



CONCEITOS DE LUZ E CORES COM UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

Marco Antônio Soares Coelho

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

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto

Rio de Janeiro
Julho de 2019

CONCEITOS DE LUZ E CORES COM UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

Marco Antônio Soares Coelho

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto

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

Aprovada por:

Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto
Orientador
MNPEF UNIRIO / CEFET Petrópolis

Prof. Dr. Fabio Alex Pereira dos Santos
CEFET-RJ Campus Petrópolis

Prof. Dr. Leonardo Mondaini
MNPEF UNIRIO

Rio de Janeiro
Julho de 2019

MODELO de FICHA CATALOGRÁFICA

XXXX Coelho, Marco Antônio Soares
Conceitos de luz e cores com utilização da plataforma Arduino
– Uma proposta para o ensino médio / Marco Antônio Soares Coelho
- Rio de Janeiro: UNIRIO / IBIO, 2017.
XXX, XX f.: il.;30cm.
Orientador: Luiz Paulo Colatto
Dissertação (mestrado) – UNIRIO / Instituto de Biociências /
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2017.
Referências Bibliográficas: f. XX-XX.
1. Ensino de Física. 2. Arduino. 3. Experimento de baixo
custo.
I. Colatto, Luiz Paulo.
II. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de
Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.
III. Conceitos de luz e cores com utilização da plataforma Arduino –
Uma proposta para o ensino médio

Dedico este trabalho a minha esposa Tatiana, meu filho Miguel e minha filha Manuela, pela compreensão na minha ausência e nos momentos de aflição para realizar este trabalho, aos meus pais Antônio Augusto (in memorian) e Sueli (in memorian) pela educação a mim fornecida e pelo exemplo de vida, aos meus irmãos Carlos Augusto e Maria Helena por todos os nossos momentos que me fizeram chegar aqui e a todos os demais familiares que de uma forma ou outra contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradecimentos

A SBF (Sociedade Brasileira de Física) e todos os seus integrantes por me fornecer essa valiosa oportunidade;

Aos professores do MNPEF Polo UNIRIO, pelos ensinamentos, exemplo e paciência neste período;

Ao meu Orientador Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto, por sempre me incentivar e me apoiar no meu trabalho;

Aos meus amigos de turma, aos nossos momentos juntos no mestrado e fora dele, nos trabalhos em grupo, nos momentos de alegria e de tristeza, no incentivo a continuar sempre, são pessoas que desejo ter amizade eterna;

Aos alunos ao qual já fui, sou e serei professor, este trabalho é pensando em vocês.

RESUMO

CONCEITOS DE LUZ E CORES COM UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA ARDUINO – UMA PROPOSTA PARA O ENSINO MÉDIO

Marco Antônio Soares Coelho

Orientador:
Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto

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

Iremos realizar neste trabalho um desenvolvimento teórico básico e um experimento sobre conceitos de luz e das cores com a utilização da plataforma Arduino. Mais especificamente iremos fazer observações e análises de como enxergamos os objetos e os distinguimos a partir da luz e das cores. Para isto, iremos iluminar alguns objetos com as cores primárias vermelha, verde e azul sendo a plataforma Arduino o controlador básico. Observamos que é uma placa prototipadora de circuitos e controles de baixo custo, onde sua programação é de fácil compreensão e “open source”, ou seja, o software da plataforma Arduino chamado de IDE é grátis, onde esses experimentos são para o ensino de física destinados a alunos do ensino médio.

Palavras-chave: Ensino de Física, Baixo custo, Arduino.

Rio de Janeiro
Julho de 2019

ABSTRACT

CONCEPTS OF LIGHT AND COLORS USING THE ARDUINO PLATFORM - A PROPOSAL FOR MIDDLE SCHOOL

Marco Antonio Soares Coelho

Advisor:
Prof. Dr. Luiz Paulo Colatto

Master's Dissertation submitted to Graduate Program in physics teaching in the National Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), is a partial fulfillment of the requirements to obtain the Degree of Master in Physics Teaching.

In this work we will perform a basic theoretical development and experiment on light and color concepts using the Arduino platform. More specifically, using light and colors we will make observations and analyzes of how we see objects and we distinguish them. To this aim, we will light some objects with the primary colors red, green and blue being the platform Arduino the basic controller. We remark that it is a low cost prototype plate to produce circuits and controls, where its programming language is very simple and "open source", that is to say, the software of the platform Arduino called of IDE is free, where these experiments are for the teaching of physics intended for high school students.

Key words: Physics Teaching, Low cost, Arduino.

Rio de Janeiro
Julho de 2019

Sumário

Introdução	1
Objetivo Geral	1
Objetivos Específicos	1
Capítulo 1 - O que é a plataforma Arduino	5
1.1 – A placa Arduino	5
1.2 - Exemplos de placas Arduino.	6
1.2.1 – Arduino uno	6
1.2.2 – Arduino Mega	7
1.2.3 – Arduino Pro Mini	8
1.2.4 – Arduino LilyPad	8
1.3 - Porque Utilizar o Arduino?	9
1.4 – Exemplo de sensores e demais componentes	10
1.4.1 – Led RGB	10
1.4.2 – Sensor de infravermelho	10
1.4.3 – Sensor de Temperatura	11
1.4.4 – Câmera VGA	12
1.4.5 – