

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Cristian Nunes de Moraes

CONJUNTO DIDÁTICO DE ÓTICA:
Uma proposta prática para o ensino de luz e cor

Juiz de Fora

2021

Cristian Nunes de Moraes

Conjunto Didático de Ótica:
Uma proposta prática para o ensino de luz e cor

Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Juiz de Fora / Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Orientadora: Prof^a. Dra^a. Giovana Trevisan Nogueira

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Morais, Cristian Nunes de.

Conjunto Didático de Ótica : uma proposta prática para o ensino de luz e cor / Cristian Nunes de Moraes. -- 2021.

134 f.

Orientadora: Giovana Trevisan Nogueira

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, ICE/IFSEMG. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2021.

1. Ensino de Física.. 2. Luz.. 3. Percepção de cor.. 4. Dispersão da luz.. I. Nogueira, Giovana Trevisan, orient. II. Título.

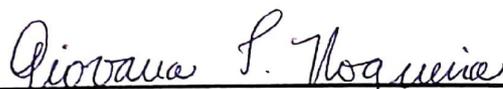
Cristian Nunes de Moraes

**CONJUNTO DIDÁTICO DE ÓTICA:
Uma proposta prática para o ensino de luz e cor**

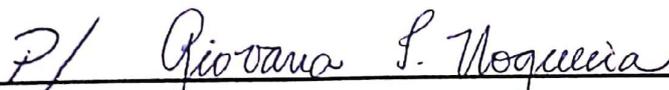
Dissertação apresentada ao Polo 24 do Programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino De Física da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Física na Escola Básica.

Aprovada em 8 de janeiro de 2021

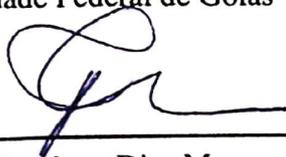
BANCA EXAMINADORA



Dra. Giovana Trevisan Nogueira, Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr. José Rildo de Oliveira Queiroz
Universidade Federal de Goiás



Dr. Paulo Henrique Dias Menezes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho ao meu filho Enrico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Prof^a. Dra^a. Giovana Trevisan Nogueira, que confiou no meu potencial, aceitando-me nessa incumbência tão desafiadora que é orientar um mestrando. Por seus ensinamentos e suporte durante a elaboração tanto da pesquisa quanto do produto; seus conselhos, sua orientação e observações permitiram alcançar o resultado planejado desde o início.

Aos meus professores do mestrado e da graduação no IF Sudeste-MG, que me incentivaram a continuar os estudos, quando nem mesmo estava cogitando essa possibilidade.

Agradeço também à comunidade escolar da Escola Estadual Professor Teodoro Coelho e da Escola Estadual Duque de Caxias, por me receberem e contribuírem para as pesquisas que foram base e objeto desta pesquisa.

Aos colegas da turma de 2018 do MNPEF, pelas ideias e vivências compartilhadas, suas experiências e as trocas durante as aulas serviram como exemplo e estímulo para sempre buscar o aperfeiçoamento do trabalho docente, tão edificante e inspirador.

Agradeço aos amigos da Guarda Municipal de Juiz de Fora pelo imenso apoio nos dois anos de curso, pelas trocas de serviço e pelo companheirismo com que me incentivaram a concluir esta importante etapa de minha vida.

Agradeço ao meu filho Enrico, tão paciente com minhas constantes ausências e, ainda que pequeno, um menino tão sábio, que me ensina todos os dias como ser uma pessoa melhor.

Agradeço a Deus, que me permitiu chegar até aqui.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um conjunto didático óptico associado a uma sequência didática construtivista para o ensino de conceitos de luz branca, reflexão e dispersão da luz e percepção de cor. O conjunto didático é composto por um espectrógrafo e uma Caixa de Luz, construídos com materiais acessíveis e de baixo custo, e permite que os fenômenos ópticos sejam apresentados de maneira atrativa para os alunos. Na Caixa de Luz, LEDs coloridos permitem observar a reflexão da luz e a formação da luz branca, além das possíveis combinações entre LEDs diferentes para trabalhar a percepção de cores, permitindo discutir os sistemas RGB e CMKY. O conjunto possui também corantes que permitem trabalhar as combinações de pigmentos e comparar os dois sistemas. O *fidget spinner*, um brinquedo popular, é utilizado para trabalhar as combinações de cores e a formação de luz branca. Esse conjunto foi aplicado em uma turma de alunos do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública estadual da periferia de Juiz de Fora, MG, orientado por uma sequência didática para o ensino de luz e cor. A aplicação ocorreu em quatro aulas de 50 minutos em maio de 2019. A análise dos resultados obtidos em sala de aula, juntamente com os relatórios elaborados pelos alunos, permitiu o aperfeiçoamento do produto para sua atual configuração. Conclui-se que o Produto Final, constituído pelo conjunto óptico e pela sequência didática, atingiu a expectativa inicial, estimulando os alunos a interagir com os fenômenos observados para encontrar as respostas para as situações didáticas propostas. As atividades sugeridas motivaram a participação dos alunos em grupo, estimulando o debate em sala de aula, e criando um ambiente de aprendizagem ativo e favorável.

Palavras-chave: Ensino de Física. Luz. Percepção de cor. Dispersão da luz.

ABSTRACT

This work presents an optical didactic set associated with a constructivist didactic sequence for the teaching of concepts of white light, reflection and dispersion of light and color perception. The low-cost didactic set consists of a spectrograph, made from a piece of CD and cardboard, and a small Light Box made with accessible materials, that can be used to present optical phenomena in an attractive way for students. Inside the box, LEDs allow you to observe the reflection of lights and perceive the formation of white light. In addition, possible combinations among the LEDs themselves allows you to work on color perception and the RGB and CMKY color systems. The set also has dyes to work with the pigment combinations and compare both systems. The fidget spinner, a popular toy, allows you to work on formation of white light, just by turning it to observe the phenomenon. This set was applied in a state public school on the outskirts of Juiz de Fora, through the didactic sequence for the teaching of light and color. The application took place in four 50-minute classes in May 2019. The analysis of the results found in the classroom, together with the reports prepared by the students, allowed the improvement of the product for its current configuration. It is concluded that the Final Product (the Set and the didactic sequence) reached the initial expectation, encouraged students to interact with the observed phenomena to find the answers to the proposed situations with the contribution of the didactic set. The suggested activities motivated the students' participation in groups, bringing the debate alive to the classroom, creating an active and favorable learning environment.

Keywords: Physics teaching; Light; Color perception; Dispersion.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Zonas de desenvolvimento de Vygotsky.....	20
Figura 2 - Tipos de radiação eletromagnéticas de acordo com a frequência e o comprimento de onda	25
Figura 3 - Espectro de fontes de luzes comerciais.....	26
Figura 4 - Gráfico do espectro de um corpo negro, para vários valores de temperatura.. ..	27
Figura 5 - Gráfico ilustrativo da Catástrofe do Ultravioleta	28
Figura 6 - Esquema de um olho humano	29
Figura 7 - Formação de imagem em um olho normal (em cima) e em um olho míope (em baixo)	30
Figura 8 - Formação de imagem em um olho normal (em cima) e em um olho hipermetrópe (em baixo)	30
Figura 9 - imagens ilustrando visão astigmática comparadas com visões normais.....	31
Figura 10 - Comparação da formação de imagem em um olho humano e uma máquina fotográfica.....	32
Figura 11 - Elementos de um olho humano	33
Figura 12 - Sensores oculares RGB	33
Figura 13 - Sensibilidade por comprimento de onda para os cones e bastonetes do olho humano	34
Figura 14 – Triângulo de Maxwell.....	35
Figura 15 - Reflexão da luz branca em um objeto (a) azul, (b) branco e (c) preto.....	36
Figura 16 - Absorção e reflexão de luz em objetos pigmentados	36
Figura 17 - Reflexão de luzes monocromáticas em uma figura da bandeira do Brasil	37
Figura 18 - Efeito do Disco de Newton ao ser girado	38
Figura 19 - Diagrama formação de cores por adição e subtração	38
Figura 20 - Sistema RGB - Filtro de cores primárias	39
Figura 21 - Sistema RGB - Filtro de cores secundárias	40
Figura 22 - Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado com luz amarela formada pelo sistema RGB	41
Figura 23 - Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado com luz branca formada pelo sistema RGB	42
Figura 24 - Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado por luz azul formada pelo sistema RGB	42

Figura 25 - O espectrômetro	46
Figura 26 - Corantes e o Disco de Newton produzido	46
Figura 27 - Vista superior interna da Maleta de Luz	47
Figura 28 - A Maleta de Luz com webcam	47
Figura 29 – Visualização das cores da imagem dentro da Maleta de Luz	48
Figura 30 – Maleta de Luz com celular	48
Figura 31 - Botões para manipulação dos LEDs	49
Figura 32 - Botões para manipulação dos LEDs	49
Figura 33 - Interior da Maleta com seus materiais	50
Figura 34 - Palavra Secreta	50
Figura 35 - Palavra Secreta iluminada com luz monocromática	50
Figura 36 - Figuras para teste de daltonismo	51
Figura 37 - Experimento de Isaac Newton	53
Figura 38 - Dispersões da luz branca no prisma	54
Figura 39 - Espectro da Luz	54
Figura 40 - Tabela de Comprimento de onda e Frequência de cores	55
Figura 41 - Espectrômetros produzidos pelos alunos	67
Figura 42 - Aplicação do produto	70
Figura 43 - Observação das cores dentro da Maleta	71
Figura 44 - Usada na aplicação dentro da Maleta de Luz para responder à pergunta 2	80
Figura 45 - Resultado da resposta dissertativa da Avaliação do trabalho de Juliana Machado	83

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	12
1.1 - OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	14
1.2 - APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE TRABALHO	15
1.3 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1- ALGUNS ESTUDOS SOBRE LUZ E COR	17
2.2 - CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS	18
2.3 - O SOCIOCONSTRUTIVISMO DE VYGOTSKY	19
2.3.1 - Desenvolvimento humano	19
2.3.2 - A Teoria de Vygotsky	19
CAPÍTULO 3 – CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE PERCEPÇÃO DE COR	22
3.1 – BREVE HISTÓRICO SOBRE OTICA	22
3.2 - ONDAS ELETROMAGNÉTICAS	24
3.2.1 - Composição espectral da luz	25
3.2.2 - Radiação de corpo negro	26
3.3 - PROCESSO DE VISÃO	29
3.3.1 - Daltonismo	31
3.3.2 - Fisiologia do olho humano	32
3.3.3 - Sensações de Cor.....	34
CAPÍTULO 4 – O PRODUTO DIDÁTICO	44
4.1 - O CONJUNTO ÓPTICO DIDÁTICO	45
4.1.1 - O Espectrômetro.....	45
4.1.2 - Fidget Spinner (Disco De Newton) e Corantes	46
4.1.3 - Maleta De Luz.....	46
4.2 – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	51
CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO E ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO CONCEITUAL	53
5.1 – QUESTIONÁRIO APLICADO	53
5.1.1 - Metodologia de análise das respostas.....	55
5.1.2 - Resultados e análise do questionário.....	56
CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO PRODUTO	64
6.1 – DESCRIÇÃO DAS AULAS.....	64
6.2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO	72
CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	75
7.1 - ANÁLISE DAS ANOTAÇÕES FEITAS EM GRUPO, NAS AULAS 1, 2 E 3 DA APLICAÇÃO	75
7.2 - AVALIAÇÃO FINAL	81
CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	90
APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO	93

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Trabalhar o conceito de cor no ensino médio é um grande desafio, pois muitas vezes tanto professores como alunos assumem que estes são assuntos simples e fáceis, e acabam não investindo esforços no desenvolvimento das aulas. De acordo com o estudo feito por Rosa e Rosa (2005), os critérios de seleção de conteúdo para o ano letivo usado por professores são focados na preparação para o vestibular, dando ênfase na resolução de exercícios. De acordo com os autores:

Eles [os professores] são unânimes em destacar que, em virtude do pouco tempo e da gama imensa de conteúdos, a metodologia centra-se na aula expositiva com a utilização do quadro e giz, praticamente inexistindo atividades como aula experimental em laboratório ou a utilização de softwares para demonstrações. Na colocação dos entrevistados, a prioridade é abordar o maior número de tópicos possíveis e realizar um número satisfatório de exercícios. (ROSA e ROSA, 2005, p.13).

Com critérios e metodologias de ensino voltado ao vestibular, conteúdos de óptica associados a problemas numéricos, como a óptica geométrica, passam a ter prioridade em detrimento de temas que necessitam de discussões conceituais, como ocorre com o conceito de cor. Neste ambiente de “*ensino para teste*”, estes problemas numéricos são abordados sem nenhuma preocupação em dar significado dos fenômenos físicos aos alunos (BATISTA et al., 2017).

Por outro lado, estudos sobre concepções alternativas sobre óptica mostram que mesmo os alunos de ensino médio podem apresentar modelos de luz, cor e visão diferentes do modelo científico (MELCHIOR e PACCA, 2005; BATISTA et al., 2017). Em um mundo tecnológico onde redes sociais, celulares e fotografias digitais estão extremamente populares, e o sistema de formação de cores no sistema RGB, usado em telas de celulares e monitores, e no sistema MKS, usado em impressoras, estão presentes no dia a dia dos alunos, trabalharem estas concepções alternativas torna-se um elemento importante para que o aluno possa exercer sua cidadania em toda a sua complexidade. Neste contexto, elaboramos um conjunto didático com experimentos de ótica e uma sequência didática associada a ele com objetivo de inserir a discussão do conceito de cor no ensino médio, levando-se em consideração as concepções alternativas dos estudantes.

A sequência didática foi pensada sob a perspectiva socio-construtivista de Vygotsky

(FINO, 2001). Esta abordagem foi escolhida porque o conceito de cor envolve, além das características físicas da luz e dos objetos estudados, a percepção sensorial de quem observa um determinado objeto. Levando-se isto em conta, espera-se que uma abordagem experimental onde os alunos manipulam objetos e desenvolvem suas ideias sobre o conceito através da discussão com colegas e da mediação do professor permita ao aluno trabalhar suas percepções e comparar estas percepções às de seus colegas. Também é esperado que através dessa abordagem alunos possam relacionar suas percepções às características físicas dos objetos e da iluminação ambiente, bem como observar fenômenos envolvendo o conceito de cor em objetos e situações presentes na sociedade atual, tais como os sistemas de composição de cor RGB e MKS, a iluminação ambiente por diferentes tipos de lâmpadas (incandescentes, LEDs, fluorescente) e a mistura de cor por corantes alimentícios.

O conjunto didático de ótica desenvolvido é composto pelos seguintes materiais:

- **Maleta de Luz:** montagem composta por uma maleta em cujo interior é colocada uma figura a ser estudada em uma extremidade e LEDs de várias cores (azul, verde, vermelho, amarelo e laranja) na outra, iluminando a figura. No meio da maleta coloca-se uma câmera (webcam ou um celular) com a qual se pode observar como a figura tem sua cor alterada ao ser iluminada pelos LEDs com a caixa fechada. Essa maleta permite vários tipos de atividades, como desafios de adivinhar a cor de objetos secretos, estudarem figuras de diagnóstico de daltonismo, desafiar os alunos a produzir a cor branca a partir de fontes de luz monocromáticas, entre outras. A vantagem desta caixa é que ela permite alterar a iluminação de objetos, em sala de aula, sem a necessidade de apagar a luz da sala. Cada aluno ou grupo de alunos pode estudar o fenômeno de mistura de cores por reflexão simultaneamente, mas com caminhos diferentes.
- **Espectroscópio de baixo custo,** que usa CD como rede de difração. Esta montagem permite estudar a composição espectral da luz branca de várias fontes de luz.
- **Tintas:** Tinta guache ou corante para alimentos para realizar combinações de pigmentações.
- **Disco de *fidget spinner*:** disco de Newton montado com um *spinner* colorido para girar e observar as combinações de cores por reflexão.

A sequência didática foi desenvolvida levando-se em consideração concepções espontâneas descritas na literatura (MELCHIOR e PACCA, 2005; BATISTA et al., 2017) e em também em algumas apresentadas por alunos do terceiro de uma escola pública de Juiz de

Fora. Estas últimas foram levantadas em questionário aplicado na escola em questão no início do desenvolvimento do produto. Apesar de esta sequência didática ter sido elaborada para um público alvo específico, ela serve de exemplo de atividades que podem ser trabalhadas com este conjunto educacional escolas com outros perfis socioeconômicos.

Esta sequência didática é composta por cinco aulas que abrange os seguintes temas: debate inicial sobre o conceito de cor, o conceito de luz branca, conceito de mistura de cores (por reflexão e por pigmentação), aplicações da mistura de cor por reflexão e avaliação da aprendizagem. As aulas envolvem atividades experimentais com o conjunto educacional, debates livres guiados por pequenos desafios, tais como gerar luz branca com um conjunto de LEDs coloridos, descobrir uma mensagem secreta em uma figura similar às usadas em testes de daltonismo, descobrir a cor de uma figura secreta. Esta sequência didática também possui atividades extraclasse com indicações de textos, vídeos e pequenas atividades experimentais, a fim de antecipar ou complementar assuntos que serão abordados nas aulas. O Professor em meio a toda atividade atua nos estímulos ao debate, na condução dos objetivos pedagógicos pré-definidos em cada aula e na avaliação do processo de ensino e aprendizado desenvolvido ao longo das aulas.

O produto educacional e a sequência didática apresentados aqui foi aplicado em uma turma do terceiro ano do ensino regular de uma escola pública de Juiz de Fora no mês de maio de 2019. Os resultados desta aplicação serão discutidos no final desta dissertação.

1.1 - OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

- **Objetivo Geral:** Elaborar um conjunto de experimentos para o ensino do conceito de cor dentro do contexto sócio-construtivista de Vygotsky.
- **Objetivos específicos:**
 - Identificar e categorizar concepções alternativas acerca dos fenômenos de cor e luz a partir de questionários;
 - Elaborar experimentos para promover discussões sobre o conceito de cor, em especial sobre os tópicos de o que é luz branca, dispersão da luz branca em um prisma, soma de cores por pigmentação e por reflexão, conceito de cores primárias e secundárias;
 - Elaborar uma sequência didática associada aos experimentos voltada para alunos do ensino médio.

1.2 - APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho foi iniciado com uma busca bibliográfica sobre o conceito de cor, sobre concepções alternativas sobre este conceito e sobre trabalhos aplicados já realizados sobre este tema. O objetivo principal foi reunir material bibliográfico que permitisse o desenvolvimento de um produto educacional que trabalhasse as principais concepções alternativas dos alunos.

Em paralelo a esta revisão bibliográfica, aplicou-se um questionário conceitual sobre o conceito de cor em uma turma do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública da periferia do município de Juiz de Fora em outubro de 2018. O objetivo deste questionário foi de verificar quais as concepções alternativas coletadas na revisão bibliográfica estariam presentes em alunos com o perfil sócio-econômico no qual a sequência didática aqui desenvolvida seria aplicada. Este questionário possuía 7 questões abertas, envolvendo os temas: luz branca, decomposição de cores, soma de cores por reflexão e soma de cores por pigmentação. Ao todo, 40 alunos responderam a este questionário.

O desenvolvimento do conjunto educacional e da sequência didática durou cerca de 5 meses, a partir da aplicação do questionário conceitual. Ele teve como base as respostas do questionário aplicado e da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas. Os detalhes desta elaboração deste conjunto didático serão apresentados no Capítulo 5.

Em maio de 2019, o produto educacional desenvolvido foi aplicado em uma escola da periferia de Juiz de Fora com perfil socioeconômico semelhante à escola onde o questionário conceitual fora aplicado. Embora a ideia original tenha sido de que a aplicação do questionário e do produto fosse na mesma escola, isso não foi possível por mudança do professor regente desta última no ano da aplicação do produto. As atividades foram realizadas em 4 aulas de 50 minutos (uma aula por semana). Infelizmente, o processo de aplicação do produto não pôde ser filmado por determinação da escola. Entretanto, durante as atividades, os alunos foram instruídos a realizar anotações sobre as atividades e discussões realizadas. A análise da aplicação da sequência didática foi feita baseando-se nestas anotações e em uma avaliação final individual realizada através de um questionário de múltipla escolha traduzido e adaptado do trabalho de Bravo e Pesa (2005). A aplicação do produto e a metodologia de análise do questionário e dos relatórios dos alunos serão apresentados no Capítulo 6 e 7, respectivamente.

1.3 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada da seguinte maneira: no capítulo 2 apresentaremos o referencial teórico pedagógico que norteou este trabalho. No capítulo 3 mostraremos conceitos de física relacionados ao conjunto didático óptico aqui desenvolvido. No capítulo 4 como foi feito o conjunto didático e um resumo da sequência didática. No capítulo 5 a análise do questionário conceitual. No capítulo 6, apresentaremos a aplicação em sala de aula, com ponderações e observações. No capítulo 7 encontra-se a análise de dados da aplicação do produto. No capítulo 8 a conclusão.

No Apêndice A encontra-se a descrição completa do produto educacional em um texto voltado ao professor da escola básica, com informações de como montar o conjunto didático e com a descrição detalhada da sequência didática.

CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO

Apresentaremos nesta seção o embasamento teórico desta dissertação. Na primeira seção apresentaremos uma revisão bibliográfica sobre trabalhos relacionados ao ensino do conceito de cor. Na sequência, apresentamos uma revisão sobre as principais ideias relacionadas ao sócio-construtivismo de Vigotsky.

2.1- ALGUNS ESTUDOS SOBRE LUZ E COR

As pesquisas preexistentes foram determinantes para os rumos do presente trabalho e para a montagem do produto que dele resulta. O primeiro momento fez-se da pesquisa de concepções alternativas, bastante influenciado pelos Textos de Apoio ao Professor de Física - Concepções Alternativas em Ótica (ALMEIDA et al., 2007), que fazem parte de uma coletânea do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) disponibilizada para professores de Ensino Médio, cujos textos tentam mostrar erros conceituais recorrentes dos alunos de Ensino Médio, acrescido de um material enxuto mas bastante rico com a temática luz e cor. Esses textos apresentam um histórico sobre a natureza e propagação da luz e informam o que são as *concepções alternativas*, mostrando através de representações com figuras e explicações as principais encontradas em pesquisas de Ensino de Física.

O trabalho de Juliana Machado (MACHADO, 2007) destacou-se como uma forte inspiração, por discutir o conceito de cor tanto na teoria quanto na prática, apresentando-o enquanto faz uma dinâmica em que ilumina diversos materiais com luzes de diferentes cores. Em sua prática, em uma sala com luzes apagadas, usando lâmpadas coloridas que incidiam sobre tecidos também coloridos, ela inquiria aos alunos sobre a cor real dos objetos, o que sempre gerava respostas divergentes das cores reais desses objetos sob a luz branca. Essa atividade motivou a criação da Maleta de luz, produto deste trabalho, sendo o interior da Maleta como a sala e os LEDs no interior da Maleta como as lâmpadas usadas dentro da sala. O fenômeno das cores resultantes no interior da Maleta pode ser observado por uma câmera a ela acoplada.

Ambas as referências foram muito importantes na confecção do primeiro questionário desta pesquisa. As dificuldades recorrentes encontradas nestas pesquisas possibilitaram criar perguntas para o questionário aqui produzido para aplicação em sala, apresentando um

caminho para o início da pesquisa, de fácil entendimento para o aluno, a fim de diagnosticar em suas respostas o entendimento dos fenômenos Luz e Cor.

2.2 - CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS

Almeida et al.(2007), principalmente ao trabalhar com as concepções recorrentes dos alunos relacionadas à luz e cor, como diferenciações em luz colorida ativa, se a luz colorida contém cor e sobre luz branca, serviu como fundamento desta pesquisa. Nela, os alunos entendiam que as cores do objeto se definiam exclusivamente pelo pigmento, que seria a “verdadeira” cor. A luz colorida ativa em contato com algum objeto impede de observar a “verdadeira” cor e, realizando-se o escurecimento, pode também interferir na cor das sombras. A luz branca é passiva, sem cor, ilumina os objetos sem alterar suas cores. A luz colorida é escura, apresentando-se como oposta ao claro, parametrizada em uma escala, na qual, por exemplo, o vermelho é mais escuro que o amarelo, e que vai de branco até preto. A concepção de que luz contém cor pode ser observada pelo entendimento que alunos têm de que o objeto possui uma determinada cor, e que, sendo iluminado com luz colorida, ocorre uma combinação entre a “cor da luz” e a “cor do objeto”. Na aplicação percebeu-se como essa pesquisa foi assertiva, tendo possibilitado perceber como os alunos entendem o comportamento de luz e cor.

Na aplicação do primeiro questionário elaborado para esta pesquisa, curiosamente, os alunos demonstraram dificuldade em perceber que a luz pode alterar nossa percepção de cor. Quando questionados sobre o que é luz branca, muitos buscavam explicações nas suas experiências cotidianas, argumentando, por exemplo, que o vidro que acondiciona o gás das lâmpadas fluorescentes é branco, logo a luz que dele emana é branca. Questionados sobre qual era luz branca, a luz do dia ou da lâmpada na sala, a maioria disse que a do dia era a branca por ser natural. Poucos sabiam dizer que as duas são brancas, predominando o argumento de que algumas lâmpadas apresentam a cor amarela. Pelas respostas percebia-se que estavam falando das lâmpadas incandescentes, novamente reduzindo o conhecimento às suas próprias experiências sensoriais.

2.3 - O SOCIOCONSTRUTIVISMO DE VYGOTSKY

Nesta seção apresentaremos um resumo das principais ideias sobre aprendizagem de Vygotsky que nortearam o desenvolvimento deste trabalho.

2.3.1 - Desenvolvimento humano

O ser humano está em um processo contínuo de desenvolvimento, que é conhecido como “desenvolvimento do ciclo de vida”. Os estudos sobre esse processo têm se tornado cada vez mais sofisticados, conforme as tecnologias se aperfeiçoam. É um campo essencialmente interdisciplinar, com contribuições da psicologia, psiquiatria, sociologia, antropologia, biologia e outros. Esses estudos são aplicados em várias áreas, e a educação é uma das que mais pode se beneficiar deles. Nesse campo, nos deparamos com várias teorias e correntes acerca desse desenvolvimento, e é importante saber identificar qual, ou quais, podem servir como arcabouço teórico para pesquisas sobre ensino e aprendizagem, atendendo aos objetivos específicos de cada projeto.

Neste trabalho, a perspectiva de estudo parte do socioconstrutivismo do psicólogo russo Lev Semyonovich Vygotsky (1866-1934), para quem o desenvolvimento humano advém da troca entre parceiros sociais, motivados pelo processo de interação e mediação. A natureza complexa do homem apresentar-se-ia nos inúmeros aspectos de seu desenvolvimento físico, biológico e social, num movimento que se desenharia a partir das interações sociais, influenciando as maneiras de agir e pensar de cada época.

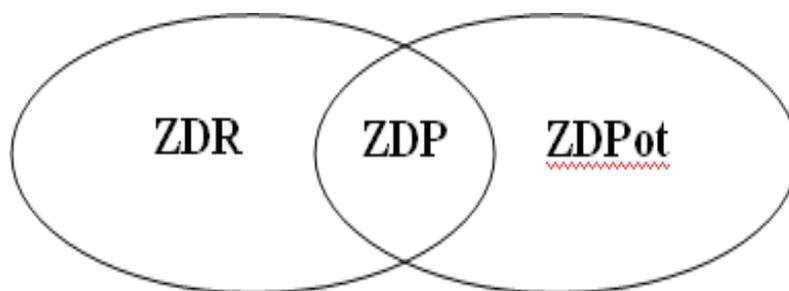
2.3.2 - A Teoria de Vygotsky

Ao pensar em desenvolvimento humano inevitavelmente nos deparamos com variados grupos de trabalhos e pesquisadores, formatando um alicerce teórico que se nos dispõem. O trabalho de Vygotsky destaca-se ao não desprezar o conhecimento que o aluno traz consigo, tornando o processo de aprendizado natural, pois a troca de experiências tornaria o conhecimento mais concreto para esse indivíduo, que é ativo e responsável pela construção do seu aprendizado. O educador atua como mediador e motivador do debate que transforma o conhecimento. Nessa perspectiva, surgem dois tipos de conceitos: as concepções alternativas que são conceitos que surgem espontaneamente advindos da observação, e os conceitos científicos. Uma criança, por exemplo, ao observar o céu, diz que o sol se movimenta, desprezando conceitos formais teóricos, descrevendo uma observação aparente, imbuída de

crenças que não se relacionam com a concepção científica. O papel da escola é extrapolar as concepções alternativas, consolidando os conceitos amparados pela ciência. O conceito científico deve ser comprovado por pesquisas controladas, submetido a testagens de validação e ao aceite da comunidade científica.

Vygotsky (FINO, 2001) ao estudar o desenvolvimento humano, desenvolveu a ideia de Zonas de Desenvolvimento, que dividiu em três zonas de conhecimento: a primeira é a área que representa o que o aluno *já sabe* - a Zona de Desenvolvimento Real (ZDR), na qual está o aprendizado já consolidado; a área daquilo que o aluno *pode aprender* mostra potencialmente o que se pode adquirir com ajuda, e é chamada de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), e aquilo que o indivíduo *não pode* adquirir são saberes que, mesmo com ajuda não serão atingidos, e ficam fora da Zona de Desenvolvimento Proximal. À medida que o conhecimento *proximal* vai se tornando *real*, o aluno adquire uma maturidade que lhe permite atingir aquela área que estava fora de sua Zona de Conhecimento Proximal (o *não pode*), tornando-se um conhecimento potencial, inserido, portanto, na Zona de Desenvolvimento Potencial (ZDPot).

Figura 1 Zonas de desenvolvimento de Vygotsky



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Para Vygotsky (FINO, 2001) temos dois tipos de ferramentas para aquisição do conhecimento: as externas, que podem modificar o meio (martelo, serrote, faca) e as internas, ou cognitivas, que são usadas para autocontrole das ações e pensamentos. Um sistema simbólico, como a linguagem, que pode organizar nosso pensamento para exercer a comunicação com outras pessoas, é um tipo de ferramenta cognitiva. Essas precisam ser internalizadas: uma criança, ao realizar uma operação matemática, inicialmente, pode utilizar os dedos e, depois de muita prática e do estímulo pelo convívio com outras pessoas que já dominam as operações, vir a realizá-la sem esse auxílio, demonstrando a internalização do conhecimento. As ferramentas são criadas e modificadas pelos seres humanos como forma de

ligar o mundo real ao pensamento e de regular os comportamentos com o mundo e com outras pessoas. A consciência é alcançada através das atividades mediadas por essas ferramentas, que influenciam no objeto da atividade. No caso da educação escolar, pode ajudar o mediador a conduzir os trabalhos em sala que, bem orientados, podem alterar esse objeto.

Como Vygotsky (FINO, 2001) trabalha o conhecimento em atividades socialmente organizadas através da mediação, se fazem presentes as ferramentas e os signos. O homem é o único ser capaz de produzir objetos para alterar o meio com uma finalidade específica. O objeto existe para todas as espécies, porém apenas o ser humano pode instrumentalizá-lo para um fim futuro e específico, remetendo a outro elemento da teoria vygotskyana, que são os signos, advindos das funções psicológicas superiores e que possibilitam representar mentalmente o mundo por símbolos. Ao referir-se à “cadeira”, mesmo sem ver ou interagir com um exemplar no momento, o homem consegue identificar mentalmente o objeto. Uma criança relaciona-se em um ambiente social provido de instrumentos e signos, sendo este repertório ampliado a cada nova interação social. A linguagem é o principal meio de comunicação, e através dela o pensamento toma forma. Ao comunicar-se, o sujeito percebe que o significado se apresenta na etimologia da palavra, mas o sentido vem carregado de uma significação humana. O significado faz-se pela vivência em atividades e com objetos que, juntos, contextualizam problemas que serão solucionados conjuntamente em debates.

CAPÍTULO 3 – CONCEITOS FÍSICOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE PERCEPÇÃO DE COR

Estudar o conceito de cor em toda a sua plenitude exigiria uma abordagem multidisciplinar, envolvendo outras áreas do conhecimento. Este conceito envolve aspectos da física, como a composição da luz, processos de reflexão e refração, químicos, em relação à composição de pigmentos, biológicos, relacionados ao o funcionamento do olho humano, problemas de visão, como daltonismo, etc, e até cultural. Entretanto, abrangência de todos estes aspectos envolve um trabalho que foge dos objetivos centrais desta dissertação. Nos concentraremos aqui a alguns aspectos físicos e biológicos.

Discutiremos primeiramente nesta seção os aspectos relacionados à luz, apresentando resumidamente alguns aspectos históricos da óptica e, em seguida, os conceitos principais da radiação eletromagnética.

3.1 – BREVE HISTÓRICO SOBRE ÓTICA

Em 1666, Isaac Newton dedicava-se ao polímoro de vidro ótico fazendo um prisma no intuito de observar as cores da dispersão da luz (NEWTON, 2002). A aplicação experimental aconteceu em seu próprio quarto, escurecido, com apenas um orifício na janela para a entrada de um feixe de luz, frente ao prisma, que foi posicionado de maneira a que os feixes fossem refratados à parede oposta. Ao observar o fenômeno, Newton esperava um formato circular pelas leis da refração, mas percebeu que se apresentavam uma forma alongada. Ele percebeu graduações de cores, cada uma com seu grau de refringência. Newton então propôs que as cores não são qualificações da luz provenientes das refrações ou reflexões; elas são propriedades originais e inatas. Os fenômenos de refração, reflexão ou qualquer outra causa não alteram o grau de refringência da cor associada (NEWTON, 2002).

Robert Hooke criticou as ideias de Newton, que estava em início de carreira, acusando-o de defender a materialidade da luz (NEWTON, 2002). Hooke acreditava que a luz era constituída por pulsos com pequena amplitude que, se propagando no meio, ou seja, no ar, constituíam duas cores, vermelho e azul. As cores intermediárias seriam apenas distorções dos pulsos durante as refrações. Para Newton, as cores se apresentavam infinitamente representadas por seus respectivos graus de refringência (NEWTON, 2002). Em meio a toda esta controvérsia, Newton relutou em publicar seus materiais, apresentando-os apenas em 1704, um ano após a morte de Hooke, em sua primeira edição da obra *Óptica* (NEWTON,

2002).

Em 1611, temos a primeira explicação mais próxima da atual acerca da formação do arco-íris do livro *De Radiis Visus et Lucis*, no livro do arcebispo de Spalato, Antonius de Dominis (NEWTON, 2002). Nesse trabalho, ele descreve a experiência e as medições das refrações da luz em um vidro esférico com água.

Entre 1637 e 1638 é publicado o *Discours de la Méthode*, de Descartes, dividido em *La Dioptrique* e *les Météores de la Géométrie*. O primeiro não cita o trabalho de Snell, apresentando a lei da refração mais correta (NEWTON, 2002). O segundo aperfeiçoa o trabalho de Antonius de Dominis na formação do arco-íris. Em 1648, Marcus Marci publica o *Thaumantias* descrevendo experimentos com prismas (NEWTON, 2002).

Em 1665, Hooke realiza seu trabalho *O Micrographia*, apresentando observações realizadas por microscópio acerca das inflexões (dispersão da luz). A dispersão da luz foi descoberta por Grimaldi em 1665. Em 1669, Erasmus Bartholin descobre a dupla refração. Newton era muito influenciado por Descartes, Boyle e Hooke (NEWTON, 2002). Em 1666 ele descobre a maneira completa para a decomposição das cores, apresentando em 1672 os resultados. Nesse mesmo ano torna-se conhecido na comunidade científica europeia com dois artigos: um que apresenta como raios que produzem cores diferentes refratam-se de modo diferente e o outro com a descrição do seu telescópio refletor.

Em 1675, Newton envia à Royal Society a descrição do experimento sobre as cores em lâminas delgadas, que não demonstrou interesse em publicá-la, sendo o conteúdo deste material então apresentado em 1704, no livro *Óptica II*. Em 1687, publica em latim os princípios matemáticos da Filosofia Natural trabalhando óptica em proposições (NEWTON, 2002).

Newton acreditava na teoria corpuscular da luz, contrariando Descartes, Hooke e Huygens (NEWTON, 2002), sendo que estes, de maneira muito peculiar, acreditavam que a luz era um movimento transmitido que preenchia o espaço. O modelo corpuscular de Newton vem da influência do atomismo do Padre Pierre Gassendi (1529-1655) e da propagação retilínea da luz, que pode ser constatada em uma sala empoeirada ou até mesmo no feixe de luz solar que sai das nuvens, e na formação das sombras dos objetos. Newton o contrapõe mostrando o desvio da luz em fluidos. A invariância das propriedades da luz também ratifica a crença no modelo corpuscular, pois nele as cores do espectro permanecem as mesmas. Mas a teoria corpuscular da luz de Newton apresenta-se como uma curiosidade.

Newton ganhou destaque com a lei da gravitação universal e a formulação da mecânica. No século XVIII, seu modelo corpuscular foi dominante. Os trabalhos de Young e Fresnel

contrariaram a teoria corpuscular da luz com o conceito de interferência, apresentando a luz como vibrações em um meio na direção de propagação (NEWTON, 2002). Este trabalho foi um sucesso, consolidando-se com a teoria eletromagnética de Maxwell, que abordou a luz como onda.

A teoria de Maxwell é muito completa, comprovada experimentalmente, principalmente após a descoberta de Oersted em 1820 (NEWTON, 2002), que apresentou a relação entre eletricidade e magnetismo.

Albert Einstein (1905) apresenta novamente o modelo corpuscular da luz com estudos acerca dos fótons e do efeito fotoelétrico. Os trabalhos de Compton, Einstein e Planck (NEWTON, 2002) apresentam essa nova Física para a luz no século XX, segundo a qual luz é uma onda eletromagnética que também pode se comportar como partícula transformada pela observação (NEWTON, 2002).

3.2 - ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A equação de onda que aparece nos estudos da eletrodinâmica, área que investiga os campos elétricos e magnéticos relacionados com a velocidade da luz, apresenta fortes indícios para se pensar na luz como onda eletromagnética. As ondas de rádio, televisão, micro-ondas e raios-X, mesmo não sendo visíveis como a luz, também são ondas eletromagnéticas e se adequam a essa teoria (NEWTON, 2002). A figura 2 mostra a distribuição dos tipos de radiação eletromagnética ao longo do espectro de frequência. Observamos que a parte visível da radiação eletromagnética é uma faixa muito estreita dentro do espectro de radiação equivalendo à faixa de comprimento de onda 400 nm a 700 nm (1 nm equivale a 10^{-9} m).

As cores dentro do espectro visível correspondem a uma resposta sensorial diretamente ligada ao comprimento de onda da luz que chega aos olhos de um observador, ou seja, cada comprimento de onda do espectro de radiação visível corresponde a uma cor, como mostra a tabela 1. Na seção 3.3, *Processo de Visão*, será mais bem abordada essa resposta sensorial.

Figura 2 - Tipos de radiação eletromagnéticas de acordo com a frequência e o comprimento de onda.

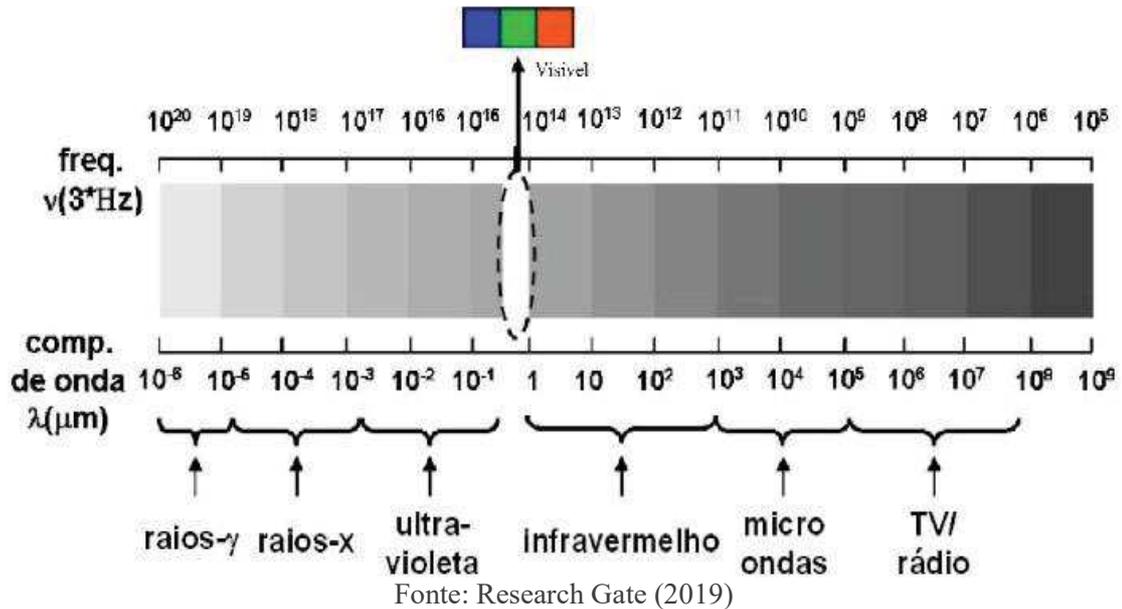


Tabela 1- comprimento e frequência de luz monocromática

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (THz)
Vermelho	625 a 740	480 a 405
Laranja	590 a 625	510 a 480
Amarelo	565 a 590	530 a 510
Verde	500 a 565	600 a 530
Ciano	485 a 500	620 a 600
Azul	440 a 485	680 a 620
Violeta	380 a 440	790 a 680

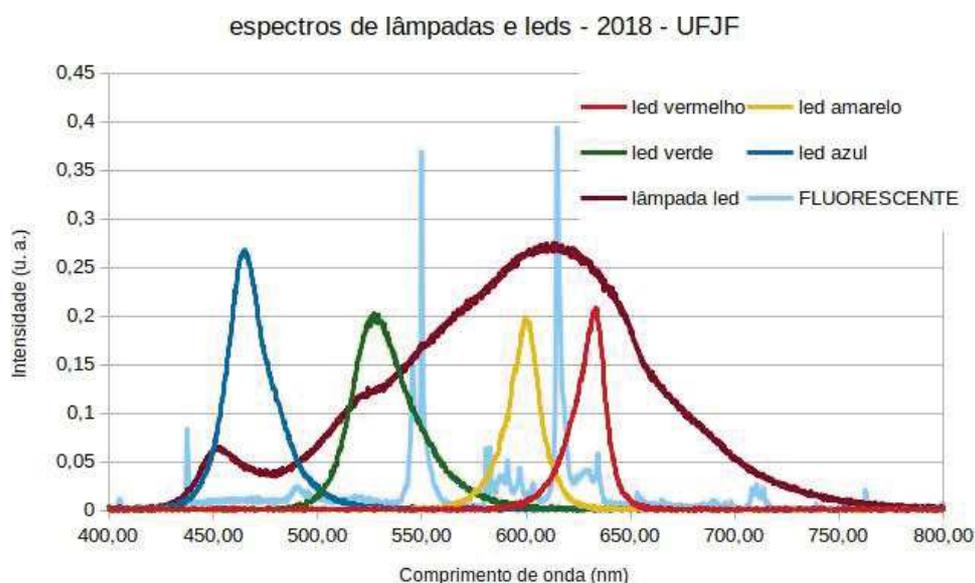
Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-visivel/>

3.2.1 - Composição espectral da luz

Um dos principais aspectos da teoria ondulatória da luz para o entendimento da percepção de cor é a composição espectral da luz ambiente, ou seja, da intensidade por comprimento de onda de cada componente emitida pela fonte de luz. A figura 3 mostra o espectro de várias fontes de luz comerciais. Se compararmos, por exemplo, o espectro de uma lâmpada incandescente com uma lâmpada fluorescente, vemos que, enquanto a primeira emite luz em todo o espectro visível, a lâmpada fluorescente emite luz em comprimentos de ondas

bem definidos. Isto implica que, o mesmo objeto iluminado por estes dois tipos de lâmpadas irá refletir luz com composição espectral diferente. O resultado disso, é que o observador poderá perceber uma coloração diferente do mesmo objeto.

Figura 3 - Espectro de fontes de luz comerciais.



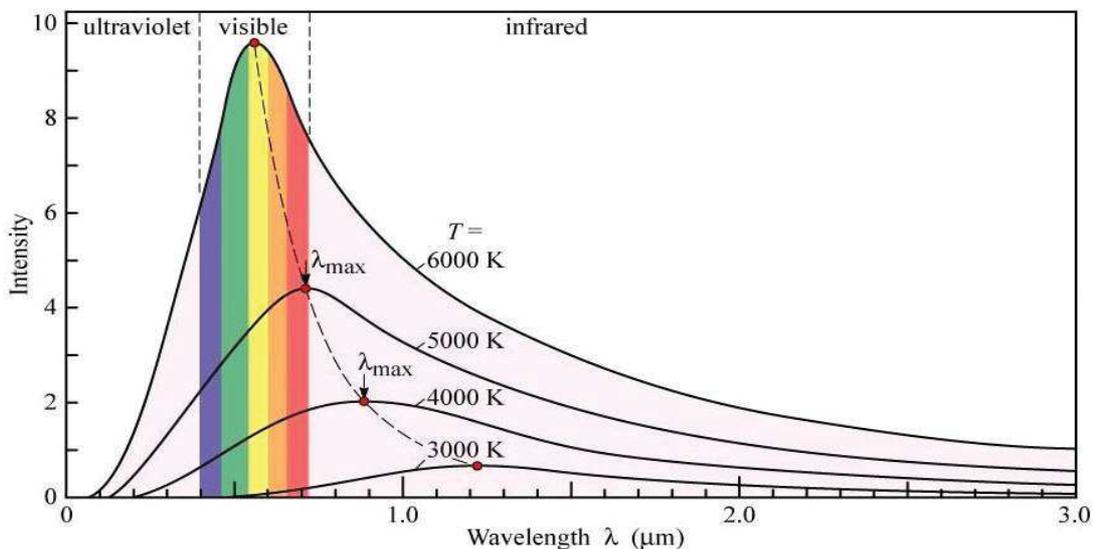
Fonte: acervo pessoal da Prof^a. Giovana Nogueira/UFJF

3.2.2 - Radiação de corpo negro

A diferença no espectro emitido pelas diversas fontes de luz apresentadas na figura 3 se dá basicamente pela diferença do processo físico responsável pela emissão da radiação. No caso da lâmpada fluorescente, a emissão de luz se dá por processos de excitação por descarga elétrica consequente emissão espontânea dos átomos presentes no gás da lâmpada. No caso da luz incandescente, o processo de emissão de luz se dá pelo aquecimento do filamento da lâmpada. Devido a este mecanismo também ser a origem da luz solar, nesta seção apresentaremos uma descrição deste processo.

Um corpo que possui a temperatura maior que o ambiente que lhe permeia passa a emitir radiação eletromagnética para o meio, em uma troca de energia até atingir o equilíbrio térmico. A ferramenta que explica esse processo de troca é a *radiação de corpo negro*. Este conceito idealiza a concepção de um objeto que absorve toda a radiação eletromagnética que incida sobre ele e depois a reemite, originando o espectro de corpo negro, dependente da temperatura do corpo.

Figura 4: Gráfico do espectro de um corpo negro, para vários valores de temperatura.

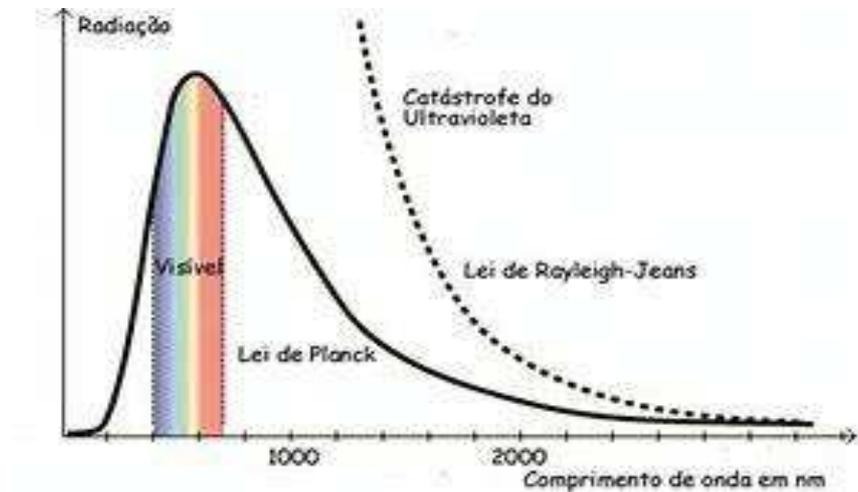


A figura 4 mostra o espectro de um corpo negro em quatro valores de temperaturas diferentes. Olhando o espectro, cada temperatura tem um pico de emissão em determinada frequência. No caso do sol, seu pico de emissão é verde, ou seja, aproximadamente 5800K; aumentando a temperatura, sua frequência de pico de emissão também ficará maior.

Na Catástrofe Ultravioleta, em 1900, a emissão de radiação já estava sendo estudada por Lord Rayleigh e Sir James Jeans, interessados em modelar o espectro de emissão de corpos negros com dados experimentais já existentes. Eles foram os primeiros autores do modelo de radiação de corpo negro, o nomeando de “O modelo de Rayleigh-Jeans” (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Esse modelo funcionou bem para pequenas frequências, prevendo que, se a temperatura aumentasse a frequência também aumentaria. Observando os dados experimentais, viu-se que não funcionavam dessa maneira (figura 5); na verdade, conforme a temperatura aumentava, a frequência diminuiria. A razão é que esse modelo não observava um conceito fundamental da Física, que é a conservação de energia. Todo corpo, por emitir infinitas quantidades de radiações, com frequências altíssimas, deveria emitir doses letais de radiação somente por existir temperatura maior que a do ambiente. Se o modelo estivesse correto, o simples fato de acender um isqueiro se tornaria algo perigosíssimo, pois estaríamos expostos a radiações de altíssimas energias. Essa é a catástrofe ultravioleta, que vem representada no gráfico abaixo (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Figura 5 - Gráfico ilustrativo da Catástrofe do Ultravioleta



Fonte: Instituto de pesquisa científica (2019)

Max Planck deparou-se com o problema do corpo negro, percebendo como solução considerar que os átomos que compõem o corpo negro funcionavam como pequenas molas que oscilavam em determinada frequência da radiação absorvida e depois reemitida pelos átomos em forma de luz. Classicamente, esses osciladores poderiam oscilar com qualquer energia, dificultando sobremaneira os cálculos.

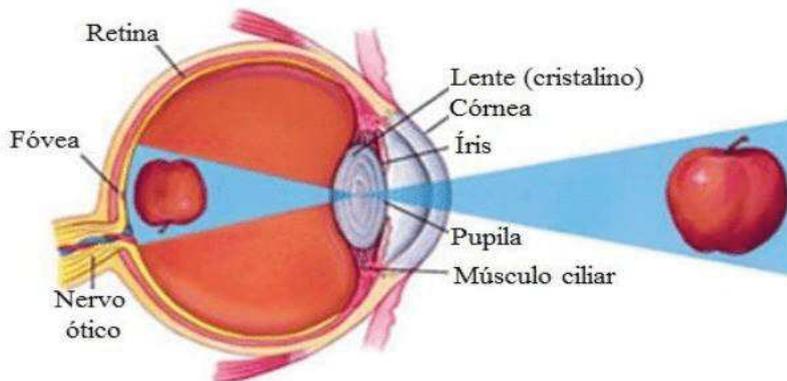
O postulado de Planck afirmava que corpos negros continuariam como pequenos osciladores que absorviam radiação e depois oscilavam com uma determinada energia, que era a mesma da radiação emitida, mas agora as únicas energias permitidas eram múltiplas inteiras de um valor pequeno. Essa proibição de que os átomos pudessem oscilar com qualquer energia mais tarde revelaria a *quantização da energia*, solucionando o problema da catástrofe ultravioleta.

A probabilidade de os pequenos osciladores dos átomos oscilarem com energias muito grandes e emitirem também frequências muito grandes mostrou-se ínfima. As grandes frequências, como a ultravioleta e tudo acima dela, não dominam mais o espectro. O modelo de radiação confere com os dados experimentais.

3.3 - PROCESSO DE VISÃO

Conhecendo o funcionamento das lentes e todo processo de formação da imagem pode-se compreender o olho humano como um instrumento ótico. Um olho de visão normal, forma as imagens na retina (exceto nos nervos óticos, que constituem um ponto cego, sem formação de imagem). A figura 6 mostra um esquema de um olho humano. A imagem entra pela lente convergente natural do olho (cristalino), formando na retina uma imagem invertida, e o cérebro faz o ajuste, colocando a posição da imagem da maneira adequada à nossa percepção.

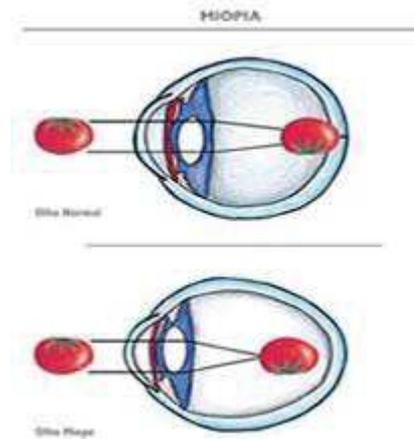
Figura 6: Esquema de um olho humano.



Fonte: fisicaolhohumanond.blogspot

Nas ametropias existe a necessidade de correção nos processos de formação de imagem na retina, por erro da refração ocular, o que provoca falta de nitidez nas imagens. Na miopia (figura 7), a imagem forma-se antes da retina, com excesso de convergência. O *ponto remoto*, isto é, o ponto mais distante (infinito) que podemos enxergar, na miopia fica mais próximo do olho, provocando má formação na imagem de objetos distantes.

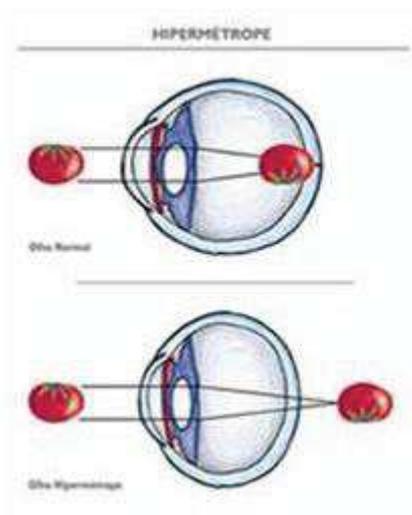
Figura 7: Formação de imagem em um olho normal(em cima) e em um olho míope (em baixo)



Fonte: Brasil escola (2020)

O olho hipermétrope apresenta um comportamento inverso ao do míope, pois a imagem se forma depois da retina, perdendo o foco da imagem e prejudicando a nitidez de objetos próximos, ou seja, com pouca convergência e *ponto próximo* (o mais perto que podemos enxergar) mais afastado do olho.

Figura 8: Formação de imagem em um olho normal (em cima) e em um olho hipermétrope (em baixo).



Fonte: Brasil Escola (2020)

O astigmatismo é a perda da esfericidade, ocasionando que objetos em direções diferentes foquem em pontos diferentes (figura 9). Nosso olho é uma esfera, e o mundo se apresenta à nossa percepção visual em vários pontos sem perder o foco, independentemente da orientação. No astigmatismo, podemos ver um objeto na horizontal normalmente, mas na vertical a imagem fica deformada, ou seja, posições diferentes originam imagens com refrações diferentes. O olho astigmata não consegue focalizar simultaneamente retas concorrentes contidas em um único plano.

Figura 9: imagens ilustrando visão astigmática comparadas com visões normais.



Fonte: Viallure (2020)

Fonte: São Joaquim online (2020)

Outra deformidade do olho é a presbiopia, que nada mais é que o poder de acomodação. O olho aumenta a convergência pelo simples fato de os músculos ciliares que controlam a entrada de luz na pupila se desgastar com o passar do tempo, dificultando a focalização de objetos próximos.

3.3.1 - Daltonismo

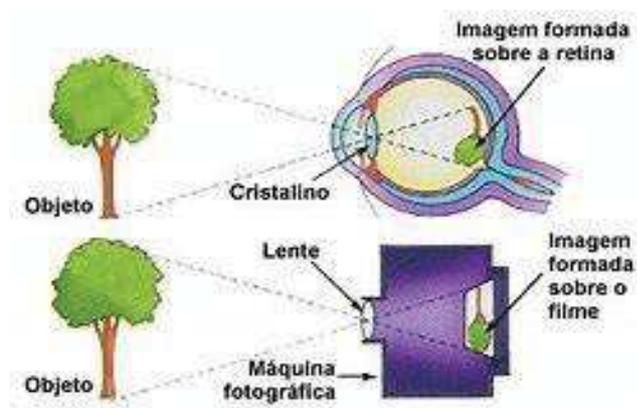
É uma perturbação genética da percepção visual, em que a sensibilidade sensorial dos cones na retina fica comprometida para determinadas cores, sendo o mais comum a interferência na percepção de verde e vermelho e em seu brilho normal. Pessoas com dificuldade em enxergar essas cores têm comprometida a percepção de azul e amarelo. Existe o caso raro em que a *acromatopsia*, isto é, o daltonismo mais grave que as pessoas não enxerga nenhuma cor, e seus portadores só conseguem enxergar o mundo todo em preto,

branco e cinza. O trabalho sensorial é reduzido aos bastonetes, que atuam regulando a entrada de luminosidade entre branco e preto. Encontram-se muitos trabalhos acadêmicos que buscam trabalhar as cores de maneira inclusiva, como mostra o artigo de Cunha e Cruz (2016), o qual traz a arte como referência para ensinar cores na Educação Infantil, através de atividades com os nomes das cores, vislumbrando ajudar a criança no seu processo aquisitivo e formativo, tornando possível identificá-las no seu cotidiano. A aprendizagem é ativa, sendo importante o diálogo entre professor e aluno acerca das suas experiências, buscando esclarecer e facilitar sua inclusão na sociedade.

Os instrumentos óticos artificiais, criados pelo homem, como as lentes corretivas dos óculos, filtros, entre outros, podem auxiliar essa complexa ferramenta que é o olho humano em seu funcionamento, principalmente quando acontecem falhas no processo de visão.

A câmera fotográfica, por exemplo, reproduz bem o olho, com o filme da câmera trabalhando como a retina dos olhos, ou com a regulagem do foco da câmera funcionando de maneira similar a íris, regulando a entrada de luz para a retina (figura 10). Os instrumentos óticos só puderam ser desenvolvidos depois que o homem tratou o olho também dessa maneira.

Figura 10: Comparação da formação de imagem em um olho humano e uma máquina fotográfica.

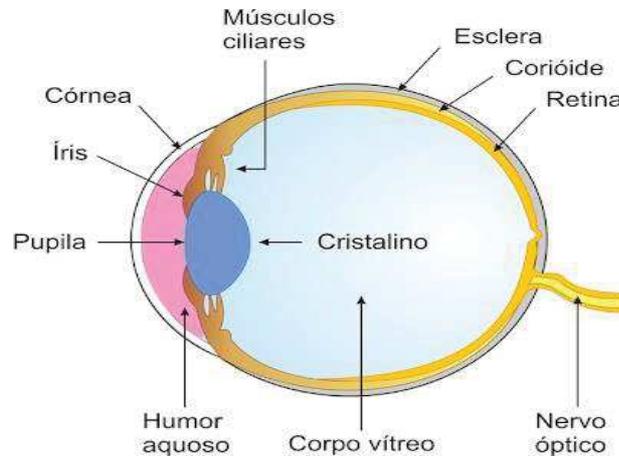


Fonte: Blog Máquina fotográfica (2020)

3.3.2 - Fisiologia do olho humano

O olho é envolvido por uma membrana dura e branca chamada esclerótica, ou esclera, e possui uma parte transparente anterior que é a “janela de entrada da luz”, a córnea, que está ligada à retina que ao longo de seu corpo liga se ao nervo óptico, sendo este o transmissor da imagem para o cérebro (figura 11). A íris diafragma controla a entrada de luz para o olho.

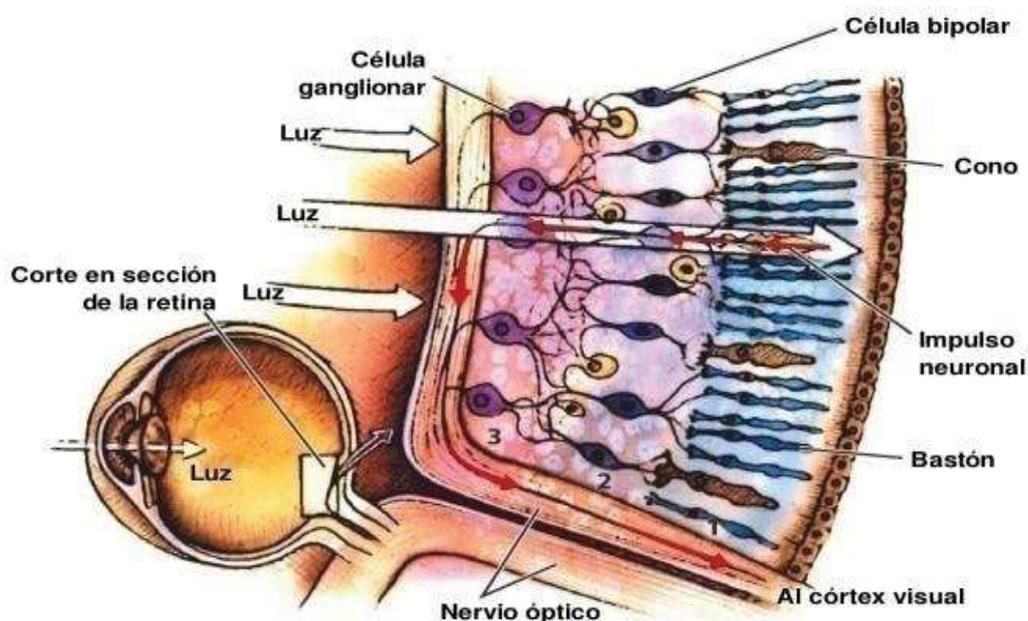
Figura 11: Elementos de um olho humano.



Fonte: Física na rede (2012)

O cristalino é uma lente biconvexa que separa o olho em duas partes, uma anterior, que está cheia de líquido (*humor aquoso*) e outra posterior, cheia de uma espécie de “gelatina” (*humor vítreo*). A coróide, rica em vasos sanguíneos que irrigam os músculos do olho, é anterior à retina, uma camada fina sensível à luz, que contém elementos fisiológicos que funcionam como um sensor (figura 12). Nela temos os cones, células capazes de identificar as cores, e os bastonetes, que controlam a entrada da luz pelas cores pretas e brancas. À pessoa que não consegue enxergar cores restam apenas as intensidades, ou seja, o mundo “cinza” advindo da regulação dos bastonetes.

Figura 12 - Sensores oculares RGB

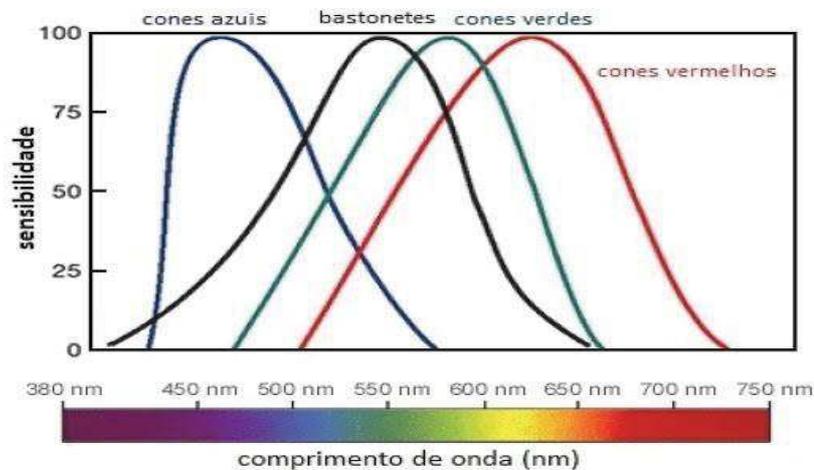


Fonte: Central da optometria (2020)

3.3.3 - Sensações de Cor

A percepção de cor advém da excitação dos cones pela luz que chega dentro dos olhos, através da detecção por três tipos distintos de cones; os cones azuis, os cones verdes e os cones vermelhos. Cada um dos tipos de cone possui sensibilidade a uma faixa de comprimento de onda, conforma mostra a figura 13.

Figura 13: Sensibilidade por comprimento de onda para os cones e bastonetes do olho humano.



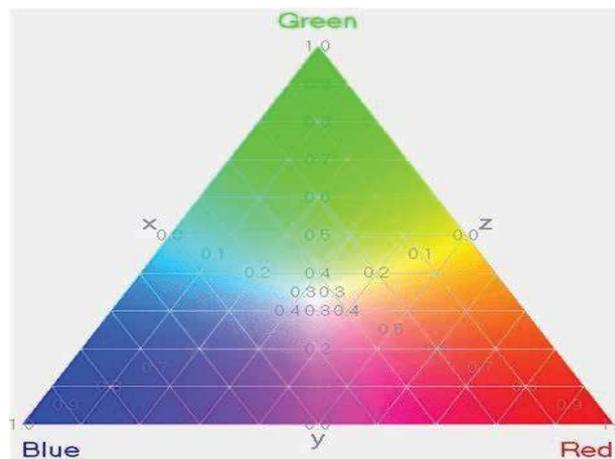
Fonte: ResearchGate (2019)

A maneira como acontece a excitação dos cones possibilita a percepção das cores. Ao observarmos um objeto amarelo, por exemplo, os cones serão excitados independentemente (tanto o verde quanto o vermelho), mas no cérebro se fará a interpretação amarela. A existência do que enxergamos como sensação de cor não é necessariamente o comprimento de onda representado no gráfico, essa é a diferença entre a sensação de cor e a cor real espectral. No espectro representado no gráfico acima o amarelo é uma cor que está entre verde e vermelho. A composição de excitações de cones diferentes leva às sensações de cor.

3.3.3.1 - Triângulo de Maxwell

O Triângulo de Maxwell (figura 14) tem por finalidade catalogar sobreposições de cores, evidenciando as sensações a cada comprimento de onda.

Figura 14: Triângulo de Maxwell



Fonte: University of Aberdeen (2019)

A luz branca encontra-se no centro do triângulo, representando a excitação simultânea dos cones vermelhos, verde e azul. Cada ponto é uma composição de cores diferentes. A percepção da cor dos objetos, do ponto de vista eletromagnético e das sensações, é infinita, bastando variar o comprimento de onda ou a composição, como se pode observar no triângulo.

As sensações são as interpretações do cérebro da excitação dos cones, as ondas eletromagnéticas são aquilo que já conhecemos da frequência de radiação eletromagnética, ou seja, a luz que se nos apresenta.

3.3.3.2 - Adição de cores

O sistema RGB (Red, Green, Blue) é uma organização de cores aditivas luminosas das cores primárias cores vermelha (red), verde (green) e azul (blue), conforme mostra a tabela 2. Em nosso sistema sensorial, se faz presente nos cones, como visto na seção 3.3.2 – Fisiologia do olho humano.

Tabela 2 – comprimento de onda das cores do sistema RGB.

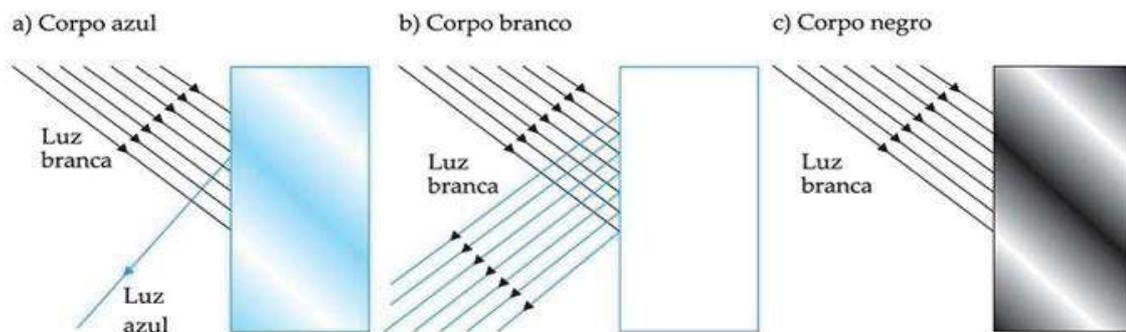
R	Vermelho (Red)	700nm
G	Verde (Green)	546nm
B	Azul (Blue)	435nm

Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Quando acontece de chegar ao ponto sensível do olho mais de uma luz de cor primária (RGB) podemos enxergamos um objeto pela sua luz própria, como as estrelas, ou pela interação da luz incidente, que pode ser natural ou artificial, com o objeto apresentando o resultado sensorial.

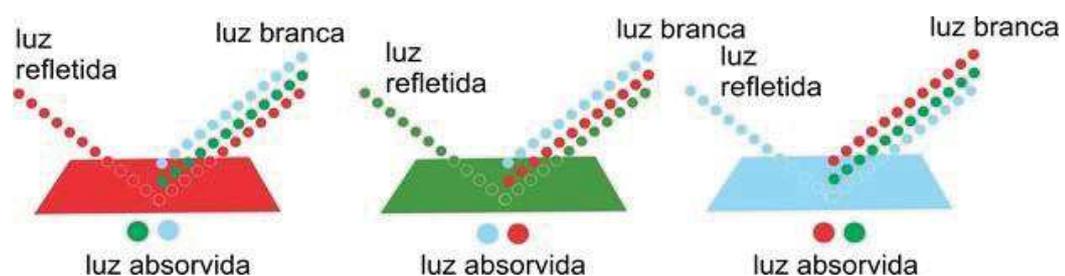
Um objeto, ao interagir com uma luz, pode transformá-la em calor, refleti-la e transmiti-la ou absorvê-la e reemiti-la, o que leva à percepção de cor (figura 15 e figura 16). O vidro não emite cor própria, pois a luz que passa por ele não reflete nenhuma cor que nos seja perceptível. Quando um objeto está à frente do vidro, a luz desse objeto é reemitida através do vidro para os olhos. As cores que os objetos apresentam é a cor da luz refletida aos nossos olhos. Já a cor de um objeto, percebida através de um vidro, nada mais é que a luz refletida do objeto, que não interage com o vidro, chegando diretamente aos olhos.

Figura 15: Reflexão da luz branca em um objeto (a) azul, (b) branco e (c) preto.



Fonte: Vitali's (2019)

Figura 16: Absorção e reflexão de luz em objetos pigmentados.



Fonte: <http://educacao.globo.com/fisica> (2016)

Iluminando-se um objeto com luz monocromática, refletir-se-á do objeto somente a cor igual à da luz aplicada, as demais cores ficarão escurecidas (preto). A figura 17 mostra um exemplo deste efeito. A bandeira do Brasil é iluminada por fontes de luz monocromática detrés cores diferentes. Observe que a imagem fica preta onde a cor do objeto (iluminada por luzbranca) é diferente da cor da luz.

Figura 17: Reflexão de luzes monocráticas em uma figura da bandeira do Brasil.

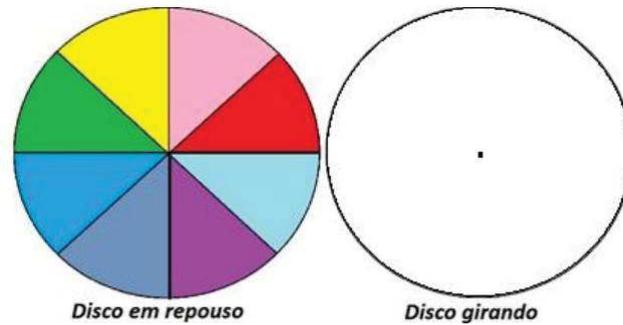


Fonte: Professor Fonte: Dudu on SlideShare (2019)

3.3.3.3 - Disco de Newton

Newton tinha o entendimento que a luz branca se formaria a partir da junção de várias cores, e as cores que percebemos nada mais seriam que a combinação delas (NEWTON, 2002). O Disco de Newton, formado por várias cores e que, ao ser girado a uma determinada velocidade, torna-se branco pela soma dessas cores, que deixam de ser percebidas individualmente pelos olhos. Apesar do nome, não se tem registro de que newton tenha utilizado este experimento para demonstrar suas descobertas.

Figura 18: Efeito do Disco de Newton ao ser girado.



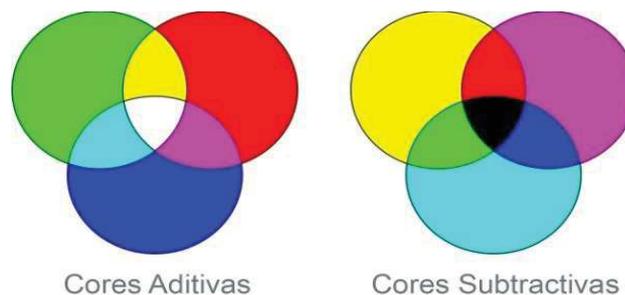
Fonte: Professor Diminoi (2016)

3.3.3.4 - Soma e subtração de cores da luz

A figura 19 apresenta um esquema da soma de cores por adição (à esquerda) e da subtração da luz. Para adição de cores, nos referimos à formação de cores pela luz refletida em objetos. Por subtração de cores, estamos nos referindo à formação de cores pela absorção de parte da luz insciente por pigmentos presentes no objeto em observação.

Na figura 19, vemos que o centro do esquema para formação de cores por adição é branco, formado pelas cores vermelho, azul e verde que chegam aos nossos olhos. Na confluência das luzes verde e vermelha percebemos o amarelo - o que acontece é que, simultaneamente, chega verde e vermelho aos sensores dos cones, causando em nossa percepção a sensação de amarelo. Medindo o comprimento de onda da luz amarela aparecem dois comprimentos de onda, um vermelho e um verde. No cérebro faz-se a soma de cores para determinar a cor que será percebida, nesse caso, o amarelo. Por outro lado, no esquema à direita da figura 19, vemos que o centro do esquema para formação de cores por subtração é preto, formado pela absorção das cores ciano, magenta e amarelo. Estes diagramas ilustram os sistemas de formação de cores RGB (adição) e CMKY que serão escritos a seguir.

Figura 19- Diagrama de formação de cores por adição e subtração.

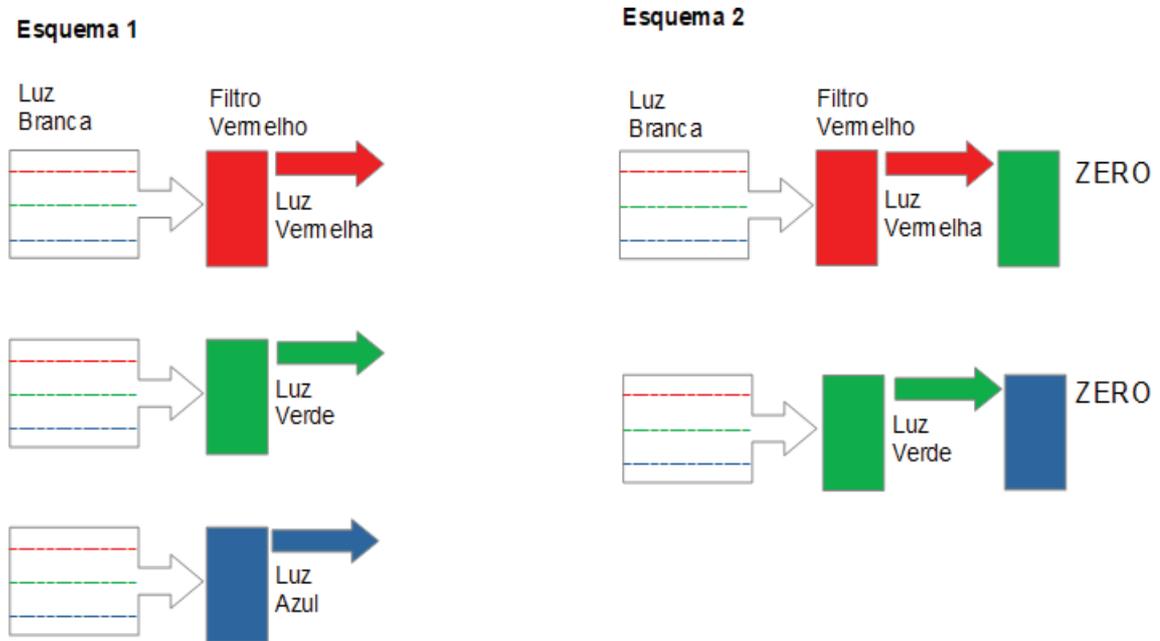


Fonte: ncolour.blogspot (2018)

3.3.3.5 – Sistema RGB

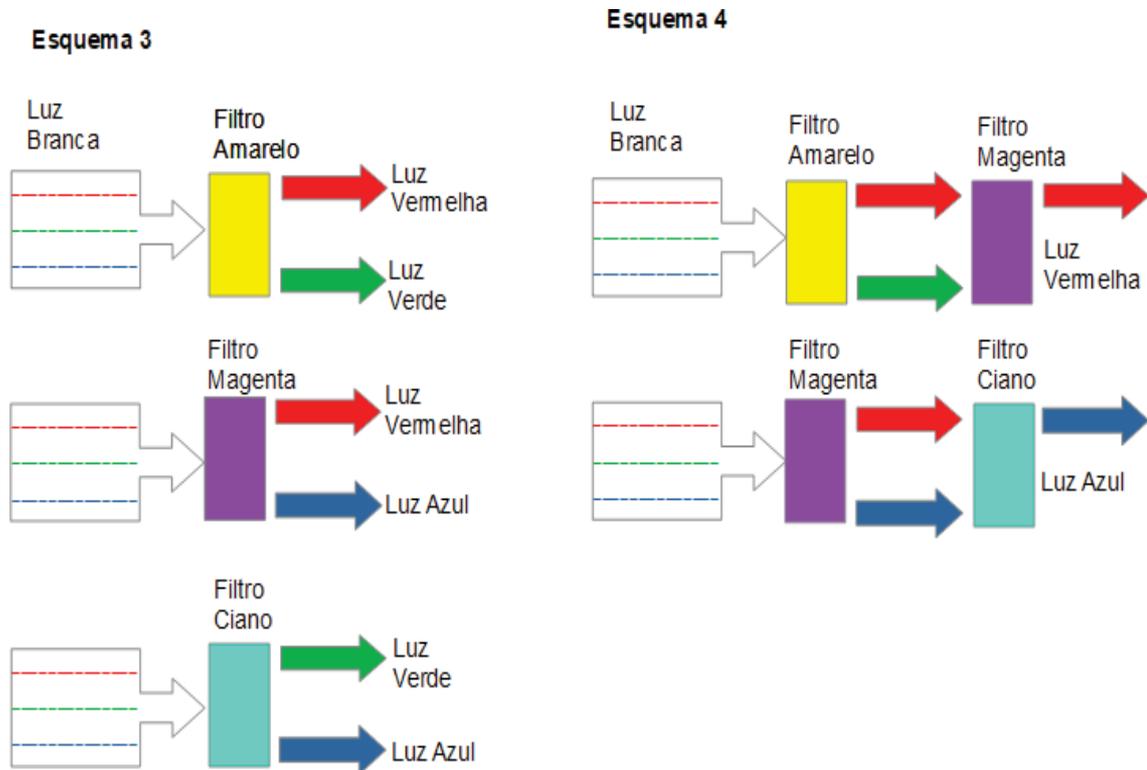
O sistema RGB é baseado na combinação de luz das cores vermelho, verde e azul para produzir outras cores. É utilizado, por exemplo, em telas de monitores, televisão e celulares. Em televisões e monitores de LCD e plasma, a formação de cores é construída através de filtros. Neste sistema uma fonte de luz branca (por exemplo, uma lâmpada fluorescente nos monitores de LCD) encontra-se atrás de uma camada de filtros (o LCD). O filtro permite a passagem das cores azul, vermelho e verde (cores primárias), dependendo da imagem a ser formada (figura 20 e 21). Ajustando a intensidade das cores primárias filtradas, obtemos as cores secundárias.

Figura 20- Sistema RGB - Filtro de cores primárias



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Figura 21- Sistema RGB - Filtro de cores secundárias



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

A cor magenta, por exemplo, é uma interpretação que cérebro da soma das cores primárias azul e vermelho. Da mesma maneira formam-se o ciano, a partir de azul e verde, e o amarelo, que advém de vermelho e verde. No esquema três, incidindo luz branca, o filtro amarelo subtrai a cor azul, deixando passar apenas verde e vermelho. Com o filtro magenta subtrai-se o verde, seguindo apenas vermelho e azul. E o filtro ciano subtrai o vermelho, passando o verde e o azul.

No esquema quatro, a luz branca passa pelo primeiro filtro (amarelo) subtraindo o azul e deixando passar vermelho e verde. Em seguida, passa pelo filtro magenta, subtraindo o verde, deixando passar a luz vermelha. A luz ao passar pelo filtro magenta, que subtrai o verde e deixa passar o vermelho e o azul. Em seguida passa pelo filtro ciano, que subtrai o vermelho.

3.3.3.6 - O sistema de formação de cor CMKY

O sistema de formação de cor CMKY (Cyan, Magenta, Yellow, black) é diferente do RGB pois refere-se à absorção de luz de determinados comprimentos de onda pelos pigmento

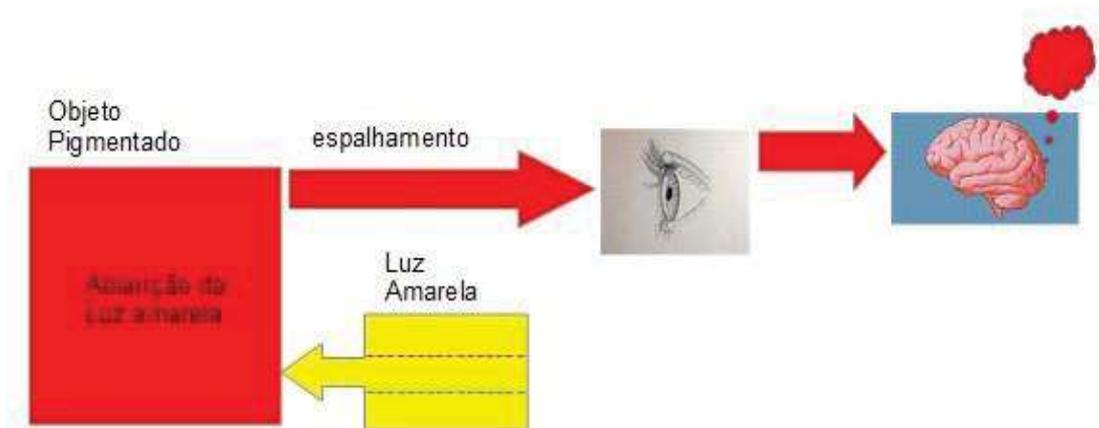
dos objetos que interagem com a luz. Este é o sistema usado, por exemplo, na composição de cores de impressoras.

Os objetos possuem moléculas pigmentadas que absorvem parte da luz incidente e depois a espalham apenas parte da luz incidente de poucos comprimentos de onda. O branco, por exemplo, e o pigmento que é capaz de refletir todas as cores. O preto, absorve toda a luz incidente. Um objeto vermelho iluminado por luz branca, por exemplo, absorve toda a luz incidente, exceto a parte correspondente ao vermelho, que é refletido.

3.3.3.7 - Efeito da luz sobre o que enxergamos em objetos pintados com cores primárias no sistema CMKY

Iluminando-se um objeto vermelho com luz amarela formada pelo sistema RGB, que vem do verde e vermelho, a percepção de cor do objeto continua vermelha (figura 22). pois na absorção da luz amarela, por espalhamento, chega aos olhos somente o vermelho, e o cérebro também interpreta a cor vermelha. Cuidado: a luz de cor amarela produzida por uma lâmpada incandescente ou fluorescente não é composta por verde e vermelho. Ela é constituída por uma onda eletromagnética senoidal pura de um comprimento de onda bem específico (em torno de 580 nm). Se um objeto vermelho for iluminado por amarelo vindo desta fonte de luz, ele ficará preto.

Figura 22 - Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado com luz amarela formado pelo sistema RGB.

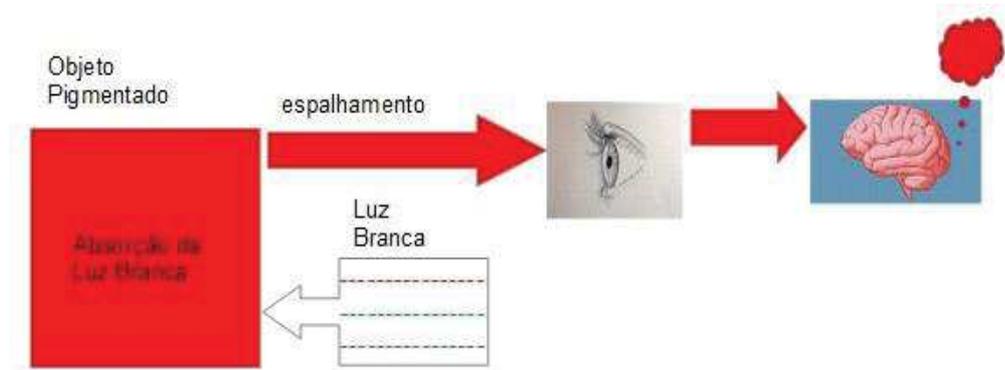


Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Na figura 23 temos um pedaço de papel pigmentado de vermelho exposto luz branca. Neste caso ocorrerá subtração das cores da luz branca pela absorção da maior parte do

espectro da fonte de luz e o espalhamento apenas da luz vermelha até os olhos, e será interpretado pelo cérebro que o pedaço de papel tem a cor vermelha.

Figura 23 - Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado com luz branca formada pelo sistema RGB.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

A percepção de preto é a ausência de luz no sistema sensorial. A figura 25 um objeto vermelho iluminado por uma luz azul (formada pelo sistema RGB). O azul é absorvido pelo pigmento do objeto e nenhuma luz é refletida. O observador interpreta a ausência de luz refletida como o preto.

Figura 24- Efeito da luz sobre o que enxergamos: objeto vermelho iluminado por luz azul .



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Por todas as considerações feitas neste capítulo percebemos que a percepção de cor no ponto de vista físico e biológico depende de vários fatores dos quais podemos ressaltar: A composição espectral da luz ambiente, pigmentação do objeto iluminado, composição espectral da luz que efetivamente chega aos olhos do observador da sensibilidade dos

receptores de luz (cones e bastonetes) do olho do observador. Cada um dos fatores citados envolvem conceitos específicos complexos que podem tornar-se obstáculos pedagógicos no processo de ensino-aprendizagem. Desta maneira entendemos que o ensino do conceito de cor no ensino médio deve ser valorizado e trabalhado de maneira cuidadosa em cada um dos conceitos envolvidos.

CAPÍTULO 4 – O PRODUTO DIDÁTICO

Este produto constitui-se de um conjunto óptico experimental para o estudo do conceito de cor para alunos do Ensino Fundamental e Médio, trazendo um exemplo de aplicação em sala de aula, amparados nas ideias construtivistas de Lev Vygotsky. Também acompanha este estudo uma sequência didática com sugestões para divisão e aplicação do Conjunto didático. Esse material se encontra mais detalhado no Apendice A.

Durante as aulas, perguntas como “O que é luz branca?”, “Qual luz é branca: a da lâmpada de casa ou do dia?” apresentaram as mais variadas respostas, evidenciando confusão entre os conceitos. À primeira, um número considerável de alunos argumentou que as lâmpadas fluorescentes são brancas mas que é possível encontrar amarela, no caso, as lâmpadas incandescentes. À segunda, muitos responderam que a luz do dia é branca por ser natural e não ter cor. Notadamente não conseguiam relacionar a cor dos objetos com a luminosidade, sendo esta uma característica exclusiva do pigmento. Em face destes problemas de definição teórica mostra-se importante trabalhar no ensino médio as ideias e conceitos de luz e cor. (NEVES e DAMIANI, 2006).

Para tratar deste tema de uma maneira motivadora, usando as ideias de Vygotsky na aplicação, desenvolvemos também uma sequência didática de inspiração construtivista, através da qual o aluno estudará os conceitos de cor pela interação com os materiais do conjunto didático e com os outros estudantes. A Sequência possui um caráter sugestivo para o uso do material em um número de cinco aulas, com atividades para casa - questões e experimentos de baixo custo para confeccionar e apresentar no dia da aula, otimizando o tempo e antecipando alguns temas que serão abordados em sala. Na última aula, são propostas questões-desafio, que podem ser respondidas com o conjunto didático na mesa, realizando práticas para auxiliar na elaboração da resposta certa. A cada aula é realizada uma prática com pelo menos um item do conjunto didático, conferindo familiaridade ao longo das cinco aulas previstas. E definido a cada aula o objetivo e o que será trabalhado.

Para a elaboração deste produto, foi feita uma pesquisa em trabalhos acadêmicos acerca das concepções alternativas de luz e cor. A partir desta pesquisa bibliográfica, elaboramos um questionário conceitual, que foi aplicado em uma escola pública de Juiz de Fora. Este questionário permitiu identificar, por exemplo, problemas conceituais em alunos de terceiro ano da escola, que já poderiam ter sido trabalhados nos anos do ensino fundamental.

Em nossa pesquisa bibliográfica também procuramos metodologias ativas para o ensino

do conceito de cor. Em especial, destacamos o trabalho de Juliana Machado, da Universidade Federal de Santa Catarina (MACHADO, 2006), que inspirou a criação deste produto didático.

O artigo propõe, entre outras coisas, uma atividade experimental que foi aplicada em uma sala totalmente escura. O conceito de cor foi discutido através da iluminação de diferentes materiais com luz de cores diferentes. Por exemplo, em um dado momento, acendeu-se uma lâmpada vermelha que foi apontada para um tecido verde (verde sob iluminação de luz branca). Perguntou-se aos alunos qual era a cor do tecido, que responderam preto. Acendeu-se a luz da sala e os alunos então perceberam que o tecido, na verdade era verde. A partir desta prática tivemos a ideia de criar uma Maleta que simularia uma sala escura. Toda a combinação de cores seria feita dentro da Maleta, com a luz da sala acesa. A soma de cores seria observada através de uma *webcam* (ou pela câmera de um celular) acoplada à Maleta; também no interior da Maleta pode-se observar a interação das luzes com as figuras, sendo possível trocá-las dentro da estratégia pedagógica, encontrando até figuras de exames para daltonismo – o que é um excelente gancho para tratar das dificuldades visuais. Associados a essa Maleta, nosso conjunto didático também contém espectrômetro caseiro, disco de Newton feito com *fidget spinner*, corante alimentício para estudar mistura de cor.

Nas próximas seções descreveremos os elementos deste conjunto didático e a sequência didática. No apêndice A, encontra-se um texto voltado ao professor da educação básica com a descrição do conjunto experimental e da sequência didática. Também encontra-se instruções para a montagem da Maleta de Luz.

4.1 - O CONJUNTO ÓPTICO DIDÁTICO

Nesta seção vamos apresentar brevemente cada item componente deste conjunto. Aqui também apresentaremos uma síntese da sequência didática. Maiores detalhes do produto educacional pode ser encontrado no Apêndice A.

4.1.1 - O Espectrômetro

O espectrômetro utilizado neste trabalho (figura 25) foi inspirado em um vídeo do YouTube¹ e também em outras dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de

¹ Modelo de espectrômetro do Professor Dr. Francisco Pereira. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo>.

Física (RICARDO, 2019; OLIVEIRA, 2019). Este espectrômetro é composto por um molde feito com caixa de papelão, possuindo uma fenda numa das extremidades e uma rede de difração, que será colocada na lente da câmera do celular. A tela do aparelho mostra a dispersão da luz branca.

Figura 25 – O espectrômetro



Fonte: Do autor (2020)

4.1.2 - *Fidget Spinner* (Disco De Newton) e Corantes

Utilizamos *fidget spinners* e discos de papel para produzir o disco de Newton, com o objetivo de trabalhar a mistura de cores por reflexão. Os corantes alimentícios servem para trabalhar a mistura de cores por absorção. É necessário diluir em água (aproximadamente 4 gotas por meio copo de água), por serem muito concentrados.

Figura 26 - Corantes e o Disco de Newton produzido



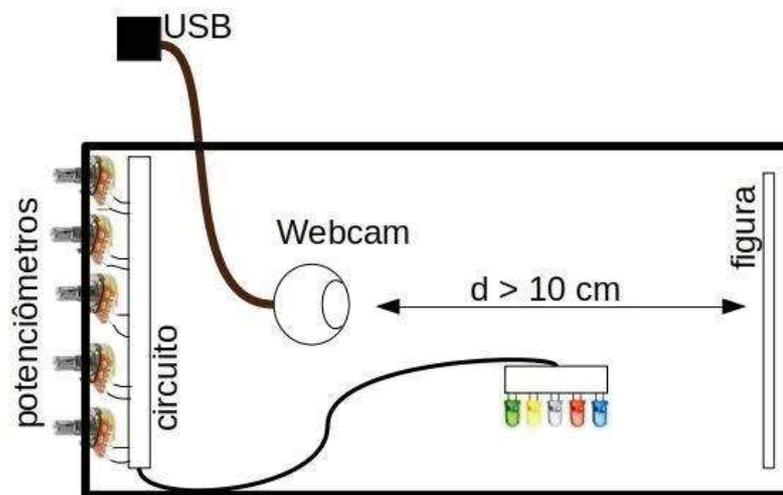
Fonte: Do autor (2020)

4.1.3 - Maleta De Luz

A Maleta de Luz é uma caixa totalmente fechada com leds de diversas cores (azul,

verde, vermelho e laranja) em seu interior. Os leds podem ser acionados individualmente (e simultaneamente, se desejado) por botões que estão do lado de fora da caixa. A figura 27 mostra um esquema como a vista superior da Maleta. Em um primeiro modelo, mostrado nas figuras 28 e 29, a Maleta possuía em seu interior um *webcam* com leds nas cores azul, verde, vermelho e laranja. A câmera, que capta a imagem da figura dentro da Maleta fechada, permite a observação da mudança da cor do objeto de acordo com mudança na cor da iluminação proporcionada pelos LEDs.

Figura 27 - Vista superior interna da Maleta de Luz



Fonte: Do autor (2020)

Figura 28 - A Maleta de Luz com webcam



Fonte: Do autor (2020)

Figura. 29 - Visualização das cores da imagem dentro da Maleta de Luz



Fonte: Do autor (2020)

Em um segundo modelo da Maleta de Luz, mais barato e portátil, a *webcam* foi substituída por um celular. O celular deve ser acoplado à Maleta de forma que a sua câmera fique inserida dentro da Maleta, mas que a maior parte da tela fique do lado de fora, conforme a figura 30 (abaixo).

Figura 30 - A Maleta de Luz com celular



Fonte: Do autor (2020)

4.1.3.1 - Processo de desenvolvimento da maleta de luz

No processo de aplicação, a Maleta sofreu algumas alterações importantes. Esse modelo possuía uma fonte de cinco volts, porém na sala onde foram feitas as primeiras aplicações não havia tomadas acessíveis, o que exigiu a substituição da fonte por uma bateria de 9V. Como o consumo elétrico é baixo, pois alimenta apenas quatro leds de alto brilho, foi pertinente substituir por uma bateria. Os alunos, ao manipularem a Maleta, não tinham noção da

intensidade de luz que estava sendo aplicada em cada LED, sendo então necessário colocar leds externos nos seus respectivos potenciômetros para dosarem e poderem perceber a quantidade de luz que estão aplicando em cada LED (figuras 32 e 33).

Figura 31 – Botões para manipulação dos LEDs



Fonte: Do autor (2020)

Figura 32 - Botões para manipulação dos LEDs



Fonte: Do autor (2020)

O custo de produção da Maleta foi bastante reduzido com essas alterações, e dentro dela é possível alocar todos os instrumentos utilizados: os corantes, espectrômetros, *spinner* e as imagens (Figura 33).

Figura 33 - Interior da Maleta com seus materiais



Fonte: Do autor (2020)

A motivação inicial dos alunos ao conhecerem a Maleta de luz é, primeiramente, descobrir a cor da figura que está dentro dela sem abri-la, apenas ligando a câmera do celular, e movimentar os botões de potenciômetro dos leds. Com a prática pode-se aumentar a dificuldade, como atividades para descobrir as palavras secretas (figuras 34 e 35).

Figura 34- Palavra Secreta



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

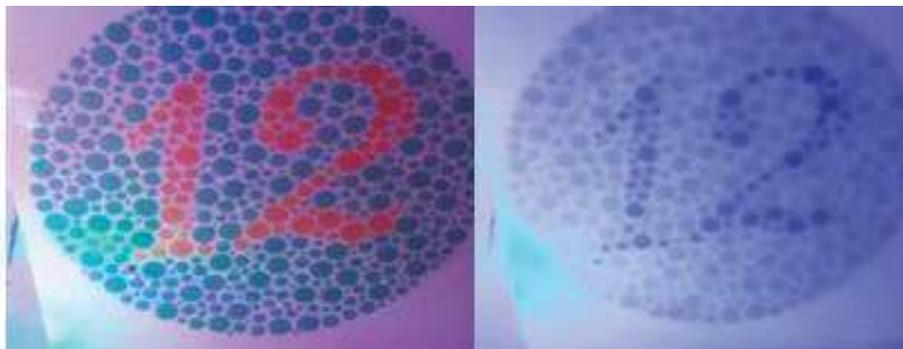
Figura 35 - Palavra Secreta iluminada com luz monocromática



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Podem-se trabalhar as dificuldades da visão com as figuras de teste para daltonismo (figura 36) e elaborar atividades relacionadas ao tema das dificuldades visuais.

Figura 36 – Figuras para teste de daltonismo



Fonte: Do autor (2020)

4.2 – A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A quadro 3 apresenta de maneira resumida uma sugestão de sequência didática para utilizar o conjunto óptico didático em sala de aula. Esta sequência foi pensada para 05 aulas de 50 minutos, que podem ser descontínuas, com duas opções de avaliação final. Entre cada aula existem tarefas para serem realizadas em casa. Algumas tarefas em sala exigem que os alunos levem determinados materiais, ou que realizem alguma atividade em casa como preparação para a aula. Ela foi utilizada em uma escola Pública Estadual de Juiz de Fora, turmas do terceiro ano do ensino médio. A sequência didática detalhada encontra-se no apêndice A. Na sequência (capítulo 6), apresentaremos como ocorreu a sua aplicação em sala de aula. A análise dos resultados da avaliação final da aplicação serão apresentados no capítulo 7.

Quadro 3: sequência didática

<i>Aula</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Dinâmica da aula</i>	<i>Para casa</i>
Introdução às atividades	- Identificar as concepções de cor - Estimular o trabalho em grupo.	- Debate (10 min) - Questionário escrito (20 min)	1- fazer espectroscópios em casa, 2- experimento do arco-íris, 3- responder o questionário:
O conceito de luz branca	Trabalhar o conceito de luz branca utilizando um espectroscópio caseiro e diversos tipos de fontes de luz.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	1- Responder à pergunta: “Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?” 2- Brincadeiras com o <i>fidget spinner</i>
O conceito de mistura de cores	Trabalhar experimentalmente o conceito de mistura de cores por pigmentação e por reflexão.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	Pesquisar sobre a formação de cores por reflexão/transmissão.
Aplicações da mistura de cor por reflexão.	Utilizando a maleta de cores, estudar situações desafiadoras que evidenciam o fenômeno de mistura de cor por reflexão.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	-
Avaliação da Aprendizagem	Avaliação através de interpretação de texto ou através de questionário conceitual.	- trabalho individual	-

Fonte: Do autor (2020).

CAPÍTULO 5 – APLICAÇÃO E ANÁLISE DO QUESTIONÁRIO CONCEITUAL

Neste capítulo iremos apresentar a análise dos resultados relativos ao questionário conceitual para sondagem das concepções alternativas dos alunos de terceiro ano. Esse questionário foi aplicado em outubro de 2018, a quarenta alunos do ensino médio, de uma escola estadual da periferia de Juiz de Fora, que já haviam estudado temas como reflexão e refração da luz, lentes e como se formam as imagens.

5.1 – QUESTIONÁRIO APLICADO

1- Quando você observa a luz de uma lâmpada acesa ou a luz do dia, estamos tratando do mesmo tipo de Luz? Qual (is) delas é (são) luz branca? Justifique a resposta.

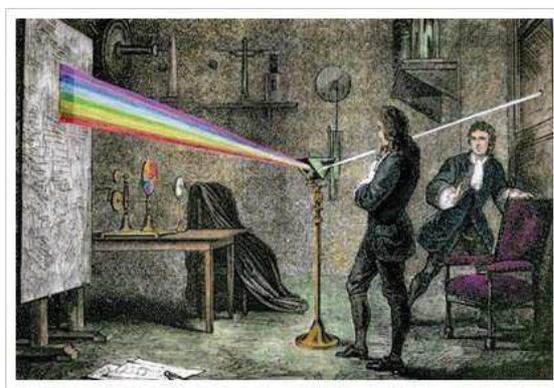
2- Quando você deixa uma camisa no varal durante o dia, e observa sua cor, é a mesma cor durante a noite? Justifique a resposta.

3- O que é cor? Justifique.

4- O que você entende por “luz branca”? Onde se pode observá-la?

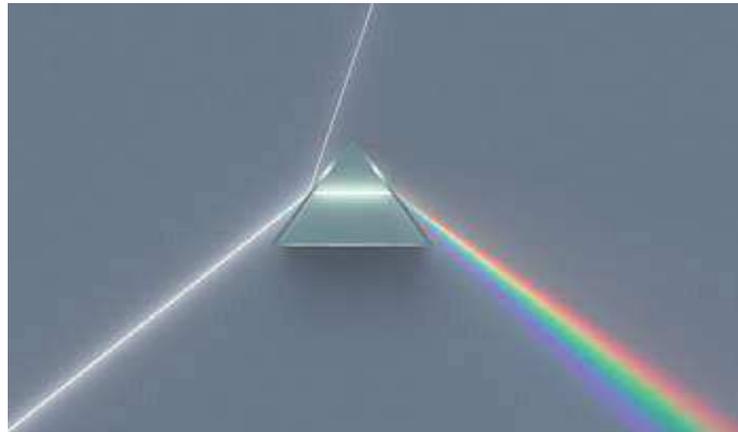
5- As figuras abaixo apresentam o experimento de Isaac Newton (1672), em que a luz do sol sai da janela até o prisma de vidro, ocorrendo a dispersão no anteparo em várias cores. Você conhece este experimento, ou já ouviu falar? Explique. Caso não o conheça, indique mesmo assim o que você acha que acontece, olhando as figuras.

Figura 37 - Experimento de Isaac Newton



Fonte: Sobre história (2018)

Figura 38 - Dispersões da luz branca no prisma



Fonte: Décio Adams (2018)

6- Uma pessoa em um dia de sol sente mais calor com a camisa preta do que com uma camisa branca. Por quê?

7- Sabemos que o experimento de Newton apresentava no anteparo cores parecidas com as do arco-íris, e que essas cores estão tabeladas; por que as cores branca e preta não estão na tabela abaixo?

Figura 39- Espectro da Luz



Fonte: Explicatorium (2018)

Figura 40 - Tabela de Comprimento de onda e Frequência de cores

Cores do espectro visível		
Cor	Comprimento de onda	Frequência
vermelho	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
laranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
amarelo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
verde	~ 500-565 nm	~ 600-530 THz
ciano	~ 485-500 nm	~ 620-600 THz
azul	~ 440-485 nm	~ 680-620 THz
violeta	~ 380-440 nm	~ 790-680 THz

Espectro Contínuo

Fonte: Mundo da tinta (2019)

5.1.1 - Metodologia de análise das respostas

As respostas dos participantes foram analisadas seguindo duas linhas. Na primeira, as respostas dos alunos foram categorizadas dentro de critérios relacionadas à capacidade do aluno expressar o conhecimento em um texto escrito e à proximidade da resposta à descrição científica do conceito abordado. As seguintes categorizações foram estabelecidas:

1: resposta com escrita confusa e/ou sem conexão com o a descrição científica do conceito ou nenhuma resposta.

2: resposta com uma leve conexão com o a descrição científica do conceito abordado na pergunta.

3: resposta parcialmente coerente com descrição científica do conceito ou escrita de modo ambíguo.

4: Resposta muito próxima do da descrição científica do conceito abordado, mas ainda incompleta ou não completamente clara.

5: Resposta expressa de maneira clara e coerente com a descrição científica do conceito abordado na pergunta.

Na segunda linha, procuramos evidenciar em cada pergunta a concepção alternativa mais recorrente dentro das respostas dos alunos. Para cada pergunta apresentaremos algumas respostas dadas pelos alunos, junto com uma análise sobre a concepção alternativa que

aparece na resposta. As respostas foram transcritas de forma fiel ao que os alunos escreveram.

5.1.2 - Resultados e análise do questionário

A seguir, são apresentados os resultados para cada questão do questionário. A resposta para a primeira vertente, que classifica a capacidade de expressão, será apresentada em forma de tabela. Alguns exemplos de respostas com as concepções alternativas mais recorrentes serão apresentados como ilustração. O nome dos alunos será omitido. Para identificar as respostas de diferentes alunos utilizaremos a nomenclatura aluno1, aluno2, etc.

✓ **Questão 1:** Quando você observa a luz de uma lâmpada acesa ou a luz do dia, estamos tratando do mesmo tipo de luz? Qual (is) delas é (são) luz branca? Justifique a resposta.

Esta tinha o objetivo de identificar as concepções de luz branca dos alunos participantes. A tabela 4 mostra a distribuição das respostas obtidas dentro dos critérios classificatórios apresentados anteriormente. Podemos observar que dos 40 alunos participantes 28 apresentaram respostas que não se aproximam nem parcialmente da descrição científica dos conceitos envolvidos na pergunta.

Tabela 4: de resposta para a **Questão 1** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de respostas	8	18	4	7	3

Fonte: o próprio autor.

Dentre as 28 respostas, destacamos duas:

Aluno1: *“Não estamos tratando do mesmo tipo de luz. A luz da lâmpada é luz branca, pois é uma luz precisa de energia elétrica (sic)”.*

Esta é um exemplo de resposta classificada como 1. Nessa resposta, o aluno apresentou uma justificativa para a resposta relacionando como causa e efeito duas características da lâmpada que não possuem relação entre si (ser branca com precisar de energia elétrica). Talvez ele quisesse responder que a luz do sol e a luz de uma lâmpada não são o mesmo tipo de luz, pois uma é luz natural e a outra precisa de energia elétrica.

Três alunos do total de participantes responderam com essa concepção de que “luz do sol e a luz de uma lâmpada não são o mesmo tipo de luz, pois uma é luz natural e a outra precisa de energia elétrica, e que a luz branca é a luz da lâmpada”.

Aluno2: “*Não, pois existe dois tipos de luz do dia e a energia elétrica a luz branca pode se dizer que seja a luz do dia*”.

Esta última resposta é semelhante à resposta do aluno 1, com a diferença de que o primeiro classificou a lâmpada como luz branca e o segundo classificou o sol como luz branca. Esta resposta foi classificada como 2.

Vinte e sete alunos do total de participantes responderam “que a luz branca é exclusivamente a luz do dia”. Dentre estes alunos, 11 justificaram a resposta associando a luz do sol com luz natural, 6 fizeram a justificativa dizendo que a luz solar é “mais reflexiva” ou possui “mais claridade” e 4 dissertam que a luz solar é a luz branca (a luz da lâmpada não) porque é composta por várias cores. As respostas desta última justificativa foram classificados na categoria 3. As demais foram classificadas nas categorias 1 e 2.

✓ **Questão 2:** Quando você deixa uma camisa no varal durante o dia, e observa sua cor. A cor permanece a mesma durante a noite? Justifique a resposta.

A questão 2 o objetivo de identificar as concepções sobre a formação de cores, se os alunos são capazes de identificar o papel da pigmentação do objeto e da iluminação ambiente. A distribuição da resposta desta questão nas categorias analisadas são mostrada na tabela 5 Neste caso, dentre os 40 alunos participantes 3 apresentaram respostas próxima da descrição científica dos conceitos envolvidos na pergunta e 27 respostas que não eram nem parcialmente próximas à descrição científica do conceito.

Tabela 5: Resposta para a **Questão 2** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	14	13	10	3	0

Fonte: Do autor (2020).

Dentre as respostas apresentadas, destacamos:

Aluno3: *“A camisa permanece da mesma cor que ela é, mais a noite ao nosso olhar ela fica mais escura, mas a camisa em si não muda de cor”.*

O aluno, nessa resposta, entende que a palavra “cor” refere-se a uma característica da camisa, que é diferente da percepção que ele tem da cor.

Aluno4: *“Depende, porque ela pode ficar da mesma cor ou desbotar no dia a dia e não ficar da mesma cor”.*

Nessa resposta o aluno desprezou a possibilidade da iluminação interferir na percepção da cor dos objetos, também associando a palavra “cor” a uma característica do objeto.

Dez alunos do total de participantes apresentaram respostas associando a palavra “cor” a uma característica do objeto.

Aluno5: *“Sim, pois afeta a cor da camisa mais deixa mais iluminada ou seja deixa mais visível a cor da camisa”*

Respostas como essa foram apresentadas no estudo de concepções alternativas sobre luz branca de ALMEIDA et al (2007). O aluno entende que a Luz branca é algo neutro que mostra a “cor verdadeira” dos objetos.

Três alunos do total de participantes apresentaram respostas semelhantes com esta concepção.

✓ **Questão 3: O que é cor? Justifique.**

A questão 3 foi feita para permitir aos alunos expressar suas ideias de cor de maneira livre, sem um estímulo ou guia ou uma dica embutida na própria pergunta. A distribuição das respostas desta questão nas categorias analisadas é mostrada na tabela 6. Assim como as perguntas anteriores, apenas 3 apresentaram respostas próxima da descrição científica dos conceitos envolvidos na pergunta. Neste caso, foram 24 respostas que não eram nem sequer parcialmente próximas à descrição científica do conceito.

Tabela 6: Resposta para a **Questão 3** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	12	12	11	2	3

Fonte: Do autor (2020).

Dentre as respostas apresentadas, destacamos:

Aluno6: “*Cor pra mim seria pigmentos diferentes*”.

Novamente, o aluno não considera a luz como um fator que interfere na percepção da cor dos objetos.

Três alunos do total de participantes responderam com esta concepção.

Aluno7: “A cor é uma diversa mistura para formar a cor branca”.

A resposta deste aluno apresenta elementos que sugere que o aluno entende que para se obter uma cor branca (possivelmente com pigmentos) precisa-se misturar cores. Mas escrita confusa também sugere que o aluno não possui uma ideia muito clara do que seria “cor”;

Cinco alunos do total de participantes responderam de forma confusa, sugerindo que o aluno não possui uma ideia muito clara do que seria “cor”.

Quinze alunos do total de participantes não responderam a questão.

✓ **Questão 4:** O que você entende por “luz branca”? Onde se pode observá-la?

Assim como a questão 3, a questão 4 foi colocada para permitir aos alunos expressar suas ideias de cor de maneira livre, sem um estímulo, guia ou dica embutida na própria pergunta. A distribuição das respostas desta questão nas categorias analisadas são mostrada na tabela 7 Neste caso, apenas 5 alunos apresentaram respostas próxima da descrição científica dos conceitos envolvidos. Neste caso, foram 24 respostas ficaram nas categorias 1 e 2, que não eram nem sequer parcialmente próximas à descrição científica do conceito.

Tabela 7: Respostas para a **Questão 4** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	11	16	10	3	2

Fonte: Do autor (2020)

Dentre as respostas apresentadas, destacamos:

Aluno8: “*A Luz Branca consome menos energia, em ambientes. Ex: Comercio, casas*”.

Aluno9: “*A Luz Branca é Luz artificial, aquela que as lâmpadas emitem.*”

Aluno10: “*A Luz Branca é a luz naturalmente a luz do dia diferente da luz da lâmpada que é algo artificial, podemos observar durante o dia que é o sol*”.

Aluno11: “*A Luz Branca pode se encontrar no sol*”.

Aluno12: “*A Luz Branca é natural e pode ser observada durante o dia*”.

Chama a atenção que todas estas respostas relacionam a característica de ser branca à natureza da fonte de luz (artificial ou natural). Nas duas primeiras, luz branca se relaciona à luz artificial e nas três últimas o termo “luz branca” está relacionado à luz natural ou à luz solar.

Aluno13 resposta: “*Luz Branca e (sic) a Luz que não tem cor e pode ser observada durante dia com a luz do sol*”.

Nesse caso o aluno também relacionou a luz branca com a luz do sol, mas no seu entendimento a branca é incolor. Essa resposta se assemelha à concepção alternativa descrita por ALMEIDA et Al (2007) de que “a luz branca é passiva e sem cor”.

✓ **Questão 5:** As figuras abaixo apresentam o experimento de Isaac Newton (1672), no qual a luz do sol sai da janela até o prisma de vidro, ocorrendo a dispersão no anteparo em várias cores. Você conhece este experimento, ou já ouviu falar? Explique. Caso não o conheça, indique mesmo assim o que você acha que acontece, olhando as figuras (Figura 37 e 38 do questionário).

A questão número 5 foi colocada para sondar os conhecimentos dos alunos sobre a composição da luz branca. Entretanto, ao contrário da questão 4, que busca as concepções dos alunos sobre tema da luz branca sem estímulo, esta questão apresenta a decomposição de cores na própria pergunta. Os resultados são mostrados na tabela 8. Observa-se que foram 24 respostas nas categorias 1 e 2, contra 27 respostas na categoria 1 e 2 da questão 4.

Tabela 8: Respostas para a **Questão 5** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	16	8	1	7	11

Fonte: Do autor (2020).

Esta questão apresentou uma diversidade muito grande de respostas, sendo várias delas de difícil interpretação ou de ser associadas a grupos de concepções alternativas. Cinco respostas não apresentaram uma explicação para o fenômeno ou não tinha lógica. Quatro respostas mencionaram que o prisma “cria” as cores ou “transforma a luz”. Onze relacionaram o fenômeno à palavra “reflexão” de diversas formas. Vemos a seguir alguns exemplos:

Aluno14: “*A luz reflete no prisma e o prisma reflete as cores*”.

Aluno15: “*A luz reflete a cor da superfície onde tocar*”

Aluno16: “*Um lado reflete a luz branca e o outro reflete a luz colorida*”

Observa-se, nestes três exemplos, que cada um usou o termo “reflexão” com ideias diferentes. No primeiro caso, o Aluno14 atribui ao prisma o surgimento das cores, mas sem especificar o que ele faz. Aluno15 por sua vez atribui o surgimento das cores à cor de partes do prisma, enquanto que o Aluno16 apenas descreve a figura. Em todos os casos, entretanto, a palavra “reflexão” é utilizada de maneira equivocada para se referir ao feixe incidente ou ao feixe refratado.

Entretanto, apesar da maioria dos alunos terem tido dificuldade em explicar o que é luz branca nas questões 1 e 4, nesta questão cinco alunos mencionaram que o “prisma separa as cores”, quatro alunos usaram o termo “dispersão da luz” corretamente, dois usaram uma analogia com arco-íris para explicar o fenômeno e seis mencionaram explicitamente que a luz branca é composta por várias cores.

✓ **Questão 6:** Uma pessoa em um dia de sol sente mais calor com uma camisa preta do que com uma camisa branca. Por quê?

Nesta questão buscou-se observar o conhecimento dos alunos sobre a relação entre coloração preta de objetos e absorção da luz ambiente. A classificação das respostas encontra-se na tabela 9: Nota-se que 27 respostas ficaram na classificação 1 ou 2.

Tabela 9: Respostas para a **Questão 6** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	14	10	10	4	2

Fonte: Do autor (2020).

Aluno17: *“A camisa esquenta conforme o calor do corpo e do ambiente”.*

Neste caso, o aluno associou a cor preta ao conceito de calor (seja do corpo ou do ambiente), mas não à absorção de luz.

Dezoito alunos do total de participantes responderam com esta concepção. Três mencionaram que o branco reflete o calor do corpo e outros três não responderam.

✓ **Questão 7:** Sabemos que o experimento de Newton apresentava no anteparo cores parecidas com as do arco-íris, e que essas cores estão tabeladas; por que as cores branca e preta não estão na tabela abaixo (Figura 39 e 40 do questionário)?

Nesta questão procuramos sondar as concepções que os alunos possuem das cores pretas e brancas

Tabela 10: Respostas para a **Questão 7** do questionário conceitual.

Classificação	1	2	3	4	5
Número de Respostas	25	1	3	6	5

Fonte: Do autor (2020).

Aluno18 resposta: *“Pois elas são os extremos de cada cor, quanto maior for a intensidade a cor chegará ao preto e quanto menor for chegará à cor branca.”*

O aluno aplica como parâmetro de cor e um objeto, o nível mínimo como o branco e o máximo como o preto. Não pensa em preto e branco como resultado da absorção ou reflexão da luz ambiente. Neste caso, o aluno apresenta uma concepção de que cor da luz varia dentro de uma escala que vai do branco ao preto, conforme descrita no trabalho de ALMEIDA et al. (2007).

Seis alunos do total de participantes responderam com esta concepção.

Considerações acerca das respostas do questionário

Para todas as questões apresentadas, observamos que de 24 a 27 alunos dentre 40 que responderam ao questionário foram classificadas nas categorias 1 ou 2, mostrando que, mesmo alunos de terceiro ano do ensino médio, que já haviam estudado conceitos de óptica na escola, ainda apresentam dificuldades de descrever o que é cor, luz branca, a relação entre a percepção da cor e a luz ambiente e o que são as cores branca e preta.

Analisando as respostas dadas pelos alunos, pudemos diagnosticar algumas concepções importantes a se considerar na elaboração da melhor abordagem didática para o desenvolvimento das aulas com o tema luz e cor, que apresentamos a seguir:

- A dificuldade identificar o que é luz branca, muitas vezes associada ao fato da luz ser natural (ou luz do dia) ou artificial ou por identificar a luz do sol como luz com maior “claridade”;
- A ideia de cor para a maioria dos alunos está relacionada, exclusivamente, a uma característica do objeto, sem levar em consideração a luz ambiente;
- A dificuldade em relacionar o branco e o preto com a reflexão ou absorção da luz ambiente, muitas vezes associados o branco e o preto aos extremos de uma escala graduada de cores, onde preto representa uma cor de mais baixa intensidade e o branco a cor de mais alta intensidade.

Levando-se em consideração estas concepções, incorporamos atividades na sequência didática associada ao conjunto experimental para explorar a influencia da luz ambiente na percepção da cor pelos alunos e na percepção do branco e do preto. Os detalhes dessas atividades serão mais bem apresentados no Capítulo 6 - Aplicação do Produto.

