bilhões de neurônios?** Conceitos fundamentais de neurociência. Rio de Janeiro: Atheneu, 2010.

MARQUES, R. **A pedagogia de Jerome Bruner**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://docplayer.com.br/16355465-A-pedagogia-de-jerome-bruner-ramiro-marques.html>. Acesso em: 16 jun. 2020.

MARTINS, Paulo Henrique; BENZAQUEN, Júlia Figueredo. Uma proposta de matriz metodológica para os estudos descoloniais. **Revista Cadernos de Ciências Sociais da UFRPE**, v. 2, n. 11, p. 10-31, 2018.

MASETTO, M. Inovação na educação superior. **Interface**, Botucatu, v. 18, n. 14, p. 197-202, fev. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/icse/v8n14/v8n14a17.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

MEDEIROS, A. A história e a física do fantasma de Pepper. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 23, n. 3, p. 329-345, dez. 2006. Disponível em:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5811/5801>. Acesso em: 16 jun. 2020.

MELO, A. C. S. de; CRUZ, F. F. de S. O gênero histórico priorizado em textos didáticos de física: contribuições ou distorções para o estudo da natureza da luz. *In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA*, 6., Curitiba, 2008. **Anais...** Paraná, 2008. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xi/sys/resumos/T0203-1.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

MELZI, A. L. R. Solução numérica das equações de Maxwell para cavidades dielétricas bidimensionais. 2012. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/SCAR_a3682f3fd8f6de0fb09d184196deb7f2/Detai1s. Acesso em: 16 jun. 2020.

MOREIRA, M. A. **Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: a teoria da aprendizagem significativa**. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

NEVES, E. B.; DOMINGUES, C. A. **Manual de metodologia da pesquisa científica**. Rio de Janeiro: EB/CEP, 2007.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2002. v. 4.

PENA, R. F. A. Eclipse. **Mundo Educação**, [201-2019]. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/eclipse.htm>. Acesso em: 20 ago. 2019.

PIAGET, J. **A epistemologia genética**. Rio de Janeiro: Zahar, 1973.

PRÄSS, A. R. **Teorias de aprendizagem**. Zurique: Scrinialibris.com, 2005.

ROQUE, D. A. Monga: o passado excêntrico e o futuro incerto das mulheres-gorila. **BBC Brasil**, 19 jul. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-49026834>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SALOMON, G. (ed.). **Distributed cognitions: psychological and educational considerations**. Reino Unido: Cambridge University Press, 1997.

SCHIVANI, M.; SOUZA, G. F. de; PEREIRA, E. Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo, v. 40, n. 2, e2506, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n2/1806-1117-rbef-40-02-e2506.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DO DISTRITO FEDERAL (SEEDF). **Currículo em movimento da educação básica: pressupostos teóricos**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.se.df.gov.br/curriculo-em-movimento-da-educacao-basica-2/>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SIQUEIRA, A. P. L. de *et al.* Resignificando o projeto sobre cultura indígena por meio das tecnologias digitais: a holografia como possibilidade na educação infantil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GAMES E ENTRETENIMENTO DIGITAL*, 16., Curitiba, 2017. **Anais...** Paraná, 2017. Disponível em: <https://www.sbgames.org/sbgames2017/papers/CulturaShort/175483.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SIQUEIRA, A. P. L. de *et al.* O uso de vídeos 3D em uma dinâmica moderna para atividades de ensino em diferentes espaços educativos: um estudo de caso no evento NUCAP de Portas Abertas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GAMES E ENTRETENIMENTO DIGITAL*, 15., São Paulo, 2016. **Anais...** São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.sbgames.org/sbgames2016/downloads/anais/157782.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SWIFT E LEARNING. **5E instructional model for elearning**. 2017. Disponível em: <https://www.swiftelearningservices.com/5e-instructional-model-for-elearning-a-model-preferred-by-nasa/>. Acesso em: 04 mar. 2019.

TAVARES, R.; ALMEIDA, P. Metodologia *Inquiry Based Science Education* no 1.º e 2.º CEB com recurso a dispositivos móveis – uma revisão crítica de casos práticos. **Educação, Formação & Tecnologias**, Portugal, v. 8, n. 1, p. 28-41, 2015. Disponível em: <http://eft.educom.pt/index.php/eft/article/view/445/0>. Acesso em: 16 jun. 2020.

TELECO. **Resultados trimestrais**. [S.d.]. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/smartphone.asp>. Acesso em: 23 set. 2017.

VIELMA, E. V.; SALAS, M. L. Aportes de las teorías de Vygotsky, Piaget, Bandura y Bruner: paralelismo en sus posiciones en relación con el desarrollo. **Educere**, Mérida, ano 3, n. 9, p. 30-37, jun. 2000. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/356/35630907.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

WEN, C. L. Homem virtual (ser humano virtual 3D): a integração da computação gráfica, impressão 3D e realidade virtual para aprendizado de anatomia, fisiologia e fisiopatologia. **Revista de Graduação USP**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 7-15, jul. 2016. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gradmais/article/view/117669/115343>. Acesso em: 16 jun. 2020.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: ótica e física moderna**. 12. ed. Londres: Pearson, 2009.