CAPÍTULO 6 – APLICAÇÃO DO PRODUTO

O produto educacional aqui desenvolvido foi aplicado em uma turma do terceiro ano de uma escola estadual da periferia de Juiz de Fora em maio de 2019. Esta turma era composta por trinta alunos do do turno matutino cujo professor regente não era o autor desta dissertação. De acordo com o professor regente, esta turma era formada por um grupo muito desmotivado e agitado por conta da eminente formatura. Havia muitos alunos que trabalhavam depois da aula, no turno da tarde.

Antes do início do trabalho, foram realizadas duas reuniões com a direção da escola e o professor regente. Na primeira, foram discutidos o que seria trabalhado nas aulas e como os conteúdos seriam conduzidos dentro do contexto específico daquela escola. A segunda reunião tratou-se de assuntos logísticos. A escola forneceu uma sala exclusiva para realização do trabalho, sendo possível deixar a organização das mesas e o conjunto preparados apropriadamente antes do início de cada aula. A aplicação do produto foi realizada pelo autor desta dissertação. Entretanto, o professor regente da turma acompanhou todo o processo.

Ao longo da aplicação, foram feitas reuniões entre o autor desta dissertação e a professora orientadora, para uma análise constante do andamento da aplicação, observando a aceitabilidade dos alunos e se os objetivos estão sendo atendidos em sala. E após a cada aula foi feito um relatório, seguido de orientação, constatando os pontos positivos e os negativos para as devidas modificações.

Nas próximas seções apresentaremos uma descrição do desenvolvimento de cada uma das aulas. No capítulo 7 apresentaremos dados coletados em sala sobre o desenvolvimento dos alunos ao longo do processo.

6.1 – DESCRIÇÃO DAS AULAS

Embora esteja previsto na sequencia didática 5 aulas (4 de trabalho e uma para avaliação), esta aplicação foi realizada em 3 aulas de 50 minutos para as atividades e 1 aula para avaliação. Os alunos foram divididos em 6 grupos de 5 alunos. Em cada atividade foi solicitado aos alunos anotarem em um “diário de um cientista” as conclusões extraídas pelo grupo dos debates e atividades experimentais.

6.1.1 Aula 1: Introdução às atividades

Objetivo

Identificar as concepções de cor que os alunos possuem e instigar um trabalho de investigação.

Dinâmica da aula: debate com todos os alunos sobre o conceito de cor

O primeiro encontro iniciou-se com uma breve apresentação sobre a dinâmica das aulas e das atividades. A disposição dos lugares na sala já estava de maneira adequada para a aplicação do produto: cinco mesas, cada uma com um seis alunos. A primeira aula objetivava um debate para perceber os conhecimentos prévios dos participantes. O trabalho iniciou escrevendo no quadro e perguntando a turma “O que é cor?”. Como previsto nas bibliografias que tratavam concepções alternativas recorrentes, muitos se referindo apenas a pigmentação como respostas “Cor é o pigmento das coisas” ou “Cor e a mistura de cores”. Realmente podemos observar uma inquietação entre os alunos quando lhe é perguntado o que é cor. Questionavam qual era a resposta certa então, logo após, foi feita outra pergunta “Do que depende a cor dos objetos?” E a maioria dizia “Pigmentação”. Foi necessária uma intervenção proferindo outra pergunta “Só a pigmentação?!”. Isso gerou um silêncio de pensamento, sendo necessário realizar mais uma intervenção. Foi falado aos alunos que responder o que é cor não é trivial, mas ao longo das atividades iriam aprimorar esse entendimento. Foi entregue a cada grupo uma folha com as seguintes perguntas:

1 - Ao ser iluminado com luz branca, um certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

2 - Você entra numa sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois? Justifique sua resposta.

Eles tiveram vinte minutos para entregar suas respostas. A primeira pergunta confirmou a concepção encontrada em Machado (2007). Nesse material falava-se em “luz colorida ativa” e “Luz colorida contém cor”, e foi obtida como resposta de um grupo na questão 1, que “A luzbranca vai deixar um azul mais claro e o vermelho vai escurecer a cor do papel”. A luz combinar cor como se fosse uma tinta é uma característica da concepção “A Luz contém cor”. Outro grupo apresentou a seguinte resposta: “A vermelha vai impedir de ver cor azul do cartão deixando mais escuro”. Essa resposta confirma a concepção de “Luz colorida

ativa” que basicamente se resume em uma distinção entre Luz colorida e Branca. A Branca é neutra, sem cor apresentando a cor “verdadeira” dos objetos enquanto a colorida soma cor com o objeto “escurecendo” ele.

Quanto à segunda pergunta muitos grupos responderam não haver diferença entre os dois cenários, mas não conseguiam justificar a resposta. A maioria dos grupos respondeu não haver diferença mas sem conseguir justificar a resposta.

As respostas dadas a terceira pergunta mostrou que a maioria respondeu as questões anteriores sem conhecer o que é luz branca. Como tinham alunos com internet no celular alguns responderam de uma maneira muito teórica, não externando o seu entendimento, mas de qualquer forma foi positivo pois precisaram pesquisar para aprender o que é luz branca. O curioso foi um aluno de um grupo pedir para falar com o colega do outro grupo. Foi dito a ele “se for pra falar de luz branca pode”. Ele disse meio espantado “como você sabia?” foi permitido ele ir a outra mesa, e sem entender nada ele foi. Percebe-se o espanto do aluno, que não está acostumado a trabalhar com a abordagem construtivista. Ao final da aula foi apresentado o espectrômetro, sendo distribuído um para cada grupo. Apontaram com o celular para a luz da sala e observaram o fenômeno da dispersão. A turma se mostrou bem motivada, mas como estava no final da aula foi entregue as atividades para casa. Cada grupo teria que fazer um espectrômetro e responder a duas perguntas: O que é dispersão da luz branca?; É possível fazer dispersão com a luz de outra cor? Se sim ou não, por quê? Também foram indicados links de textos, sites e vídeos para ajudar na realização das atividades.

6.1.2 Aula 2: O conceito de luz branca

Objetivo da aula: Trabalhar o conceito de luz branca, utilizando um espectroscópio caseiro e diversos tipos de fontes de luz.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo / discussão / experimentação

Ao início da aula, perguntou-se à turma se tinham realizado as atividades solicitadas. Dois grupos haviam produzido o espectrômetro. Todos os cinco grupos três haviam respondido o questionário.

Figura 41 - Espectrômetros produzidos pelos alunos



Fonte: Do Autor (2020)

Iniciou-se a aula com a apresentação dos espectrômetros, explicando como foram feitos, deixando os colegas manipularem o dispositivo de baixo custo. Foi feita a primeira intervenção pelo professor, “Qual fenômeno físico envolvido?”, ao que responderam “a luz”, sendo necessário complementar o questionamento: “Por que quando apontamos o espectrômetro pra luz da sala aparecem estas cores no celular?”. Felizmente, um aluno intermediou, perguntando se o que acontece é o mesmo que ocorre com o arco-íris, introduzindo uma segunda intervenção: “Que fenômeno é esse que forma o arco-íris?”. Outro aluno pesquisou no próprio celular e respondeu “a dispersão da luz branca”. A turma não conseguia compreender que a luz do dia é branca e se dispersa para formar o arco-íris. Uma dúvida ficou muito clara durante a aplicação: como a luz natural do dia tem a mesma classificação que luz da lâmpada de branca? Foi necessária, assim, outra intervenção: era

manhã e a luz da sala estava acesa. Aproveitando-se disso, o professor fez a pergunta “Pessoal, a luz da lâmpada da sala é branca?”, obtendo a resposta sim, pelos alunos. Novamente, “Qual a cor da minha camisa?” ao que responderam azul. Ao ser apagada a luz, a sala ficou bem escura, por causa da falta de iluminação natural Perguntou-se então: “E agora? Qual é a cor da minha camisa?” e eles responderam que não conseguiam enxergar

Encaminharam-se todos para a parte externa da sala, propondo-se a questão "A luz daqui de fora é branca?", e a resposta foi sim. “Qual é a cor da minha camisa aqui fora?”, e os alunos responderam azul. Lançada uma nova pergunta, “É possível ter arco-íris dentro da sala?”. Depois dessas intervenções, os alunos entenderam a dispersão da luz com mais clareza e o comportamento da luz branca natural e da luz branca artificial.

A maleta de luz foi então apresentada aos alunos. Cada grupo ficou em sua mesa com uma maleta. Foi pedido para colocarem seus celulares com a câmera ligada para observar a cor da figura dentro da maleta. Os alunos foram então desafiados a produzir luz branca dentro da maleta para descobrir a cor de uma figura secreta. Todos os grupos conseguiram formar a luz branca em menos de um minuto e puderam observar a figura.

Depois que a turma realizou essa prática foi feita a seguinte pergunta: “Vocês sabem o que acabaram de fazer dentro da maleta?” e responderam “ter enxergado a cor da figura”. Insatisfeito com essa resposta, o professor mostrou a cor da figura dentro da maleta e perguntou se, caso ela fosse tirada de dentro da maleta poderiam ser observadas as mesmas cores? Ao abrir a maleta e retirar-se a figura, ela apresentava a mesma cor que foi vista dentro da maleta. Só depois os alunos perceberam que haviam conseguido formar a luz branca dentro da maleta escura. À pergunta sobre quais cores foram usadas para formar a luz branca dentro da maleta, eles responderam verde, azul, amarelo e vermelho. A turma novamente apontou o espectrômetro para a luz branca da sala e respondeu à pergunta: “Quais as cores vocês estão observando? Conseguem observar a relação entre os dois experimentos?”. Os alunos perceberam que existe uma relação, embora não tenham entendido que a maleta faz o oposto do espectrômetro, que é juntar as cores para formar a luz branca. Um questionário foi entregue para ser respondido em casa com as seguintes questões: Podemos obter o espectro do arco-íris com fontes de luz vermelha? Por que as cores do arco-íris sempre ficam na mesma ordem? Se a luz branca abre-se em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?

Também foi proposta uma brincadeira com *fidget spinner* para compor o Disco de Newton. A brincadeira com o *fidget spinner* foi designada como tarefa para casa. Também foram indicados links sobre os sistemas combinações de cores, RGB e CMKY.

6.1.3 Aula nº 3: O conceito de mistura de cores/Aplicações da mistura de cor por reflexão.

No terceiro dia da aplicação foram realizados as aulas 3 e 4 previstas na sequência didática (Apêndice A). Os objetivos e dinâmicas inicialmente previstos foram:

Aula 3:

Objetivo da aula: Trabalhar experimentalmente o conceito de mistura de cores por pigmentação e por reflexão.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo, discussão, experimentação.

Aula 4:

Objetivo da aula: Utilizando a Maleta de Luz, estudar situações desafiadoras que evidenciam o fenômeno de mistura de cor por reflexão.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo, discussão, experimentação.

Tanto a aula três e quatro trabalhariam os mesmos conceitos de formação de cores por pigmentação e por reflexão. Entretanto, a aula quatro traria situações desafiadoras que utilizariam os conceitos trabalhados na aula três. A junção das duas aulas ocorreu devido a dinâmica que ocorreu durante a aula três. Onde o professor percebeu que seria interessante inserir já na discussão da aula 3 os problemas pensados para a aula 4.

Infelizmente, nenhum aluno fez a atividade pedida para entregar no terceiro encontro, mesmo com um intervalo de uma semana entre as aulas. A sequência já previa esse tipo de situação. Tudo que foi solicitado para fazer em casa seria trabalhado na aula. Na mesa de cada grupo já estava uma maleta de luz (figuras 42 e 43), e iniciamos o debate com o questionamento: Se a luz branca abre-se em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca? Quando os alunos analisam a pergunta, num primeiro momento lhes parece complicada, mas ao manipular o espectrômetro e observar as cores do espectro, e ainda utilizarem a maleta com as mesmas cores dos LEDs que fazem parte do espectro, percebem a solução do problema. Nesta terceira aula trabalhou-se a instrumentalização de conceitos

juntamente com a prática para solucionar problemas. Os alunos puderam usar todo o material do conjunto didático, que estiveram disponíveis na mesa de cada grupo durante toda a aula. Foram então propostas quatro problemas com situações que envolviam misturas de cores por pigmentação e por soma de luz. Uma delas, por exemplo, falava de um confeiteiro que deveria utilizar a mistura correta de corantes para chegar a uma determinada cor de um bolo. Uma outra questão descrevia o palco de um teatro com um chão branco, que deveria representar um gramado, uma plantação de flores laranja ou um lago azul, dependendo do jogo de luz do teatro. Os alunos tinham que usar o conjunto didático para descobrir qual a cor dos corantes e/ou do jogo de luz que deveriam utilizar para produzir cores secundárias corretas. Em outras questões, os alunos precisaram encontrar a mesma cor de um pigmento (CMKY) no sistema montado com a maleta de luz (RGB). Os alunos ficaram curiosos sobre o porquê de, ao misturarmos azul, verde e vermelho no pigmento a mistura ficar preta e na maleta de luz formar-se o branco. Um aluno pesquisou na internet de seu próprio celular e a conclusão básica foi encontrada no debate, de que o sistema CMKY funciona por subtração de cores e o RGB faz-se por somas.

Figura 42 – Aplicação do produto



Fonte: Do autor (2020)

Figura 43 – Observação das cores dentro da Maleta



Fonte: Do autor (2020)

Os problemas apresentados foram capazes de provocar o interesse e o engajamento dos alunos. Durante toda a aula, os alunos ficaram concentrados em resolver os problemas, utilizando o conjunto didático óptico como um instrumento para chegar à solução final. Os alunos ficaram tão interessados na atividade que começaram brincar com o conjunto didático. Por iniciativa própria, eles, por exemplo, experimentaram colocar outros objetos que tinham ao redor na maleta de luz para observar a mudança na coloração e brincaram de comparar a cor produzida pelos corantes com a cor produzida com os LEDs de mesma cor da maleta de luz.

No final da aula, o professor juntou todos os alunos para conversar sobre as conclusões que tiraram das atividades. Indagando à turma sobre o que é cor, do fundo da sala ouviu-se uma risada e um aluno dizendo: “Caraca! Não tinha como eu responder mesmo na primeira aula”. Esse posicionamento do aluno diz muito sobre o trabalho desenvolvido ao longo das três aulas. Se, ao final, conseguem perceber que só o conceito de cor já envolve muitas variáveis, o trabalho foi bem conduzido. A diferença entre os dois sistemas - RGB e CMKY - foi o ponto de partida para a resposta. Um outro aluno disse que “a cor está em dois sistemas, o RGB da luz que soma, e o CMKY, que se encontra em impressoras, subtraindo a cor”.

Para incitar o debate sobre a percepção de cor pela luz de reflexão foram feitas duas intervenções. À pergunta “Esta caneca é azul? Por quê?”, responderam que “A luz branca atinge a caneca, refletindo o azul”. E para a segunda intervenção “Se mudar a lâmpada da sala por uma vermelha, qual a cor resultante?” A turma pensou e discutiu durante um tempo, até que um aluno colocou a figura de cor azul utilizada na terceira aula na maleta, ajustou a luz vermelha e mostrou, dizendo que “vai dar roxo”. A atividade foi muito prazerosa para eles, demonstrando que o produto atingiu seu objetivo, a junção da sequência didática com o

conjunto tornou a aula muito semelhante a um jogo, criando um ambiente de problematização, envolvimento e debate sem que os alunos perdessem o interesse pela matéria.

6.1.4 Aula nº 4: Avaliação

A avaliação da aprendizagem dos alunos se deu através de questionário de múltipla escolha, correspondendo à sugestão de avaliação 2 da sequência didática (Apendice A). O resultado deste questionário e sua análise serão apresentados no capítulo 7.

6.2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A APLICAÇÃO

O conjunto didático, com sua respectiva sequência didática, tornou a aula muito dinâmica e prática. As atividades para realização em casa permitiram otimizar o tempo e tornar o conhecimento real, mas, mesmo que o aluno não siga a orientação, não haverá prejuízo, pois o assunto ainda será trabalhado em sala. A sequência e o conjunto didático se complementam, oportunizando o desenvolvimento da motivação e a participação dos alunos em sala. As situações problemas atingiram o seu objetivo, pois instigaram a curiosidade dos alunos e incentivaram os alunos a criar outras situações envolvendo a percepção de cor. A discussão dos problemas não foi prejudicada pela divisão em grupos, tendo se estendido a toda a sala em uma conversa em conjunto no final de cada aula.

Trabalhar o tema luz e cor torna-se um convite para a produção de um material de ensino norteado pela perspectiva socioconstrutivista, pois se vive o fenômeno e interage-se com ele constantemente, possibilitando a observação, a reflexão e o debate, tornando o conhecimento cada vez mais consolidado.

Em sala de aula, os professores encontram-se frequentemente em situações que precisam fazer a ponte entre as concepções alternativas dos alunos e os conceitos escolares. Para identificá-los, precisamos, antes, em sala, entender o que os alunos já sabem acerca da temática luz e cor, ou seja, o conhecimento real (o que já possuem), o que potencialmente podem adquirir com a ajuda do mediador ou colega mais experiente sobre o tema (Zona de Desenvolvimento Proximal - ZDP) e, por fim, aquele conhecimento que os alunos ainda não possuem condições de adquirir.

O debate realizado na primeira aula sobre os fenômenos luz e cor contribuiu para identificar a Zona de Desenvolvimento em que os alunos se encontram. Por exemplo, ao

serem indagados na primeira aula sobre “O que é luz branca?”, muitos alunos responderam que este tipo de luz é encontrado em estabelecimentos comerciais e é muito econômica. Observa-se, nessa resposta, que o aluno trouxe sua experiência individual com lâmpadas fluorescentes, e responderam embasados em sua percepção sensorial da cor que se lhes apresenta como “branca”. Mas por outro lado, esta pergunta mostrou que os alunos, mesmo estando no final do terceiro ano do ensino médio, as ideias sobre luz branca que eles tinham no primeiro momento não permitiria a discussão da influência da luz ambiente na percepção da cor dos objetos.

Na perspectiva de Vygotsky, os instrumentos, ou seja, elementos pelos quais os alunos interagem e modificam a natureza possuem um papel importante na aprendizagem das crianças por meio dos objetos, o que seguimos no desenvolvimento deste material através dos experimentos de baixo custo. Neste sentido, o conjunto didático aqui apresentado propiciou aos alunos justamente um mecanismo de observação e interação com situações que evidenciam os mecanismos físicos relacionados à percepção da cor. Eles puderam observar situações de mistura de cor cujo resultado foge do senso comum. . O espectrômetro permitiu estimular o debate acerca do que é a luz branca e a distinção entre luz branca natural e a das lâmpadas. O contato com o fenômeno da dispersão aguçou a curiosidade e despertou de maneira espontânea discussões sobre, por exemplo, se esse fenômeno é o mesmo visto nas bolinhas de sabão, ou na formação do arco-íris. A maleta de luz associada aos corantes permitiu que os alunos trabalhassem com subtração de cores com pigmentos e a formação de cores por adição. Trabalhando estes dois fenômenos de maneira integrada, foi possível discutir a diferença entre os sistemas CMKY e RGB. Por exemplo, durante as aulas, os alunos puderam observar que, ao juntarmos as cores das luzes verde, azul e vermelho na caixa de luz, obtemos a luz branca e ao juntarmos pigmento com essas mesmas cores, obtemos uma coloração escura.

A sequência didática foi pensada de forma a privilegiar a prática e o debate em grupos, construindo conceitos com o auxílio do conjunto didático mediado pelos problemas apresentados e pelo professor. A aplicação deste produto em sala, obtivemos o proporcionou aulas com uma dinâmica muito produtiva, que despertou a curiosidade e o engajamento dos alunos.

A abordagem socioconstrutivista permeia cada aula, com problemas apresentados para a turma que, em conjunto, pode procurar e apresentar uma solução. O aluno é responsável pela construção de seu aprendizado e sua evolução a cada aula é promovida pelos debates em grupo e pelas atividades. Foram inseridas atividades nas quais os próprios alunos produzem os

dispositivos utilizados nos experimentos, demonstrando a possibilidade de se realizarem aulas de qualidade e efetividade com o uso dos materiais de baixo custo, como o espectrômetro aqui apresentado. O processo de montagem traz um sentimento de pertencimento e significação dos conceitos para os alunos, formando uma bagagem conceitual muito grande e gerando motivação. As pesquisas para casa também fazem parte dessa sequência, antecipando assuntos que serão debatidos na aula seguinte. Este trabalho foi pensado considerando experimentação, interação social, desafios e o conhecimento concreto como partes inerentes de um processo lógico de aprendizagem.

CAPÍTULO 7 – ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Neste capítulo, apresentaremos uma análise das anotações redigidas por um dos grupos de alunos ao longo das aulas e também do resultado da avaliação final realizada no último dia. O produto foi aplicado em uma turma de 30 alunos dividida em cinco grupos de seis pessoas. A composição dos grupos foi mantida a mesma durante todas as aplicações. Dos grupos participantes escolhemos para análise as anotações daquele que manteve a regularidade de presença e participação, com o objetivo de analisar como ocorreu a evolução das ideias sobre o tema cor ao longo das práticas. Neste capítulo, as respostas serão transcritas exatamente como foram redigidas pelos alunos, mantendo eventuais erros de gramática e ortografia, de modo a manter a autenticidade das respostas. A atividade de avaliação realizada na última aula refere-se ao questionário conceitual da Atividade Avaliativa da sequência didática (Apêndice A, seção 2.1, aula nº5, sugestão 2). Este questionário foi respondido individualmente por todos os alunos da turma.

7.1 - ANÁLISE DAS ANOTAÇÕES FEITAS EM GRUPO, NAS AULAS 1, 2 e 3 DA APLICAÇÃO

Apresentaremos aqui a análise das anotações redigidas pelos alunos durante as atividades. Para cada aula apresentaremos inicialmente um resumo da dinâmica da aula, seguidas de perguntas propostas e das respectivas respostas dos alunos do grupo analisado. Para cada resposta apresentaremos uma análise referente ao vocabulário apresentado pelos alunos, a coerência das respostas com a explicação científica e a capacidade dos alunos em expressar as ideias por escrito.

7.1.1 - Aula 1: Introdução às atividades

A aula iniciou com um debate em torno da pergunta “O que é cor?” e “Do que depende a cor dos objetos?”. Após os alunos exporem livremente suas ideias, foram entregues à turma três perguntas para serem respondidas em grupo, em até vinte minutos. É importante lembrar que os alunos não tiveram contato com o conjunto óptico na primeira aula. A seguir, seguem as respostas do Grupo 1 nesta atividade, seguidas de nossas análises:

Pergunta: Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

Resposta do grupo: *“O Papel vai ficar com um azul tom mais claro com vermelho vai ficar escuro. O vermelho é mais escuro que o branco, tem mais cor.”*

Nesta resposta, percebemos que os alunos possuem intuitivamente a noção de que a troca da iluminação do objeto altera a percepção da cor, mas a explicação do fato está um pouco confusa. A resposta da cor escura no papel com a iluminação vermelha dizendo que o vermelho “é mais escuro” evidencia uma não compreensão do processo de reflexão e absorção de luz e a sua relação com a percepção de cor.

Pergunta: Você entra em uma sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois? Justifique sua resposta.

Resposta do grupo: *“Não muda as cores vão ficar a mesma.”*

Nessa resposta não foi possível concluir se os alunos acham que a iluminação não irá alterar a cor em cada um dos cantos (ou seja, se seria possível notar a diferença de cor entre os cantos) ou se quiseram dizer que as cores dos dois cantos seriam as mesmas com a iluminação proposta. Em todo o caso, fica evidente a dificuldade de colocar em palavras escritas as ideias sobre o assunto.

Pergunta: O que é Luz branca?

Resposta do grupo: *“Luz branca é a do dia e das lâmpadas”*

Nesta pergunta os alunos foram capazes de exemplificar o que chamamos de luz branca. Nota-se que esses alunos consideraram como luz branca tanto a luz natural como a artificial, ao contrário do que vimos em várias respostas apresentadas no questionário conceitual para sondagem de concepções alternativas (capítulo 5) no qual trinta alunos entre quarenta haviam respondido que luz branca é a luz do sol (natural) ou a da lâmpada (artificial). Entretanto os alunos não souberam explicar (ou descrever) o que é luz branca.

Ao final da primeira aula foi solicitado aos grupos que montassem um espectrômetro de baixo custo e respondessem às perguntas abaixo em casa, para apresentar na aula seguinte.

Ressalta-se que, diferente das questões da aula 1, o objetivo destas perguntas não foi sondar os conhecimentos prévios, mas estimular a reflexão sobre o assunto. Todos na sala foram incitados a buscar a resposta em livros e/ou na internet. As perguntas e as respostas dadas pelo grupo 1 foram as seguintes:

Pergunta: O que é dispersão da luz branca?

Respostas do grupo: *“A dispersão é um fenômeno óptico que consiste na separação da luz branca, ou seja, separação da luz solar em várias cores, como as do arco-íris, cada qual com uma frequência diferente. Esse fenômeno pode ser observado em um prisma de vidro.”*

É possível fazer dispersão com a luz de outra cor? Sim ou não, e por quê? Respostas do grupo: *“Não a dispersão so pode ser feita com a luz branca.”*

Observa-se que as respostas para a primeira pergunta de casa foram muito mais elaboradas em relação às perguntas respondidas em sala de aula, sugerindo que, de fato, os alunos fizeram uma pesquisa para responder. Na segunda pergunta, apresentaram uma resposta sem muitos detalhes nem desenvolvimento de ideias. Isto indica que o grupo pesquisou o que é a dispersão, mas ainda não internalizou como ocorre este fenômeno.

7.1.2 - Aula 2: O Conceito de Luz Branca

Na aula 2 foram apresentados em sala os espectrômetros de dois grupos, visto que somente esses que realizaram a atividade. Houve oportunidade para todos manipularem os espectrômetros levados pelo professor, observando na tela dos seus celulares a dispersão da luz branca. Depois de realizarem a prática foram passadas algumas perguntas para serem respondidas, lembrando que eles já estavam com o Conjunto Didático na mesa de cada grupo.

Pergunta: Qual fenômeno físico envolveu o experimento?

Resposta do grupo: *“Dispersão da Luz Branca.”*

Esta pergunta já se tornou mais simples de responder, pela própria prática com o celular.

Pergunta: Explique como a dispersão da luz no céu, formando o arco-íris que vemos

se faz da mesma maneira nos experimentos de baixo custo (espectrômetro).

Resposta do grupo: *“É a dispersão da luz do sol na atmosfera úmida formando as luzes coloridas do arco Iris.”*

Para esta resposta, os alunos puderam utilizar os próprios celulares para pesquisar na Internet. Mesmo não apresentando as características de frequência, ângulo de reflexão e ondas nesse processo, que acontecem com a interação da luz do sol e as gotículas de água da atmosfera, percebe-se que o grupo pesquisou e tentou transpor a ideia central do fenômeno.

Pergunta: Podemos obter o espectro do arco-íris com fontes de luz vermelha? (Os alunos puderam utilizar a maleta de luz junto com o espectrômetro para tentar responder a esta pergunta.)

Resposta do grupo: *“Não, só com a luz branca”*

Esta foi uma constatação realizada pelos alunos através da prática com a maleta junto com o espectrômetro.

Pergunta: Por que as cores do arco-íris sempre ficam na mesma ordem?

Resposta do grupo: *“Cada cor tem uma frequência.”*

Com esta pergunta, observamos novamente uma dificuldade dos alunos em justificar por escrito as suas ideias. Eles mostraram que sabem da relação entre cor e frequência, mas não fica explícito que a ordem da dispersão das cores segue a ordem crescente do comprimento de onda.

Pergunta: Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca? (Atividade feita com a maleta de luz)

Resposta do grupo: *“Não, porque cada cor tem uma frequência específica ficando difícil fazer elas se juntarem novamente.”*

Esta resposta mostra que ainda existe uma concepção distorcida do que é luz branca pelos alunos. Contudo, esta questão foi trabalhada no final da aula e os alunos não tiveram tempo suficiente para manusear a maleta de luz e trabalhar a ideia de que a luz branca é

composta por luzes de várias cores. Entretanto, os alunos puderam trabalhar este aspecto novamente na aula 3. No final desta aula foram deixadas as seguintes tarefas em grupo para casa:

- 1- Responder à pergunta: “Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?”
- 2- Brincadeiras com o *fidget spinner*;
- 3- Como na aula três seria trabalhado mistura de cores foi encaminhado texto e vídeos sobre os sistemas RGB e CMKY para se preparar para próxima aula.

7.1.3 - Aula 3: O Conceito de Mistura de Cores/Aplicações da Mistura de Cor por Reflexão

Depois de uma breve discussão em sala de aula sobre os sistemas de soma de cores RGB e CMKY os alunos utilizaram a Maleta de Luz (com fundo branco) e o conjunto de tintas para estudar a formação de cores secundárias, preenchendo uma tabela de formação de cores. Em seguida, responderam em grupo às questões descritas abaixo. Junto com as questões, apresentamos as respostas do grupo 1.

Pergunta 1: Um confeitiro precisa simular a grama de um campo de futebol (verde) na cobertura de um bolo. Como ele pode obter a cor verde, contando apenas com corantes vermelho azul e amarelo?

Resposta do grupo: “Azul e amarelo misturados.”

Pergunta 2: Uma peça de teatro possui um único cenário para três cenas distintas. A troca de cena é determinada pela iluminação do palco. O cenário possui uma área central com um tapete sem estampa, com árvores de tronco marrom, folhas verdes e flores de coloração rosa, vermelha e laranja ao redor. A primeira cena ocorre em um gramado verde. A segunda cena ocorre em uma plantação de flores laranja. A terceira cena ocorre em um lago azul. O técnico de iluminação possui apenas fontes de luz nas cores vermelho, azul e amarela.

a) Em cada uma das cenas, qual deverá ser a cor do tapete (que é o mesmo para todas as cenas) e a cor da iluminação do palco? Por quê?

Resposta do grupo: “Tapete branco, iluminação verde cena1, vermelho e amarelo cena2 e azul cena3.”

b) Em cada uma das cenas, como ficará a cor das árvores, tronco e flores? Por quê?

Resposta do grupo: “C1: verde; C2: amarelo, verde C3: azul

C1: folhas verdes, tronco preto, flor verde escuro e flores pretas C2: folhas pretas, tronco preto, flores pretas e flores vermelhas C3: tudo preto”

Nesta atividade percebemos a evolução nos alunos, pois trabalharam com os dois sistemas de cores, sendo possível diferenciá-los com esses dois exercícios. Na segunda pergunta puderam interagir dois sistemas com uma árvore colorida dentro da Maleta de Luz, observando como se altera a percepção de cor à medida que alteramos a luz dentro da maleta.

Figura 44 - Usada na aplicação dentro da maleta de Luz para responder à pergunta 2.



Fonte do autor (2019)

Pergunta 2: Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

Resposta do grupo: “Preta, tirou a luz.”

O grupo já consegue entender a ideia da subtração de cores na interação luz e pigmento.

Pergunta: Você entra numa sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois?

Resposta do grupo: “Continua verde. Branco do cenário reflete o verde da luz. Verde do cenário e refletido pela luz branca.”

É importante lembrar que estas atividades foram simuladas com o conjunto óptico para chegar à resposta, ou seja, utilizou-se a Maleta de Luz com uma figura verde. Tirou-se a figura, ficando o fundo branco, e depois jogou-se a luz do *LED* verde para comparar com a figura verde iluminada com a luz branca. Como foi perceptível que os alunos não se atentaram para o fato de o branco refletir todas as cores foi feito um rápido debate para corrigir esse detalhe importante.

Pergunta: O que acontece quando misturamos todas as cores de corantes? E na maleta de luz? Explique as diferentes.

Resposta do grupo: *“Na caixa forma a luz branca nos corantes perde a cor.”*

Essa resposta indica que a prática com a Maleta naturalizou a ideia de formar a luz branca; já com os corantes, de maneira bem sutil, o aluno trabalha a subtração de cores dizendo que “perdeu a cor”. Em suma, a atividade atingiu seu objetivo, que foi trabalhar a diferenciação entre esses dois sistemas. Na última aula será trabalhada uma atividade individual, que contemplará algumas atividades já trabalhadas na aula 3, mas faz-se necessário repeti-las para que a ideia fique bem assimilada e também para observar como foi a evolução da turma.

7.2 - AVALIAÇÃO FINAL

A atividade de avaliação consistiu de uma primeira pergunta, aberta, extraída do trabalho de Juliana Machado (2007), artigo que inspirou a construção da Maleta de Luz, e de um questionário conceitual de questões objetivas de múltipla escolha, que consta no trabalho de Bravo e Pesa (2005).

Como descrito no Capítulo 4 o trabalho de Machado (2007) envolveu a aplicação da sequência elaborada por ela em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio no Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Santa Catarina. Do total de 25 alunos da turma, 21 estiveram presentes no exame final. Embora o público-alvo de Machado tenha sido ligeiramente diferente do que trabalhamos nesta dissertação, o fato de a atividade realizada em uma sala de aula escura ter sido semelhante ao que fizemos com a Maleta de Luz permitiu que fizéssemos uma avaliação de nossos resultados a partir do que está descrito no trabalho de

Machado (2007).

Por outro lado, o trabalho de Bravo e Pesa (2005) também envolveu o estudo de concepções espontâneas sobre o conceito de cor de adolescentes entre 14 e 15 anos. As opções das respostas de cada pergunta apresentada pelos autores foram elaboradas de forma a conter, pelo menos: uma alternativa coerente com a explicação dos fenômenos das ciências escolares; uma coerente com a explicação dos fenômenos das ciências escolares, mas incompleta; uma incoerente com a explicação dos fenômenos das ciências escolares e uma alternativa com uma resposta possível utilizando-se o senso comum. Durante a aplicação deste produto, os alunos foram instruídos a escolher a alternativa que achassem mais apropriadas. A análise das respostas dos alunos baseou-se nesta categorização das alternativas feita por (Bravo e Pesa, 2005).

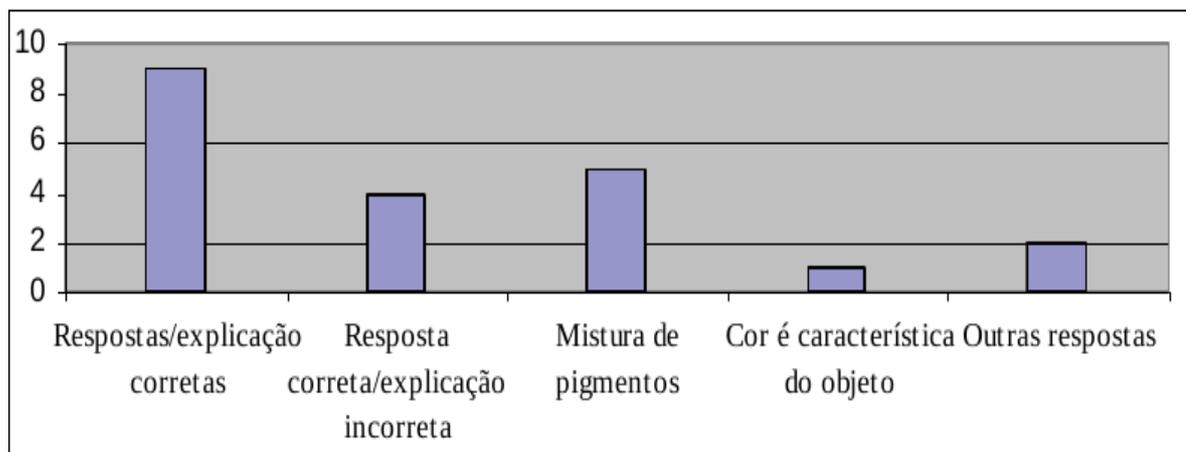
7.2.1 - Análise da questão aberta colocar o número da questão

Questão: Iluminamos um buquê de rosas vermelhas apenas com luz verde. De qual cor veríamos: (a) as pétalas; (b) o caule e as folhas.

Resultado das respostas dos alunos de Juiz de Fora: 18 alunos responderam com as cores corretas, sem justificativa, 4 apresentaram respostas incorretas, 8 não responderam.

A Figura 45 mostra o resultado para esta mesma questão encontrada no trabalho de Machado (2007), aplicada após as atividades sobre cores. Naquele caso, em um total de 21 alunos, 13 alunos apresentaram resposta correta para a questão (independentemente da justificativa). Curiosamente, é a mesma proporção entre os alunos que identificaram corretamente as cores e o total de alunos que responderam ao questionário desta dissertação (aproximadamente $2/3$ dos alunos). Isto é um indício de que trabalhar com o fenômeno da percepção da cor dependendo da iluminação em uma sala escura ou com a Maleta de Luz pode ter o mesmo efeito em termos de aprendizagem.

Figura 45 - Resultado da resposta dissertativa da Avaliação do trabalho de Juliana Machado
Neste trabalho, 21 alunos responderam ao questionário.



Fonte: Juliana Machado (2007)

7.2.2 - Análise do questionário de múltipla escolha

O questionário da Avaliação final encontra-se na seção 2.1 do Apêndice A. Ele corresponde à sugestão 2 de avaliação. A tabela 11 apresenta o número de respostas dadas pelos alunos para cada alternativa de cada questão. Para facilitar a leitura, as perguntas deste questionário foram colocadas no final desta seção.

Tabela 11 – Respostas dos alunos ao questionário de avaliação

Alternativa	Pergunta						
	1	2	3	4	5	6	7
(a)	0	4	4	<u>0</u>	0	<u>0</u>	13*
(b)	16	13	8*	0	15	17	9
(c)	3	8	<u>0</u>	14	15	8	<u>3</u>
(d)	3	5	0	10*	-	5	5
(e)	8	-	0*	6	-	-	-
(f)	0	-	18	0	-	-	-

Fonte: Do autor (2020).

Legenda:

Em negrito: as respostas contemplam uma explicação sobre a natureza e percepção da cor coerente com a das ciências escolares.

As respostas marcadas com asteriscos (*) *contemplam uma explicação coerente com a das ciências escolares, mas que envolve um menor número de variáveis.*

As respostas sublinhadas envolvem percepções intuitivas, cotidianas e de bom senso. As demais envolvem ideias que não são coerentes com a proposta das escolares.

As respostas foram analisadas baseando-se na classificação apresentada no trabalho de Bravo e Pesa (2005). Na tabela 12, apresentamos uma tradução adaptada e simplificada dessa classificação, que envolve a coerência da resposta em relação à descrição científica do conceito, bem como a completeza da resposta. Na sequência, apresentamos a análise dos resultados apresentados na tabela 11 a partir dessa classificação. Embora as questões 1, 2 e 5 tenham sido respondida pelos alunos, envolvem conceitos sobre o processo de visão que não foram abordados diretamente nesta sequência didática. Concentraremos-nos, então, na análise das perguntas 3, 4, 6 e 7, que estão relacionadas diretamente ao conceito de cor.

Comparando-se a tabela 12 à tabela 11, verificamos que nas quatro questões aqui discutidas (3, 4, 6 e 7), quase a totalidade dos alunos apresentaram respostas dentro das categorias 1 e 2, que contemplam uma explicação coerente com a das ciências escolares, em um maior ou menor grau de complexidade. Nas questões 3 e 6, a maior parte dos alunos (18 e 17 em 30 alunos, respectivamente) escolheu as alternativas na categoria 1, com maior grau de complexidade nas respostas. Na questão 4 todas as respostas nas categorias 1 e 2 foram muito próximas (14 e 10 em 30 alunos, respectivamente). Entretanto, a escolha de 10 alunos pela resposta de categoria 2 provavelmente deve-se ao fato de a palavra “amarelo” que está na pergunta também aparecer na resposta (d), categoria 2, e não na resposta (c), categoria 1.

Observa-se que os 6 alunos que não escolheram as letras (c) e (d), escolheram a resposta (e), categoria 3, onde a palavra “amarelo” também aparece. O resultado para a questão 7 é o mais curioso. Dos 30 alunos, 9 escolheram a alternativa (b), categoria 1, que envolve tanto as propriedades do objeto, da luz ambiente e do processo de visão, mas 13 alunos escolheram a resposta (a), da categoria 2, que fala apenas sobre o objeto “ser iluminado por uma luz branca, e refletir verde”. É possível que a confusão tenha ocorrido porque a alternativa (a) fala em reflexão de uma mistura de cores, enquanto a letra (c) fala em reflexão da luz verde explicitamente.

Nota-se também que, nas questões 3, 4, 6 e 7, o número de respostas na categoria 3, referentes à respostas que envolvem ideias que não são coerente com a proposta da ciência, foram mínimos. Na questão 3 e 7 foram 4 e 5 respostas, respectivamente. Nas questões 4 e 6 nenhum aluno escolheu uma alternativa desta categoria. Na questão 3 foram 4 alunos e na

questão 6 foram 5 alunos em um total de 30.

Tabela 12 - Classificação das alternativas das questões do questionário de avaliação

Categoria	Características da resposta	Respostas que se encaixam nesta classificação
1	<i>Contemplam uma explicação sobre a natureza e percepção da cor coerente com a das ciências escolares</i>	3.f, 4.c, 4.f, 6.b, e 7.b: concebem que parte da luz que incide sobre o objeto é absorvida e o restante é refletido. Essa luz refletida incide sobre o olho e é interpretada como uma cor (a cor da qual vemos o objeto).
2	<i>As respostas que contemplam uma explicação coerente com a das ciências escolares, mas que envolve um menor número de variáveis e interações na concepção da natureza e percepção da cor.</i>	3.b e 4d: considera-se que a cor se deve à luz absorvida e refletida - transmitida por um objeto, sem explicitar a função olho- sistema visual neste processo ou à interação transmitida luz-olho, sem considerar as absorções e reflexos. 3.e e 7.a: contemplam apenas o processo de reflexão, concebendo a cor como consequência da natureza da luz refletida.
3	<i>Respostas envolvem ideias que não são coerente com a proposta da ciência</i>	3.d; 4.e e 6.d: implicam conceber a cor como produto da absorção que o corpo faz ao incidir a luz sobre ele. Assim, a cor da qual o objeto é visto é
		considerada compatível com a cor da luz que o objeto absorveu. 3.a 4.b 6.c e 7.d: envolvem uma ideia que não é consistente com a de ciências escolares, mas pode ser considerada uma ideia de produto da escolarização, devido às relações envolvidas e ao vocabulário utilizado.
4	<i><u>Respostas sublinhadas:</u> envolvem ideias intuitivas, cotidianas e de bom senso.</i>	3.c, 4.a, 6.a e 7.c: a cor é concebida como uma propriedade da matéria.

Fonte: Tabela baseada na tradução adaptada e simplificada do trabalho de do trabalho de Bravo e Pesa (2005).

7.2.3 - Resultado geral

Percebemos, pela análise das anotações dos alunos, que eles foram adquirindo vocabulário e conceitos novos ao longo das aulas. Na primeira aula, que foi de escrita livre, para motivação e sondagem das concepções dos estudantes sobre o conceito de cor, foram apresentadas ideias confusas para responder às questões solicitadas. Por outro lado, ao longo das aulas, ampliou-se a capacidade de oferecer *respostas coerentes com as das ciências escolares*, embora tenham apresentado muita dificuldade em elaborar sentenças mais complexas para justificar suas respostas.

Por outro lado, os resultados obtidos durante a atividade de Avaliação Final, mostram que as atividades realizadas foram capazes de provocar uma mudança na concepção do conceito de cor dos alunos, tornando essas concepções mais próximas das ideias científicas. O resultado da Avaliação Final mostra que a estratégia de trabalhar com experimentação para modificar as concepções de cores produz resultados importantes. Entretanto, precisamos atentar ao fato de os alunos ainda não conseguirem expressar essas novas concepções por escrito. Esse problema pode estar relacionado à falta de costume dos alunos em descrever por escrito fatos observados em atividades experimentais e devesse ser trabalhado ao longo de todo o Ensino Médio.

CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido nesta dissertação parte da premissa de que o ensino do conceito de cor não pode se restringir à dedicação por horas debruçadas em vastas bibliografias teóricas. Por envolver sensações pessoais e culturais, além de fatores químicos, físicos e biológicos, é fundamental que o trabalho em sala de aula sobre este conceito envolva a interação entre alunos e atividades experimentais. Por isso, utilizamos aqui uma abordagem construtivista ancorada nas ideias de Vygotsky. Nesta perspectiva, recai sobre o professor a mediação do processo de aprendizagem, promovendo a interação entre os alunos, a motivação e a participação dos discentes nas atividades propostas e o incentivo à reflexões sobre os temas abordados.

O desenvolvimento deste trabalho também teve como base a identificação das concepções alternativas dos alunos de ensino médio, com o objetivo de fornecer subsídios para o planejamento de atividades que pudessem modificar essas concepções e levar os alunos a um pensamento coerente com as explicações científicas do conceito de cor. Para alcançar este fim, aplicamos o questionário conceitual a alunos do terceiro ano do ensino médio, no início do desenvolvimento. As concepções alternativas encontradas nas respostas dos alunos a este questionário foram semelhantes às concepções alternativas apresentadas em os estudos já realizados sobre o tema (BRAVO e PESA, 2005; ALMEIDA et al., 2007; MOTA e SANTOS, 2018) e mostram que ideias comumente difundida no ambiente escolar de que o conceito de cor é objeto de estudo do ensino infantil e primário são equivocadas.

A partir destas observações, desenvolvemos o conjunto didático composto de quatro dispositivos que permitem trabalhar o conceito de luz branca e a mistura de cores por soma e subtração de luz, e o conceito de cores primárias e secundárias nos sistemas RGB e MKCY. Todos os dispositivos foram pensados para serem de baixo custo e de fácil manuseio por alunos e professores.

Ao longo da aplicação do produto em sala de aula, percebemos que a produção pelos alunos do espectrômetro em casa transcorreu sem problemas. A maleta de luz foi de fácil manipulação pelos alunos, permitiu a realização de diversos tipos de atividades dirigidas pelo professor e despertou a vontade dos alunos em investigar por conta própria a alteração das cores de objetos do dia a dia dependendo da fonte de luz. Os corantes alimentícios foram fundamentais para trabalhar o conceito de mistura de cor por pigmentação. Assim como o que ocorreu com a caixa de luz, os alunos também brincaram de misturar cores por iniciativa

própria e ainda puderam comparar a mistura de cores com os pigmentos com a mistura de cores feita na caixa de luz.

O único dispositivo que não produziu o efeito esperado foi o disco de Newton feito com o *fidget spinner*. Este experimento foi pensado em um momento em que este brinquedo era moda entre os adolescentes. A ideia era criar uma atividade sobre formação de cores com um material presente no cotidiano dos alunos e que eles pudessem realizar em casa. Entretanto, nenhum aluno fez o experimento solicitado em casa com este material. Esta falta de ímpeto pode ter ocorrido porque os alunos já sabiam que iriam trabalhar com dispositivos em sala de aula, ou talvez não tenham compreendido o objetivo do experimento. Apesar disso, a discussão sobre formação de cores por adição não foi prejudicada porque a maleta de cores cumpriu este papel.

Ao longo do processo de aplicação do Produto Educacional, obtivemos respostas muito positivas dos alunos em relação ao engajamento nas atividades. Os alunos participaram ativamente das atividades propostas, desde a manipulação dos alunos com os dispositivos do conjunto didático até a participação nos debates. Eles também foram instigados a anotar as conclusões feitas durante os experimentos e durante os debates.

A sequência didática com uma abordagem construtivista também se mostrou muito positiva para a pesquisa. O aprendizado ativo foi um convite ao estudo do tema. Os alunos vivenciavam ao longo de todo o processo experiências que envolvem a percepção de cor. Falar de cor e luz através desses dispositivos proporcionou aos alunos a oportunidade de manipulação dos fenômenos, realizando uma comunicação com os conceitos científicos.

Além do aspecto motivacional, também observamos aspectos positivos da aplicação do produto na aprendizagem dos conceitos. Ao longo das atividades, observamos um aumento do vocabulário científico dos alunos nos relatórios produzidos por eles. A ideia de luz branca relacionada ao tipo de fonte de luz (natural ou artificial) foi substituída pela ideia de composição espectral da luz. Os alunos também foram capazes de resolver problemas relacionados à formação de cor por pigmentação e por reflexão.

Estes resultados também foram observados na avaliação final, composta de uma questão dissertativa extraída do trabalho de Machado (2007) e de um questionário conceitual de múltipla escolha extraído do trabalho de Bravo e Pesa (2005) respondido individualmente pelos alunos. Verificamos nesta atividade que cerca de 60% dos alunos foram capazes de responder à questão dissertativa de modo coerente com o conhecimento científico. Este resultado foi similar ao encontrado por Machado (2007). No questionário de múltipla escolha,

observamos que, dependendo da questão, entre 60% e 100% foram capazes de apresentarem respostas coerentes com as explicações científicas, em maior ou menor grau de complexidade.

Entretanto, é necessário ressaltar que, apesar dos alunos terem demonstrado um aumento no vocabulário científico e na capacidade de resolver problemas relacionados ao conceito de cor, os alunos não foram capazes de redigir frases mais complexas nos relatórios elaborados durante as atividades e na pergunta dissertativa da avaliação final. Isto pode ser um indício de que ainda há espaço para trabalhar o conceito de cor com estes alunos mas também pode ter ocorrido por falta de costume dos alunos em trabalhar com atividades investigativas, que exigem anotações mais elaboradas. Mas independentemente do motivo, este fato mostra a necessidade de trabalhar se trabalhar a escrita científica com alunos do ensino médio.

Por fim, o desenvolvimento deste trabalho configurou-se como uma boa opção para o ensino ativo dos temas cor e luz, dialogando com as concepções alternativas dos alunos e conseguindo tornar o processo de aprendizado interessante e prazeroso para os alunos. Observar as dificuldades superadas por meio do debate ou da manipulação de experimentos de baixo custo foi decisivo para entender que esta proposta pode contribuir na construção do conhecimento dos alunos, ampliando e qualificando suas concepções de luz e cor.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Voltaire; CRUZ, Carolina; SOAVE, Paulo. Texto de apoio ao Professor de Física. **Concepções alternativas em óptica**, [s. l.], v. 18, n. 2, 2007.
- ARAÚJO, Ana Paula. Sensibilidade ISO. InfoEscola. S/d. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fotografia/sensibilidade-iso/>. Acesso em: 23 jan. 2020.
- BRAVO, Bettina M.; PESA, Marta A. Concepciones de alumnos (14 – 15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, [s. l.], v. 10, n.3, p. 337-362, dez 2005. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/issue/view/42>. Acesso em: 22 fev. 2021.
- CUNHA, Arielly; CRUZ, José. Inclusão Pedagógico Cultural. **Daltonismo e o ensino de cores da Educação Infantil**, [s. l.], 2016.
- FINO, Carlos Nogueira. Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): Três implicações pedagógicas. **Revista Portuguesa de Educação**, Portugal, ano 02, v. 14, p. 273-291, 2001. Disponível em: <http://www3.uma.pt/carlosfino/publicacoes/11.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- HEWITT, Paul. **Física Conceitual**. 9. ed. [S. l.]: Bookman, 2008. ISBN 0-321-05202-1.
- KAULFUSS, Marco Aurélio. Vygotsky e suas contribuições para a educação. **Revista científica eletrônica da FIAT**, [s. l.], 2015. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/CbhpvBukokmetSx_2017-1-21-11-30-48.pdf. Acesso em: 17 ago.2018
- MACHADO, J. Análise de uma sequência didática proposta a partir das concepções de estudantes do Ensino Médio sobre Luz e Cores. In: VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2007.
- MOTA, Ana; SANTOS, João. Investigações em ensino de ciência. **Investigating students' conceptual change about colour in an innovative research-based teaching sequence**, [s.l.], 2018.
- NEVES, Rita; DAMIANI, Magda. Vygotsky e as teorias da aprendizagem. **UniRevista**, [s. l.], v. 1, ed. 2, 2006.
- NEWTON, I. Óptica. Tradução: ASSIS, André Koch Torres. São Paulo: EDUSP, 2002.
- OLIVEIRA, Sinuê. **Espectroscopia Para o Ensino de Física Moderna e cosmologia**. 2019. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2019.
- PEREIRA, Ricardo Francisco. Montagem de espectroscópio para câmera de smartphone. 2016. (26m41s). Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s><https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s>. Acesso em: 18 dez.2018.

RIBEIRO, Maria da Conceição Santos. **As cores e a Visão e a Visão das Cores**. Orientador: Sandra da Costa Henriques Soares. 2011. Optometria em Ciências da Visão (Mestrado) - Universidade da beira interior, [S. l.], 2011.

RICARDO, Tobias. **Aprendizagem Baseada em Projetos e Feira de Ciências**. 2019. Uma associação motivadora para o aprendizado de Física (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [S. l.], 2019

ROSA, Cleci W. ; ROSA, Álvaro Becker da . Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. REEC. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias , Espanha, v. 4, n.1, p. 1-12, 2005.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física IV - Ótica e Física Moderna**, 12a ed. São Paulo, Addison Wesley, 2009.

FIGURAS

Figura 2: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Espectro-eletromagnetico_fig1_273108645

Figura 5 – A Catástrofe ultravioleta: <https://institutedepesquisascientificas.wordpress.com/>

Figura 6 - A visão: <http://fisicaolhohumanond.blogspot.com/2012/03/formacao-da-imagem-no-olho-humano.html>

Figura 7 - Miopia: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.htm>

Figura 8 - Hipermetropia: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/defeitos-na-visao-humana.htm>

Figura 9 - Astigmatismo: <http://www.lenteseoculos.com.br/como-enxerga-uma-pessoa-com-astigmatismo/> <https://saojoaquimonline.com.br/saude/2019/04/03/muitas-pessoas-so-perceberam-que-tem-astigmatismo-depois-de-ver-essas-imagens/>

Figura 10 - O olho e a máquina fotográfica: <https://fotoseletores.blogspot.com/2012/10/comparacao-da-camera-fotografica-com-o.html>

Figura 12 - Sensores oculares RGB: http://centraldaoptometria.blogspot.com/2015_05_01_archive.html

Figura 13 – Sensibilidade por comprimento de onda: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Curvas-de-sensibilidade-dos-cones-e-bastonetes-do-olho-humano-em-funcao-do_fig6_307677701

Figura 14 - O Triângulo de Maxwell: <https://homepages.abdn.ac.uk/npmuseum/article/Maxwell/Legacy/MaxTri.html>

Figura 15 – Reflexão e absorção da luz:

<https://mateusvitali.wordpress.com/2011/06/16/sensor-de-cor/>

Figura 16 – Absorção e reflexão de luz em objetos pigmentados:

<http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/principios-da-propagacao-da-luz.html>

Figura 17 – Reflexão de luzes monocromáticas: <https://www.slideshare.net/webacesso/professor-dudu-meios-e-cor-2>

Figura 18 – Efeito do Disco de Newton ao ser girado:

<https://professordiminoi.comunidades.net/optica>

Figura 19 - Diagrama de cores aditivas: <http://ncolour.blogspot.com/2010/10/sistemas-de-cor-aditivo-e-subtractivo.html>

Figura 37 - Experimento de Isaac Newton: <https://sobrehistoria.com/biografia-de-isaac-newton/>

Figura 38 - Dispersão da luz branca no prisma: <http://adamsdecio.blogspot.com/2014/12/isaac-newton.html>

Figura 39 - Espectro da Luz: <https://www.explicatorium.com/cfq-8/cor-dos-objetos.html>

Figura 40 - Tabela de Comprimento de onda e Frequência de cores:

<https://mundodatinta.wordpress.com/tag/cores-quentes/>

Figura 45 Resultado da resposta dissertativa da avaliação do trabalho de Juliana Machado:

<http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p533.pdf>

APÊNDICE A – PRODUTO DIDÁTICO

Nesta seção apresentaremos um texto sobre o conjunto óptico didático e a sequenciaria didática voltado ao professor do ensino básico. Nele encontra-se a sequencia didática detalhada, com questões sugestões de atividades, textos e vídeos, bem como instruções para a confecção dos experimentos.

PRODUTO DIDÁTICO:

Conjunto didático de ótica para o ensino de luz e cor

Produto Didático elaborado pelo aluno Cristian Nunes de Moraes para apresentação junto à dissertação “Conjunto didático para o ensino de ótica no Ensino Médio”, apresentados ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 24 - UFJF/IF-Sudeste-MG, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

JUIZ DE FORA

2021

SUMÁRIO

AO PROFESSOR	3
2 - A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	3
2.1 - O CONTEÚDO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	5
2.1.1 - PONDERAÇÕES SOBRE A SEQUÊNCIA DIDÁTICA	12
2.1.2 - RECOMENDAÇÕES E OBSERVAÇÕES.....	17
3 - ROTEIRO PARA PRODUÇÃO DA MALETA DE LUZ.....	18
3.1 - MATERIAIS	20
3.2 - O CIRCUITO	21
3.3 - INSTRUÇÕES PARA MONTAGEM DO CIRCUITO	22
3.4 - INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO CIRCUITO NA MALETA DE LUZ.....	27
3.5 - INSTRUÇÕES DE USO DA MALETA DE LUZ	31
3.6 - A PERCEPÇÃO DAS CORES EM CÂMERAS - MODELO HSB.....	31
4 - MONTAGEM DO ESPECTROSCÓPIO	33
5 - CONSTRUÇÃO DO DISCO DE NEWTON	36
6 - UTILIZAÇÃO DOS CORANTES.....	36
REFERÊNCIAS	37

AO PROFESSOR

Este material apresenta uma alternativa de baixo custo para o ensino de Ótica no Ensino Médio, podendo ser aplicado, introdutoriamente, também no Ensino Fundamental. A abordagem adotada é construtivista; o conhecimento, aqui, vivenciado pelas práticas associadas à teoria, assemelha-se ao ato de enxergar o mundo e suas cores, cabendo ao professor fazer uma ponte entre esse conhecimento e o mundo das cores através do Conjunto óptico desenvolvido neste trabalho. Junto a este material segue uma sequência didática, sugerindo e norteando a aplicação, com questões e atividades estrategicamente elaboradas para solucionar as possíveis concepções alternativas que os alunos demonstram durante as aulas de ótica. No Conjunto temos um espectroscópio para celular, idealizado pelo Professor Ricardo Francisco Pereira (2016), um *fidget spinner* (disco de Newton), pigmentos (Verde, Azul, Vermelho e Laranja) e, de autoria própria, a sequência didática e a Maleta de Luz. A Maleta de Luz permite a realização de experimentos envolvendo a composição de luz no sistema RGB. Um roteiro passo a passo para sua montagem é apresentado na parte final deste manual. O dispositivo pode ser alimentado por uma fonte de celular de 5 Volts, mas no cotidiano das salas de aulas se torna muito prático o uso de uma bateria de 9. Recomenda-se aos professores que não tenham muita familiaridade com eletrônica utilizarem a bateria, por ser mais seguro e também porque os fios utilizados como polos positivo e negativo têm cores distintas para não confundir no emaranhado de fios. O professor, que aqui irá atuar como mediador, vai perceber que este material é bastante dinâmico, não sendo necessário utilizar nem mesmo o quadro-negro. A sequência didática oferece uma previsão do que deverá ser feito em cada aula, mas é a turma que dita o ritmo dos trabalhos, possibilitando uma flexibilização do tempo diante dos conteúdos, conforme o andamento das aulas.

2 - A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Apresentaremos aqui uma sugestão de sequência didática para utilizar o Conjunto Didático de Ótica em sala de aula, com indicações de sites para pesquisa dentro de uma estratégia metodológica construtivista e ativa. Esta sequência didática foi pensada para 05 aulas de 50 minutos, que podem ser descontínuas, com duas opções de aula final. Entre cada aula existem tarefas para serem realizadas em casa. Algumas tarefas em sala exigem que os alunos levem determinados materiais, ou que realizem alguma atividade em casa como

preparação para a aula. As atividades foram elaboradas tendo como base os estudos de Bravo e Pesa (2005), Melchior e Pacca (2005), Machado (2007) e Batista et al. (2017). As atividades de avaliação sugeridas foram retiradas do trabalho de Machado (2007), artigo que inspirou a construção da Maleta de Luz e de um questionário conceitual com questões objetivas de múltipla escolha, que consta no trabalho de Bravo e Pesa (2005). A primeira atividade avaliativa sugerida consiste de um texto traduzido do trabalho de Bravo e Pesa (2005). A segunda atividade avaliativa constitui-se de uma questão aberta retirada do trabalho de Machado (2007) e de um questionário traduzido do trabalho de Bravo e Pesa (2005). O quadro a seguir apresenta um resumo da sequência didática que será detalhada logo em seguida.

Tabela 3: sequência didática

<i>Aula</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Dinâmica da aula</i>	<i>Para casa</i>
Introdução às atividades	- Identificar as concepções de cor - Estimular o trabalho em grupo.	- Debate (10 min) - Questionário escrito (20 min)	1- fazer espectroscópios em casa, 2- experimento do arco-íris, 3- responder o questionário:
O conceito de luz branca	Trabalhar o conceito de luz branca utilizando um espectroscópio caseiro e diversos tipos de fontes de luz.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	1- Responder à pergunta: “Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?” 2- Brincadeiras com o <i>fidgetspinner</i>
O conceito de mistura de cores	Trabalhar experimentalmente o conceito de mistura de cores por pigmentação e por reflexão.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	Pesquisar sobre a formação de cores por reflexão/transmissão.
Aplicações da mistura de cor por reflexão.	Utilizando a maleta de cores, estudar situações desafiadoras que evidenciam o fenômeno de mistura de cor por reflexão.	- trabalho em grupo - discussão - experimentação	-
Avaliação da Aprendizagem	Avaliação através de interpretação de texto ou através de questionário conceitual.	- trabalho individual	-

Fonte: Do autor (2020).

2.1 - O CONTEÚDO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Trabalhar a ótica quanto à percepção de cor, reflexão da luz e dispersão da luz branca, buscando a base metodológica construtivista para aplicação do produto em sala.

Aula nº1 - Introdução às atividades

Objetivo

Identificar as concepções de cor que os alunos possuem e instigar um trabalho de investigação.

Dinâmica da aula: debate com todos os alunos sobre o conceito de cor

Inicialmente é sugerida uma pergunta motivacional - que não será respondida até o final da atividade - “O que é cor?”. Ao longo da aula o próprio aluno vai se questionando e elaborando uma resposta adequada. São apresentados os produtos que serão trabalhados: Maleta de Luz, espectroscópio, disco de Newton. Os alunos serão orientados a registrar todas as tarefas realizadas em um “Diário de Cientista”, a ser entregue para o professor ao final da sequência didática.

Questões para debater - 10 minutos:

- O que é cor?
- Do que depende a cor dos objetos?

Para responder por escrito e entregar durante a aula - 20 minutos:

- Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.
- Você entra em uma sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois? Justifique sua resposta.
- O que é luz branca?

Tarefa em grupo para casa:

1- Fazer espectroscópio;

Seguem na descrição “Material de apoio para a tarefa de casa” os endereços de vídeos ensinando a fazer o espectroscópio.

2- Experimento do arco-íris (dispersão da Luz Branca); 3- Responder o seguinte questionário:

- O que é dispersão da luz branca?
- É possível fazer dispersão com a luz de outra cor? Sim ou não, e por quê?

Material de apoio para a tarefa de casa:

Links que podem ser apresentados aos grupos para auxiliar na realização dos trabalhos de casa:

Experimento da dispersão da luz Branca utilizando CD e vela:

https://www.youtube.com/watch?v=THofsS3su_E

Roteiro de experimento de Física da Dispersão da Luz Branca:

<http://fisicanoja.blogspot.com/2009/10/9-dispersao-da-luz.html> Montando um espectroscópio com cano de PVC: <https://www.youtube.com/watch?v=RNNbrXI5iys>

Montando um espectrômetro: http://fisicanalixa.blogspot.com/2012/10/construcao-de-um-espectrometro- homemade _27.html

Molde do espectroscópio:

<https://cld.pt/dl/download/1aa1ddae-4483-4f9d-8f36-0b34a5bdc3e/espectrometro2fisicanalixa.pdf>

Aula nº 2 - O conceito de luz branca

Objetivo da aula

Trabalhar o conceito de luz branca, utilizando um espectroscópio caseiro e diversos tipos de fontes de luz.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo / discussão / experimentação

Divididos em grupos, os alunos apresentarão o experimento do arco-íris e do espectroscópio realizado em casa. Deverão discutir o experimento, esclarecendo as seguintes questões:

- Qual fenômeno físico envolveu o experimento?
- Explique como a dispersão da luz no céu formando o arco-íris que vemos se faz da mesma maneira nos experimentos de baixo custo (espectroscópio).

Observação: Os alunos poderão utilizar os próprios celulares para pesquisar na Internet.

- Podemos obter o espectro do arco-íris com fontes de luz vermelha?

Os alunos poderão utilizar a Maleta de Luz junto com o espectroscópio para tentar responder a esta pergunta.

- Por que as cores do arco-íris sempre ficam na mesma ordem?
- Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?

Tarefa em grupo para casa:

- 1- Responder à pergunta: “Se a luz branca se abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?”
- 2- Brincadeiras com o *fidget spinner*

Material de apoio para a tarefa de casa:

Texto e vídeo acerca de RGB e CMKY para discutir em sala. Seguem os links:

Diferença entre RGB e CMKY:

Texto: <http://redacao.mackenzie.br/qual-diferenca-entre-cores-rgb-e-cmyk/> Diferença entre RGB e CMKY

Vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=xViHBPb3ukU> Vídeo com disco de Newton: <https://www.youtube.com/watch?v=LIKeTEzYrjo>

Aula nº 3 - O conceito de mistura de cores

Objetivo da aula

Trabalhar experimentalmente o conceito de mistura de cores por pigmentação e por reflexão.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo, discussão, experimentação.

Utilizando a Maleta de Luz (com fundo branco) e o conjunto de tintas, estudar a formação de cores secundárias, preenchendo uma tabela de formação de cores.

Questionário para discussão em sala:

Questões- problema:

1) um confeitiro precisa simular a grama de um campo de futebol (verde) na cobertura de um bolo. Como ele pode obter a cor verde, contando apenas com corantes vermelho, azul e amarelo?

2) Uma peça de teatro possui um único cenário para três cenas distintas. A troca de cena é determinada pela iluminação do palco. O cenário possui uma área central com um tapete sem estampa, com árvores de tronco marrom, folhas verdes e flores de coloração rosa, vermelha e laranja ao redor. A primeira cena ocorre em um gramado verde. A segunda cena, ocorre em uma plantação de flores laranja. A terceira cena ocorre em um lago azul. O técnico de iluminação possui apenas fontes de luz nas cores vermelho, azul e amarela.

a) Em cada uma das cenas, qual deverá ser a cor do tapete (que é o mesmo para todas as cenas) e a cor da iluminação do palco? Por quê?

b) Em cada uma das cenas, como ficará a cor das árvores, tronco e flores? Por quê?

3) Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

4) Você entra numa sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois?

5) O que acontece quando misturamos todas as cores de corantes? E na Maleta de Luz? Explique as diferentes.

Tarefa de casa: Pesquisar sobre a formação de cores por reflexão/transmissão.

Aula nº 4 - Aplicações da mistura de cor por reflexão.

Objetivo da aula

Utilizando a Maleta de Luz, estudar situações desafiadoras que evidenciam o fenômeno de mistura de cor por reflexão.

Dinâmica da aula: trabalho em grupo, discussão, experimentação.

1- Com a Maleta de Luz. Para cada desafio abaixo, descrever como você fez para resolver o problema e por que isso foi necessário.

- Encontre a cor das figuras dentro da caixa: descubra a mensagem secreta (veja o link: <https://www.indigoimage.com/secretmsg/cosmic.html>)

2- figuras para detecção de daltonismo: faça o número desaparecer.

Para realizar o desafio, assista ao vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=cOyYkCCUDNw>

Aula nº 5 – Avaliação da Aprendizagem (sugestão 1)

Objetivo

Avaliação através de interpretação de texto, extraído do trabalho de Bravo e Pesa (2005)

Dinâmica da aula: os alunos deverão ler o texto abaixo, e depois responder às questões propostas:

Três alunos, depois de uma aula de artes, começaram a discutir o que é a cor.

Para o primeiro deles, a cor depende da tinta que usamos para pintar os objetos e a luz com a qual os iluminamos. Porque, embora durante o dia e com a luz do sol, vejamos brancas as paredes da escola, se à noite chegarmos e as iluminarmos com luz vermelha, não as veremos brancas, mas vermelhas.

O segundo não concorda com seu parceiro. Para ele, a cor é luz refletida pelo objeto. Vemos a parede branca porque, quando a iluminamos com luz branca (composta de todas as cores), a parede absorve parte dessa luz e reflete uma mistura de luzes, que nosso sistema

visual percebe como branco. Se mudarmos a luz e a iluminarmos com luz vermelha, a parede refletirá essa cor, então a veremos em vermelho.

Já o terceiro é da opinião de que as respostas de seus pares são igualmente válidas, mas que, enquanto a resposta do primeiro se baseia no que ele percebe diariamente, ele faz uso de modelos contribuídos pela ciência para explicar o que é cor. De certa forma, a ciência foi construída ao longo do tempo precisamente para interpretar os fenômenos que observamos diariamente. Ele nos dá ferramentas para explicar a ‘natureza’, mas não é a verdade absoluta nem é parte da natureza em si, mas que são ideias propostas por um grupo de pessoas que estudam os fenômenos naturais.

Responda às perguntas:

- De cada um dos alunos que participaram da discussão, com quais declarações você concorda?
- Você acha que um desses alunos está errado sobre o que diz? Por quê?
- Você acha que todas as respostas são igualmente válidas? Por quê? Fonte: Bravo e Pesa (2005)

Aula nº 5 - Avaliação da Aprendizagem (sugestão 2)

Objetivo

Avaliação do aprendizado dos alunos através de um questionário.

Dinâmica da aula: os alunos deverão responder às questões apresentadas:

A. Dissertativa: Iluminamos um buquê de rosas vermelhas apenas com luz verde. De qual cor veríamos: (a) as pétalas; (b) o caule e as folhas.

Fonte: Machado (2007).

B. Múltipla escolha:

Fonte: Bravo e Pesa (2005)

Observação: Para a análise das respostas, deve-se levar em consideração que as alternativas das perguntas foram elaboradas de forma a conter, pelo menos: uma alternativa coerente com a explicação dos fenômenos das ciências escolares, uma coerente com

explicação dos fenômenos das ciências escolares, mas incompleta, uma incoerente com explicação dos fenômenos das ciências escolares e uma alternativa com uma resposta possível utilizando-se o senso comum.

1. Por que você vê as letras que aparecem nesta folha?
 - a) Porque tenho olhos e há luz.
 - b) Porque a luz que não foi absorvida pelas letras, é refletida e atinge meus olhos.
 - c) Porque a luz ilumina as letras e eu olho para elas.
 - d) Porque as letras absorvem e refletem a luz que as atinge.
 - e) Porque as letras refletem a luz que as ilumina.
 - f) Porque as letras absorvem a luz que as atinge.

2. Se você colocar esta folha em um saquinho plástico, poderá continuar a ver o texto porque:
 - a) Porque o plástico é um corpo transparente e eu posso ver através dele.
 - b) Porque o plástico absorve, reflete e transmite a parte transparente do corpo da luzrefletida pela folha. A luz transmitida atinge meus olhos, permitindo que eu veja.
 - c) Porque a luz pode passar pelo plástico e iluminar a folha, para que você possa ver
 - d) Porque o plástico absorve parte da luz que reflete a folha.

3. Por que você vê uma maçã vermelha quando a ilumina com luz branca?
 - a) Por causa de todas as cores que a luz branca possui, a maçã é iluminada principalmente pela luz vermelha.
 - b) Porque a maçã absorve parte da luz que a ilumina e reflete o vermelho.
 - c) Porque a maçã é naturalmente vermelha.
 - d) Porque a maçã absorve o vermelho da luz que a ilumina.
 - e) Por causa da luz que ilumina a maçã, ela reflete o vermelho.
 - f) Porque a maçã absorve parte da luz e reflete uma parte da luz que, quando chego aos meus olhos, percebo-a como vermelha.

4. Por que podemos ver esta folha amarela ao usar filtros?
 - a) Porque o filtro é amarelo.
 - b) Porque o filtro adiciona cor à luz.
 - c) Por causa da luz refletida pela folha, o filtro transmite uma parte da luz, que chega aos meus olhos e eu a percebo como amarela.

- d) Porque o filtro transmite o amarelo da luz que reflete a folha.
- e) Por causa de todas as cores refletidas pela folha, o filtro absorve amarelo.
- f) Porque o filtro transmite vermelho e verde e meu olho percebe como amarelo.

5. Neste momento, se você mantiver sua posição, você não pode ver o que acontece atrás de você; por quê?

- a) Porque embora a luz venha para as coisas que estão atrás de mim, eu tenho minhas costas para elas.
- b) Porque a luz refletida ou transmitida por objetos não atinge meus olhos.
- c) Porque apesar de todos os objetos estarem absorvendo e refletindo a luz, eu não estou olhando para eles.

6. Por que podemos ver essa folha vermelha, se a iluminamos com luz "vermelha"?

- a) Porque a luz sendo vermelha muda a cor da folha.
- b) Porque a folha, de acordo com suas propriedades, reflete todas as cores, neste caso, vermelho. A luz refletida atinge meus olhos e percebo essa cor.
- c) Porque a folha neste caso, está sendo iluminada principalmente pela luz vermelha.
- d) Porque a folha absorve a luz vermelha que a atinge.

7. Por que vemos essa folha verde se a pintamos com tinta, da dita "cor"?

- a) Porque a tinta, quando iluminada pela luz branca, reflete o verde.
- b) Porque de acordo com as propriedades da tinta, absorve parte da luz e reflete uma mistura que quando eu alcanço meus olhos eu a percebo como verde.
- c) Porque a tinta é verde e tinge a folha dessa cor.
- d) Por causa de todas as cores da luz branca que ilumina a folha pintada com tinta, a quem chega é verde.

2.1.1 - Ponderações Sobre A Sequência Didática

A seguir, apresentamos uma sugestão para utilizar o conjunto didático em sala de aula, para turmas do ensino médio com indicações de endereços com vídeos da internet e também materiais relacionados ao tema, dentro de uma estratégia didática e pedagógica.

A primeira aula precisa diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos, observar e identificar suas concepções de cores, instigando o trabalho de investigação. Inicia-se o debate

com a pergunta motivadora “O que é cor?”, que não tem uma resposta trivial, mas que, com o andamento dos trabalhos, poderá chegar à melhor resposta. Em seguida, dá-se continuidade aos debates com a segunda pergunta, “Do que depende a cor dos objetos?”. Essa pergunta serve para entender se, na concepção dos alunos, a percepção de cor está vinculada unicamente ao pigmento. Depois do debate é entregue um questionário com três perguntas simples:

1. Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

A intenção dessa questão é compreender qual o entendimento dos alunos acerca da luz branca e ao mesmo tempo reforçar a ideia que a luz pode alterar a percepção das cores nos objetos.

2. Você entra numa sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca. No outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois? Justifique sua resposta.

Essa pergunta procura incitar a discussão sobre a percepção das cores por reflexão. Ressalta-se que é possível fazer essa prática com a Maleta de luz.

3. O que é luz branca?

As questões 1, 2 e 3 estão interligadas. Existe a possibilidade de o aluno responder, mesmo não sendo adequado, às questões 1 e 2 sem pensar sobre o que é luz branca e, chegando à terceira, rever suas respostas anteriores para corrigi-las após ter se atentado para isso.

O professor, ao final da aula, deve mostrar para os alunos o espectrômetro do conjunto didático, deixando que o manipulem, e propor uma atividade para casa, como a seguir:

1- Fazer espectrômetros em casa;

2- Experimento do arco-íris;

3- Responder ao questionário:

- “O que é dispersão da luz branca?”
- “É possível fazer dispersão com a luz de outra cor? Sim ou não, e por quê?”

Na atividade para casa, o aluno faz seu próprio espectrômetro, tornando-se íntimo do fenômeno, e precisa responder ao questionário, que reforça o aprendizado ao demandar uma explicação desse fenômeno. Também devem ser oferecidos endereços de sites com vídeos explicativos sobre a montagem de um espectrômetro e leituras acerca da dispersão da luz branca, familiarizando o aluno com a pesquisa.

Na segunda aula, os alunos devem apresentar seus espectrômetros e o questionário respondido. Existe a possibilidade de não o terem respondido em casa, mas na segunda aula motiva-se o debate com assuntos semelhantes aos deixados como atividade para casa.

- Qual fenômeno físico envolveu o experimento?

Os alunos deverão observar os espectrômetros e compreender que o fenômeno é dispersão da luz branca, e assim o debate ampliará o conhecimento.

- Explique como o arco íris que vemos no céu se forma da mesma maneira nos experimentos?

Através dessa pergunta mostra-se uma aplicação do espectrômetro, relacionando o fenômeno da dispersão em outras situações.

- Por que as cores do arco-íris sempre ficam na mesma ordem?

Aproveitando a ideia do arco íris da questão anterior, pode-se introduzir a explicação ondulatória da dispersão da luz.

- Se a luz branca abre-se em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?

Essa é a questão do debate que antecede a apresentação da Maleta de luz, pois através dela podemos mostrar ao aluno que, ao juntar as cores de luzes RGB é possível formar a luz branca.

Ao final da segunda aula ficará uma nova questão para responder:

- Se a luz branca abre em várias cores, é possível juntá-las para formar a luz branca?

Como o tempo previsto de aula pode não ser suficiente para discutir de maneira

adequada a experimentação com a Maleta de luz, faz-se importante repetir a pergunta para responder em casa, que na aula seguinte deverá ser retomada para reforçar e/ou realinhar a compreensão que se pretende atingir dos fenômenos a partir dela.

Os alunos deverão produzir um Disco de Newton em casa para apresentarem posteriormente em sala o que foi compreendido. Para isso, devem ser oferecidas referências de vídeos que ensinem a fabricar um Disco de Newton e sobre a diferença entre os sistemas de cores RGB e CMKY, além de textos explicativos (final da aula 2 da sequência didática).

A terceira aula inicia com os comentários sobre a questão feita em casa, para, em seguida, trabalhar com o Disco de Newton. Logo após, cada grupo deve utilizar a Maleta para encontrar a cor da figura dentro da caixa - que nada mais é do que manipular os botões dos leds até que se forme a luz branca. O desenvolvimento desta aula pretende explicar a combinação de cores, complementando as leituras e os vídeos que foram vistos em casa, sobre os sistemas RGB e CMKY.

Depois que os alunos encontrarem a luz branca dentro da Maleta, deve ser iniciado o trabalho de combinações de cores dentro da Maleta. Cada mesa com seus respectivos grupos devem receber corantes alimentícios, um copo de água limpa e a Maleta de luz. Inicialmente, dentro do copo de água o aluno faz uma combinação com o corante que tentará, em seguida, fazer repetir na Maleta de luz. Após as observações, são apresentadas várias questões-problema com o objetivo de guiar o trabalho dos alunos com o conjunto didático.

- Um confeitiro precisa simular a grama de um campo de futebol (cor verde) na cobertura de um bolo. Como ele pode obter a cor verde, contando apenas com corantes vermelho, azul e amarelo?

O aluno, de posse do conhecimento da distinção entre os sistemas RGB e CMKY, precisa aplicá-lo diante da situação-problema; por já ter trabalhado com as combinações com corantes já pode responder, ou fazer na prática com os corantes entregues na sala de aula.

- Uma peça de teatro possui um único cenário para três cenas distintas. A troca de cena é determinada pela iluminação do palco. O cenário possui uma área central com um tapete sem estampa, com árvores de tronco marrom, folhas verdes e flores de coloração rosa, vermelha e laranja ao redor. A primeira cena ocorre em um gramado verde. A segunda cena, ocorre em uma plantação de flores laranja. A terceira cena ocorre em um lago azul. O técnico de iluminação possui apenas fontes de luz nas cores vermelho, azul e amarela.

1- Em cada uma das cenas, qual deverá ser a cor do tapete (o mesmo para todas as cenas) e a cor da iluminação do palco? Por quê?

2- Em cada uma das cenas, como ficará a cor das árvores, tronco e flores? Por quê? Esse problema não é simples, sendo importante o professor atentar-se ao tempo de aula, pois a discussão pode tomar todo o tempo de aula. Vale lembrar que o aluno vai trabalhando os conceitos de percepção de cor por reflexão com essa atividade, restando ao professor a tarefa de conduzir esse entendimento.

- Ao ser iluminado com luz branca, certo pedaço de papel parece azul. De que cor parecerá se o iluminarmos com luz vermelha? Justifique sua resposta.

Com essa questão trabalha-se a percepção de cor por fontes de iluminação com luz branca e depois com luz vermelha. Rompendo as concepções alternativas recorrentes, por meio das quais os alunos acreditam ser a cor verdadeira do objeto apenas aquela iluminada pela luz branca.

- Você entra numa sala escura. Em um canto, há um cenário verde iluminado com luz branca, no outro, um cenário branco iluminado com luz verde. Você pode notar a diferença entre os dois?

Essa questão pode levar os alunos diretamente à resposta esperada, que é “não muda”. É importante perceber que o cenário branco reflete todas as cores, logo, sendo iluminado por luz verde, será percebido como verde. O cenário verde com a luz branca vai refletir da luz branca apenas o verde.

- O que acontece quando misturamos todas as cores com os corantes? E na Maleta de Luz? Explique as diferenças.

Durante o processo de pesquisa das concepções alternativas recorrentes, verificou-se que muitos alunos não sabiam diferenciar o sistema de pigmentação (CMKY), que é por subtração de cores, do sistema (RGB) de luz. Apresentando uma soma de cores de pigmento (verde, azul e vermelho) será formado o branco. Essa pergunta pode ser feita manipulando-se o próprio conjunto didático. O professor, mediador, pode proferir essa pergunta utilizando a Maleta de luz, pedindo aos alunos que formem a luz branca dentro da Maleta e, logo após, que façam com as mesmas cores utilizando os corantes, e explicando porque a mistura com os corantes tornou-se preta.

A quarta e a quinta aulas são aproveitadas para a reflexão sobre questões-desafio, podendo o professor escolher a melhor opção dentro da sua realidade em sala. A opção elaborada para a quarta aula apresenta um questionário de múltipla escolha, que pode ser desenvolvido através de gincana, jogo de perguntas e respostas ou outra dinâmica que interesse aos alunos. Já a quinta aula inicialmente apresenta um texto com um diálogo entre três alunos sobre a definição de cor. O texto insere o leitor no problema da percepção da cor, estendendo-se às questões de múltipla escolha.

2.1.2 - Recomendações e observações

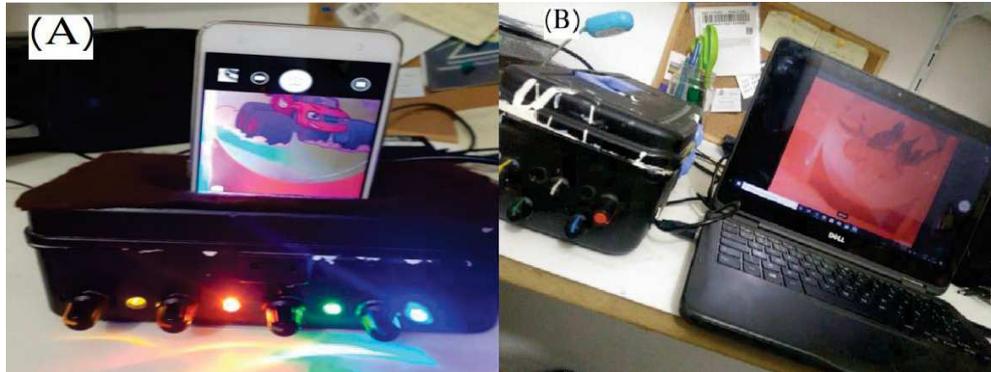
Esse material foi elaborado com inspiração na abordagem construtivista de Vygotsky, mas nada impede sua utilização a partir de outras abordagens, sendo possível adaptá-lo facilmente.

As atividades para realização em casa servem para anteceder algum assunto que será debatido na aula seguinte ou práticas que tornam o conhecimento real, vislumbrando otimizar o tempo, orientado por abordagens pedagógicas mais modernas e ativas. Caso, por algum motivo, algum aluno não realize as atividades em casa, não haverá perda do conteúdo abordado, que será debatido e trabalhado durante a aula. Se, porventura, todos fizerem todas as atividades em casa, o professor ganhará mais tempo para reforçar alguma lacuna.

O trabalho em sala, em grupos, é essencial pela troca de experiências e busca de soluções em conjunto, com estímulo às discussões, mas recomenda-se um número máximo de seis alunos por grupo. As atividades para casa devem ser entregues em folhas individuais, que contenham os endereços para pesquisa descritos na sequência didática para cada aula.

3 - ROTEIRO PARA PRODUÇÃO DA MALETA DE LUZ

Figura 46 - modelos da Maleta de Luz: (A) modelo para acoplar o celular; Figura(B) modelocom webcam, para conexão com um laptop.

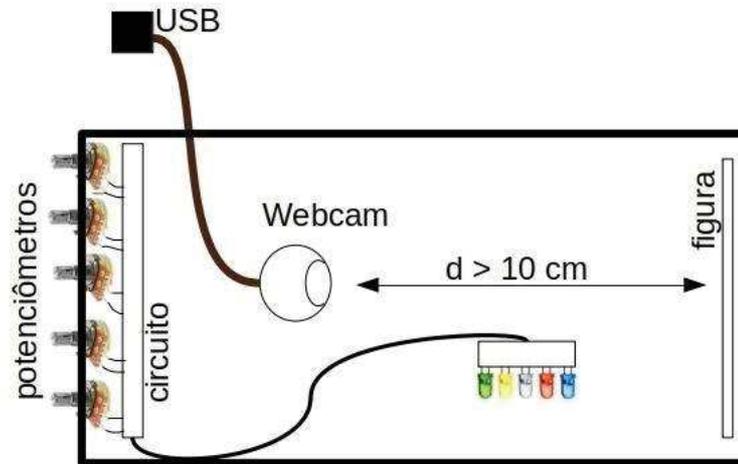


Fonte: Do autor (2020).

A montagem básica, descrita a seguir, para os dois modelos, é a mesma, sendo necessário apenas trocar/adaptar a *webcam* ou colocar uma abertura na maleta para acoplar o celular. A figura 28 mostra a vista superior interna da Maleta de Luz. A montagem da maleta é bastante simples: a parede à direita da maleta é deixada livre, para ser colocadas figuras de diversos tipos, a depender da aula. Dentro da caixa são colocados LEDs de diversas cores (obrigatoriamente LEDs azul, vermelho e verde; opcionalmente, LEDs amarelo e/ou laranja e/ou violeta).

Os LEDs não podem ser direcionados diretamente para a figura, uma vez que a luz fica muito concentrada em uma região e pode saturar a câmera do celular ou a *webcam*. Assim como mostra a Figura 28, os LEDs devem estar voltados para as paredes laterais. A figura será iluminada indiretamente pela luz espalhada pelas paredes, de modo semelhante ao que ocorre em refletores de estúdios fotográficos. Para melhorar a iluminação, a caixa deve ser pintada de branco internamente.

Figura 28 - vista superior interna da Maleta de Luz

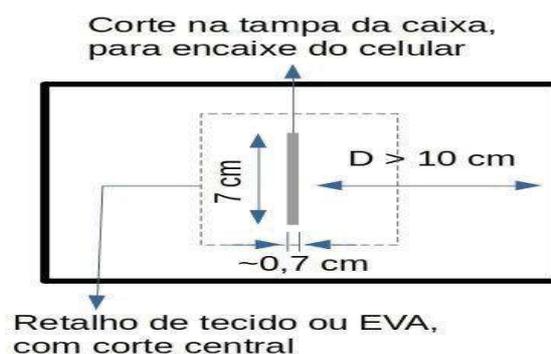


Fonte: Do autor (2020)

Na parede oposta à figura são colocados potenciômetros (e um circuito controlador), responsáveis pelo controle da corrente que passa por cada um dos LEDs. Eles permitem o controle individual da intensidade da luz emitida em cada cor. No modelo com a *webcam*, ela deve ser instalada no centro da caixa, a uma distância da figura que permita o foco e um bom enquadramento da figura (pelo menos 10 cm de distância, dependendo do modelo).

No modelo para acoplamento de celular, deve-se fazer uma abertura na tampa da caixa, com as dimensões aproximadas do celular (figura 47). Sobre a tampa, pode-se colocar um retalho de tecido ou EVA, com um corte com o comprimento do celular, para impedir a entrada de luz externas por frestas entre o celular e a abertura na tampa. Os detalhes da montagem se-rão apresentados a seguir.

Figura 47 - Vista superior da tampa da Maleta de Luz, mostrando o corte para acoplamento de celular.



Fonte: Do autor (2020)

3.1 - MATERIAIS

- Fios para circuitos (aproximadamente 2 metros, espessura 22 AWG ou maior)
- 1- *Push botton* (botão liga/desliga)
- 6- resistores de $1K\Omega$
- 2- LEDs de alto brilho - azul
- 2- LEDs de alto brilho - vermelho
- 2- LEDs de alto brilho – verde
- 2- LEDs de alto brilho – amarelo (opcional)
- 2- LEDs de alto brilho – laranja (opcional)
- 2- LEDs de alto brilho – violeta (opcional)
- 3- potenciômetros de 100Ω
- 1- caixa de plástico ou papelão de pelo menos 15 cm de comprimento (pode ser, por exemplo, uma caixa de sapato, uma caixa de ferramentas plástica pequena ou pote plástico de cozinha)
- Fita isolante

Figura 48 – Material básico para a montagem da Maleta de Luz



Fonte: Do autor (2020)

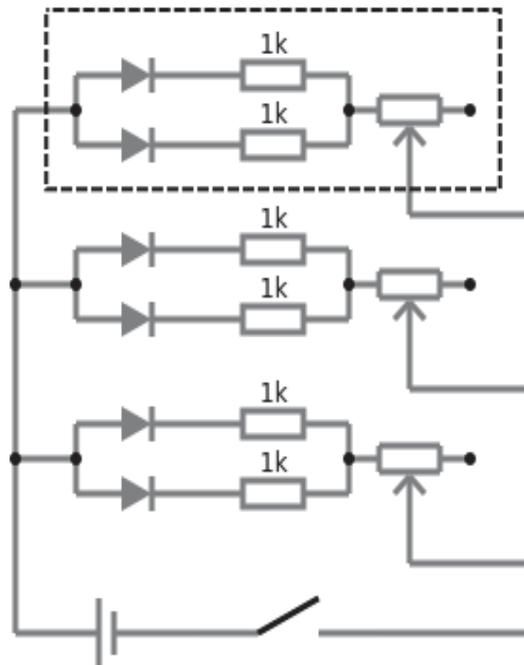
A figura 48 mostra o material básico para a montagem da maleta de luz. Esse material pode ser encontrado em lojas de materiais de eletrônica ou na internet, somando um total de R\$6,00 (cotação feita no ano de 2020). O tamanho da caixa de plástico/papelão não é rigoroso. Precisa do tamanho mínimo 15 cm de profundidade para que a distância entre a lente da câmera do celular/*webcam* seja de 10 cm. Sugerimos uma caixa com altura de pelo

menos 10 cm e largura de pelo menos 10 cm, para que o painel com os potenciômetros.

3.2 - O CIRCUITO

A figura 49 mostra o circuito controlador dos LEDs, para o caso de uma Maleta de Luz com três cores de LED. Dentro do retângulo tracejado, temos a ligação para uma cor de LED (um LED será instalado no painel e o outro dentro da caixa). Cada LED está em série com um resistor de $1k\Omega$ de proteção. Um potenciômetro está ligado aos dois LEDs de forma a alterar a corrente do LED do painel simultaneamente ao LED de iluminação de dentro da caixa. Para cada cor adicional que se deseje adicionar à Maleta de Luz, deve-se adicionar ao circuito maior o trecho dentro do retângulo tracejado, como mostra a figura 54.

Figura 49 - Esquema do circuito elétrico da Maleta de Luz com três cores de LEDs.



Fonte: Do autor (2020)

3.3 - INSTRUÇÕES PARA MONTAGEM DO CIRCUITO

Inicialmente, ligamos um resistor no polo negativo do LED (perna menor) e depois ao fio preto (aproximadamente trinta centímetros), conforme mostra a figura 50. No polo positivo ligamos o fio vermelho (aproximadamente trinta centímetros). Para cada cor de LED, faça duas montagens desta.

Figura 50 – Ligação de um LED ao resistor



Fonte: Do autor (2020)

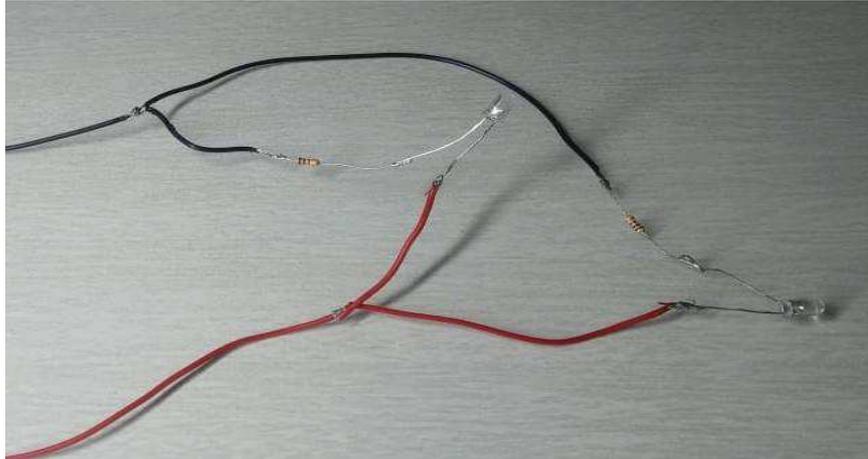
Ligue, agora, em paralelo, dois conjuntos mostrados na figura 50 com LEDs da mesma cor. Ligue os fios pretos de cada conjunto entre si. Ligue também um fio preto maior, conforme mostra a figura 51. Faça o mesmo com os fios vermelhos, conforme a figura 52.

Figura 51 - Ligação do polo negativo de dois conjuntos LED/resistor



Fonte: Do autor (2020)

Figura 52 - Ligação do polo positivo de dois conjuntos LED/resistor



Fonte: Do autor (2020)

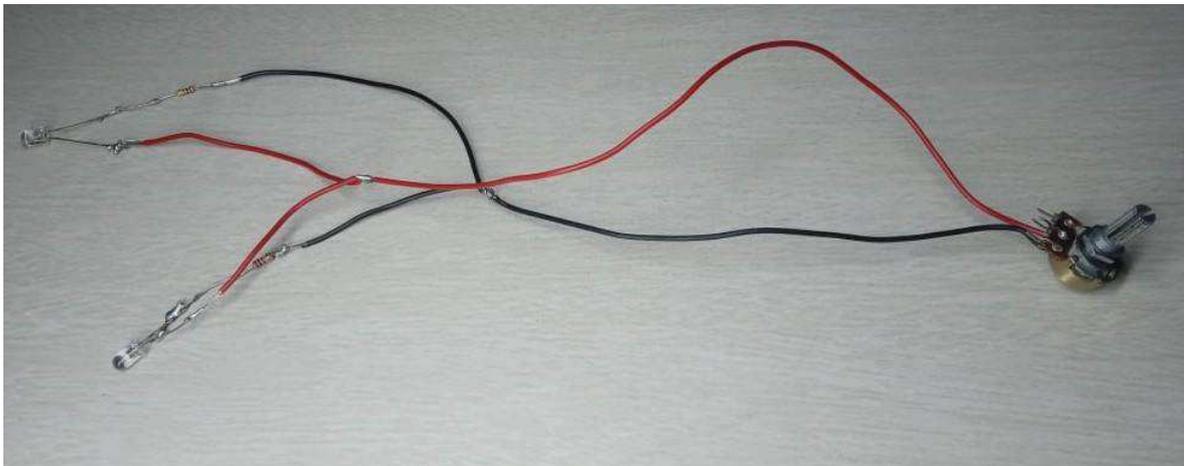
Figura 53 - Ligação do polo positivo de dois conjuntos LED/resistor



Fonte: Do autor (2020)

A primeira parte do circuito, correspondente à da parte destacada com o retângulo tracejado do circuito mostrado na figura 49, ficará conforme a figura 54.

Figura 54 - montagem final da parte destacada com retângulo tracejada do circuito mostrado na figura 49



Fonte: Do autor (2020)

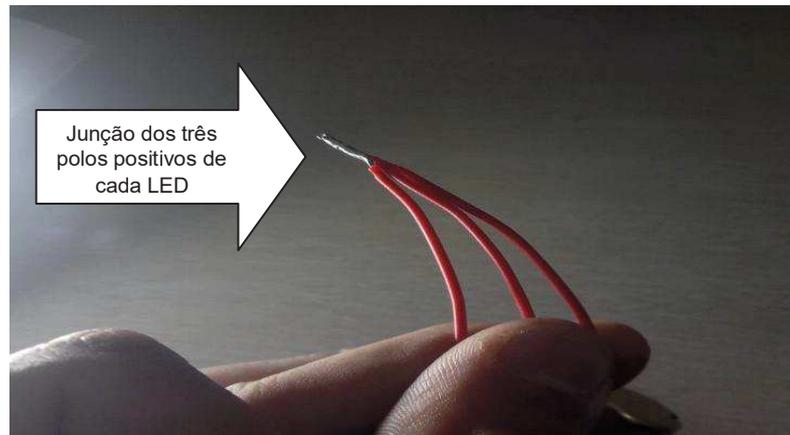
Será necessário produzir um circuito deste para cada cor desejada circuitos como esse (no mínimo três, correspondendo às cores vermelho, verde e azul). Estes conjuntos deverão ser ligados em paralelo. Para isso, devem-se unir os fios pretos e de cada conjunto entre si, conforme mostra a figura 55. O mesmo deve ser feito com os fios vermelhos, conforme mostra a figura 56.

Figura 55 - junção dos pólos negativos de três circuitos da figura 49



Fonte: Do autor (2020)

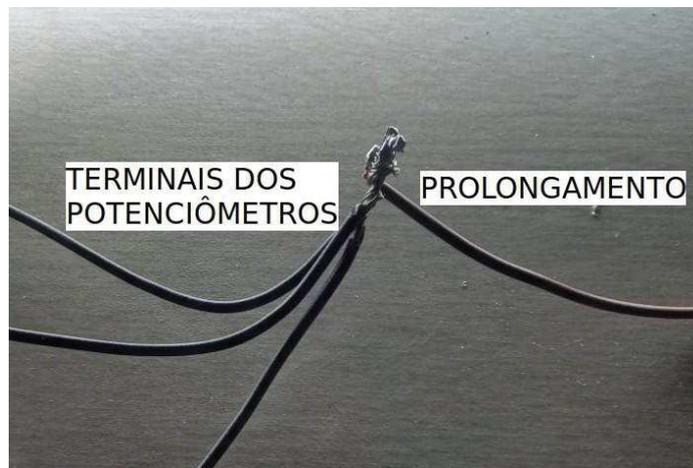
Figura 56 - junção dos polos positivos de três circuitos da figura 49



Fonte: Do autor (2020)

Com os três polos negativos e os três positivos ligados, deve-se fazer o prolongamento de cada junção, para facilitar a montagem (figuras 57e 58).

Figura 57 - prolongamento junção do polo negativo



Fonte: Do autor (2020)

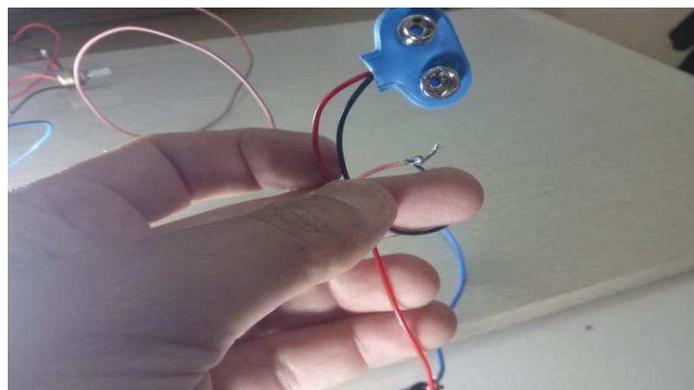
Figura 58 – prolongamento da junção do polo positivo



Fonte: Do autor (2020)

A montagem resultante deve agora ser ligada a uma fonte de tensão, que pode ser uma bateria de 9V ou até mesmo uma fonte de celular de 5V. Sugerimos o uso da bateria de 9V uma vez que a dependência do acesso a tomadas pode ser uma dificuldade em algumas escolas. Além disso, os LEDs consomem pouca energia, sendo o custo-benefício bem maior.

Figura 59 - terminais da bateria

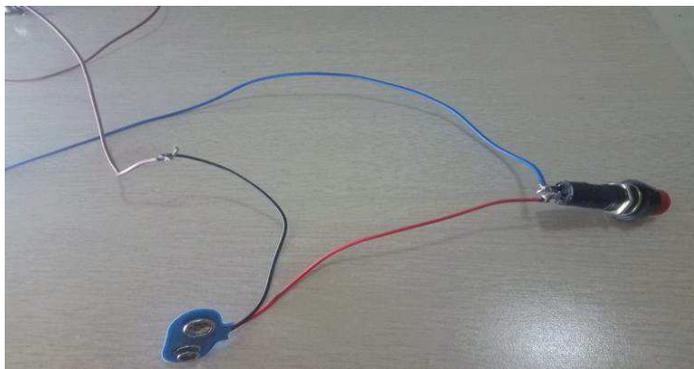


Fonte: Do autor (2020)

Para a ligação do circuito à fonte de tensão, utilizaremos um adaptador de bateria. Deve-se ligar o pólo positivo (fio vermelho) do adaptador de bateria em um dos lados do terminal de um *push botton* (que funciona como a chave do circuito da figura 49) e o polo negativo do adaptador ao prolongamento do negativo do circuito (mostrado na figura 57). E, por fim, o prolongamento do positivo do circuito (figura 58) no outro terminal do *push botton*. Esta

montagem ficará como mostrada na figura 60. Com o circuito pronto devem-se isolar os pontos de ligação com fita isolante (figura 61).

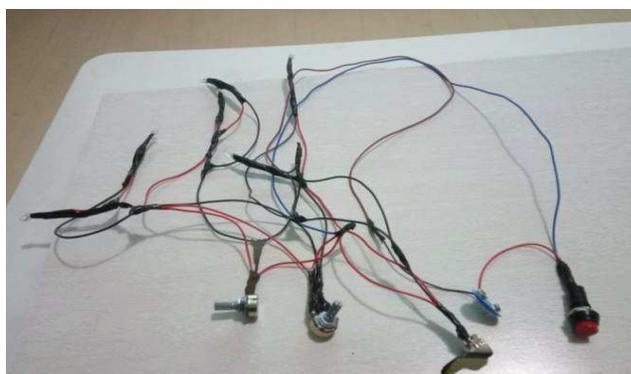
Figura 60- os polos da ligação do *push botton* com os terminais da bateria



Fonte: Do autor (2020)

Com o circuito pronto para montagem devem-se isolar os pontos de ligação com fita isolante.

Figura 61 - fios devidamente encapados



Fonte: Do autor (2020)

3.4 - INSTRUÇÕES PARA INSTALAÇÃO DO CIRCUITO NA MALETADE LUZ

Apresentaremos nesta sessão como finalizar a Maleta, com a instalação do circuito. Mostraremos aqui como montar a versão para uso com o celular (Figura 46 (A)). A montagem da versão para webcam é similar.

Primeiramente, iremos preparar a Maleta para o encaixe do celular, dos potenciômetros, do botão liga/desliga (*push botton*) e dos LEDs do painel (um de cada cor). Para isso, marca-se o local onde ficará a entrada do celular na tampa da caixa (Figura 47). É importante

lembrar que a distância adequada da lente da câmera do celular até o fundo da maleta, onde serão inseridas as figuras, não pode ser menor que 10 cm, pois a câmera não consegue focalizar as distâncias menores do que essa.

Figura 62 - marcação da caixa



Fonte: Do autor (2020)

Marca-se os locais para os potenciômetros em uma das laterais (Figura 63), com no mínimo 2,5 cm entre eles. Marque a posição dos LEDs logo acima da localização dos potenciômetros. Marque a posição do botão liga/desliga. Este botão pode ficar junto aos potenciômetros, se houver espaço, ou em uma lateral próxima.

Figura 63 - Marcações



Fonte: Do autor (2020)

Com um estilete, corta-se a caixa no lugar onde o celular será encaixado. Em caixas de papelão, os furos para a instalação dos potenciômetros, LEDs e o botão liga/desliga podem ser feitos com uma chave de fenda. Em caixas de plástico, podem ser feitos com uma chave (“de fenda”), tipo Philips (chave em cruz), pequena aquecida no fogão ou com um ferro de solda. A

figura 64 mostra a caixa preparada para a montagem do circuito. Na sequência faremos a montagem do circuito dentro da Maleta. A parte externa deverá ficar como mostrada na figura 65.

Figura 64 – caixa pronta para colocar o circuito



Fonte: Do autor (2020)

Figura 65 - maleta pronta



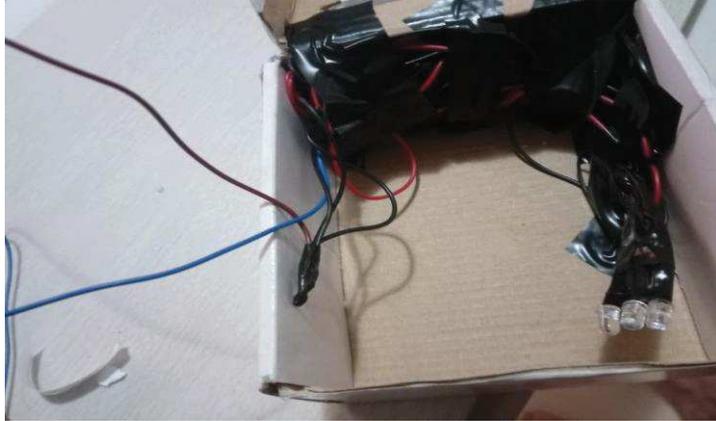
Fonte: Do autor (2020)

O circuito não deve ter excesso de fios, porém deve ser deixada alguma reserva, para o caso de ser necessário realizar manutenção, como uma troca de LEDs, em que pode ser preciso cortar um pedaço do fio. Internamente é importante fazer um bom isolamento dos condutores com a fita isolante. Fique atento para que não haja obstáculos no espaço onde o celular irá encaixar.

Os LEDs da parte interna precisam ficar um do lado do outro, presos com fita isolante, conforme mostrado na figura 66. O próximo passo é encapar toda a parte interna da Maleta

(Figura 67) com papel adesivo branco para que a câmera do celular não sature e a imagem da figura na tela do celular não apareça com manchas brancas.

Figura 66 - circuito preso pronto para encapar



Fonte: Do autor (2020)

Figura 67 - parte interna toda encapada



Fonte: Do autor (2020)

Figura 68 - maleta de luz em funcionamento.



Fonte: Do autor (2020)

3.5 - INSTRUÇÕES DE USO DA MALETA DE LUZ

A maleta de luz permite trabalhar a percepção de cor de uma figura de acordo com as luzes e suas intensidades, mostradas nos LEDs dispostos acima dos potenciômetros para trabalhar as variadas combinações de luzes e observar o fenômeno. Para a sua melhor utilização, sugerimos acatar os seguintes passos:

- Encaixar a bateria e observar se os LEDs estão todos funcionando;
- Testar a posição da figura, seu enquadramento diante da lente do celular;
- Colocar as primeiras figuras com cores primárias e somente depois utilizar figuras com cores secundárias, pois a abordagem para cada uma dessas situações é diferente, visto que com as cores secundárias ocorre subtração de cores, fenômeno aludido apenas num segundo momento, quando o aluno já consegue diferenciar as interações da luz em cores primárias e secundárias. Como desafio pode-se colocar uma figura com cores primárias e secundárias;
- Acompanhar a sequência didática sugerida para aplicar o conjunto óptico de maneira integral.

3.6 - A PERCEPÇÃO DAS CORES EM CÂMERAS - MODELO HSB

Sem luz os objetos ficam desprovidos de cor. Temos características muito importantes na percepção das cores através de câmeras, definido no modelo HSB (matiz, saturação e brilho), temos três parâmetros importantes que definem a qualidade da imagem obtida: matiz, saturação e brilho. Matiz é o nome com que referenciamos cada cor; saturação, ou croma, é a vivacidade da cor, ou concentração - quanto maior a saturação mais intensa é a cor. A saturação é a quantidade de cinza existente em relação a matiz, variando percentualmente de 0% de cinza a 100% (totalmente saturado). O disco de cores apresentado na figura 69 é uma boa demonstração de como a saturação aumenta do centro para as extremidades.

Figura 69 - disco de cores para demonstração de como a saturação aumenta do centro para as extremidades



Fonte: 2bp.blogspot.com (2012)

O brilho relaciona-se ao acréscimo de branco à cor, ou seja, é a luminosidade ou a falta dela, relativamente à cor, e variando de 0% (preto) a 100% (branco).

Figura 70 - Exemplificação dos conceitos de matiz, saturação e brilho



Fonte: materialpublic (2018)

Na construção da Maleta de Luz é fundamental revestir a parte interna da caixa de branco e colocar os LEDs virados para uma das paredes laterais da caixa (jamais para a figura). As figuras são iluminadas de maneira indireta, pela luz refletida e espalhada pelas paredes da caixa.

Numa câmara, a ISO (*International Standards Organization*) é a medida que indica a sensibilidade do sensor da câmara à luz do ambiente, e relaciona-se à entrada de luz pelas

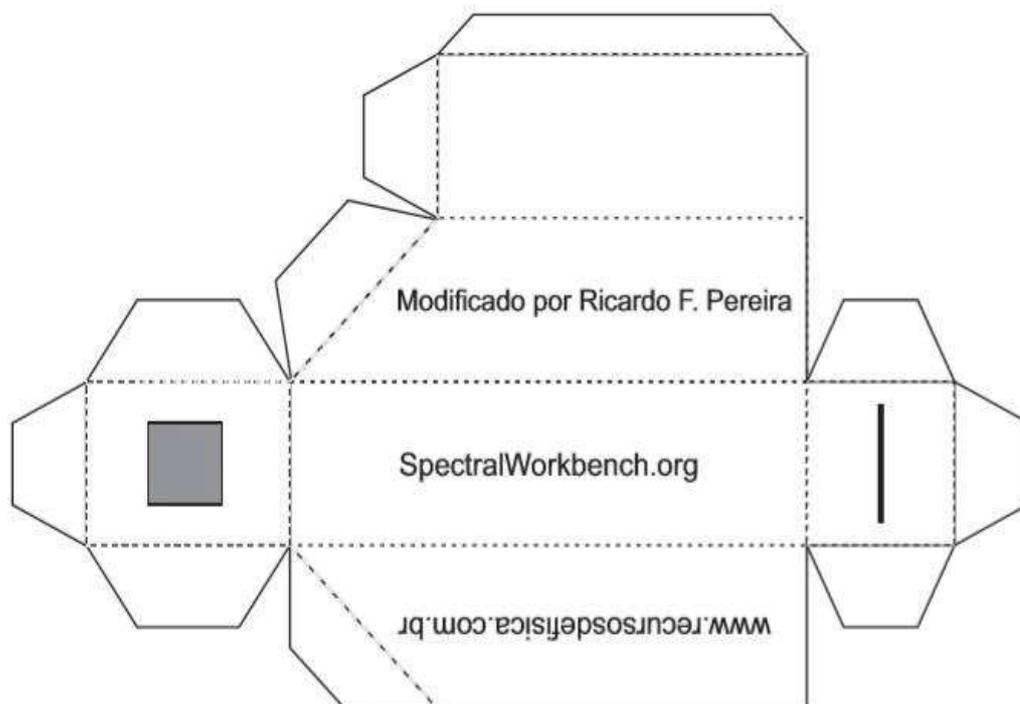
lentes: quanto maior esse valor mais sensível para captar a luz é o aparelho, possuindo uma variação mais comum de 100 a 3.200, com algumas câmeras chegando a 102.400.

Numa primeira montagem da Maleta de Luz utilizamos o fundo preto com os LEDs voltados diretamente para a figura a ser estudada. Diferentemente de uma lâmpada incandescente, cuja luz emitida espalha-se uniformemente em todas as direções, a luz dos LEDs fica concentrada em uma região cônica estreita. É fácil perceber a diferença quando usamos uma lanterna com lâmpada incandescente e com lâmpada LED. Percebemos que isso interferia na qualidade da imagem no celular/*webcam*, pois parte da imagem ficava muito escura e um pouco borrada e a outra parte com uma iluminação muito forte, saturando a câmera do celular e da *webcam*. Isso impossibilitava acertar o ISO da câmera. A iluminação indireta, assim como feita em estúdios fotográficos, resolveu este problema pois proporcionou uma iluminação uniforme sobre a figura estudada.

4 - MONTAGEM DO ESPECTROSCÓPIO

A figura 71, a seguir, apresenta o esquema para montagem do espectroscópio.

Figura 71 Molde para a confecção do espectroscópio

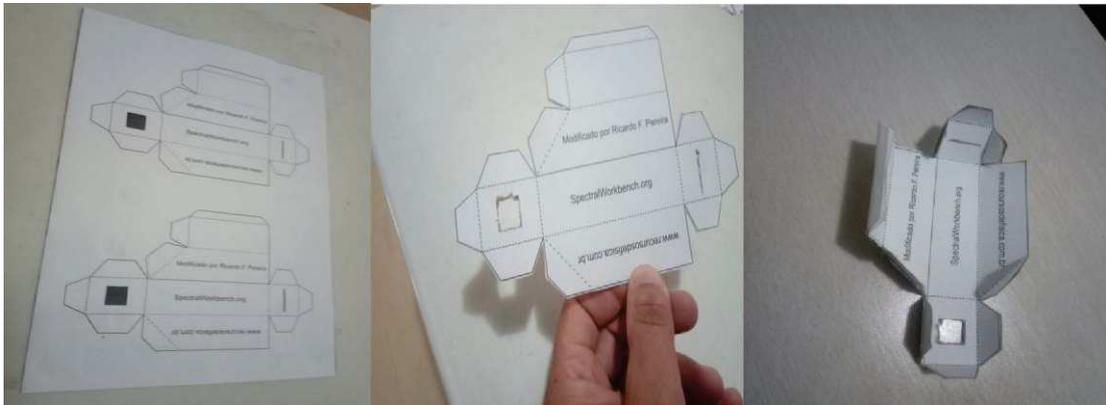


Fonte: Professor Ricardo Francisco Pereira, YouTube(2016)

O modelo utilizado aqui foi retirado do canal do YouTube do Professor Ricardo Francisco Pereira. O link abaixo remete ao vídeo com as instruções para confecção do espectroscópio e o molde é disponibilizado na descrição do vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s>

Com o molde impresso, podemos colar em um papelão ou um papel mais resistente, como o Paraná. Depois de cortar conforme as instruções, dobre nos locais pontilhados fazendo uma caixinha.

Figura 72 - Montagem do corpo do espectroscópio a partir do molde (Figura 71).



Fonte: Do autor (2020)

Para fazer a rede de difração, pode ser utilizado um CD, dividido em quatro partes iguais, com um quarto recortado para fazer a rede de difração. Depois, com um estilete, descole os lados do CD para retirar a pintura - uma fita adesiva (tipo Durex) pode ser utilizada para retirar todos os resquícios da parte prateada (Figura 73).

Figura 73 - cortar o DVD descascar



Fonte: Do autor (2020)

Deve-se recortar em um quadrado um pouco maior que o do molde e colar a rede de difração nele (figura 74). Depois, fechar a caixa seguindo as marcações para dobras; para isso, pode-se usar cola ou fita adesiva.

Figura 74 - construção do espectroscópio



Fonte: Do autor (2020)

Já podemos usar o espectroscópio. Para isso, basta posicionar a câmera do celular na abertura da rede de difração, e apontando o espectroscópio para uma fonte de luz, observamos o efeito da dispersão na tela do celular.

Figura 75 - Registro do espectro de uma lâmpada fluorescente utilizando o espectroscópio caseiro.



Fonte: Do autor (2020)

5 - CONSTRUÇÃO DO DISCO DE NEWTON

Produzir um disco de papel colorido (com lápis coloridos, caneta hidrográfica ou tintas), numa sequência de cores conforme mostrado na Figura 76, e prender seu verso com fita adesiva no fidget spinner.

Figura 76 - Montagem de um disco de Newton a partir de um fidget spinner.



Fonte: Do autor (2020)

6 - UTILIZAÇÃO DOS CORANTES

Os corantes que fazem parte deste conjunto óptico são corantes alimentícios líquidos, encontrados em qualquer loja de artefatos para festas. Para usar, devem-se diluir algumas gotas da cor desejada em um copo de água (Figura 77). Para trabalhar as questões de mistura de cores, é só pingar cores diferentes dentro do mesmo copo de água.

Figura 77 - corantes alimentares



Fonte: Do autor (2020)

REFERÊNCIAS

BATISTA, Kennedy Rufino; AZEVEDO, Rosa O. M.; LOPES, Hellen Coelho; GONÇALVES, Karen Magno. Ensino das Propriedades da Luz e sua Natureza no Ensino Fundamental por meio da investigação. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 3 a 6 de julho 2017. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0658-1.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

BRAVO, Bettina M.; PESA, Marta A. Concepciones de alumnos (14 – 15 años) de educación general básica sobre la naturaleza y percepción del color. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 337-362, dez 2005. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/issue/view/42>. Acesso em: 22 fev. 2021.

LA RUE, Eva. Controlando a cor 1: Hue/Saturation. Texto informativo da Focus Escola de Fotografia. s/d. s/l. Disponível em: <https://focusfoto.com.br/controlando-cor-1-huesaturation/>. Acesso em: 12 nov. 2019.

MACHADO, Juliana. Análise de uma seqüência didática proposta a partir das concepções de estudantes do ensino médio sobre luz e cores. **Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], 2007. VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007.

MELCHIOR, Sandra Cristina Licerio; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. Experimentos sobre a cor : conflitos com as concepções alternativas. **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Rio de Janeiro, Janeiro 2005. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0129-1.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2021.

PEREIRA, Ricardo Francisco. Montagem de espectroscópio para câmera de smartphone. 2016. (26m41s). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144shttps://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s>. Acesso em: 18 dez.2018.

FIGURAS

Figura 69 - disco de cores para demonstração de como a saturação aumenta do centro para as extremidades - Círculo cromático oficial. Disponível em: <http://2.bp.blogspot.com/-c113yujOXjo/UP-nHEgXLFWI/AAAAAAAAAEaY/8sBg7rWS6Zg/s640/Circulo+Cromatico+Oficial.jpg>. Acesso em: 12 nov.2019.

Figura 70 - Exemplificação dos conceitos de matiz (*hue*), saturação (*saturation*) e brilho (*value*). Disponível em: materialpublic.imd.urfn.br/curso/disciplina/5/65/2/6. Acesso em: 05 mar 2021.

Figura 71 Molde para a confecção do espectroscópio. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s><https://www.youtube.com/watch?v=Iey6vG27Yqo&t=144s>. Acesso em: 18 dez.2018.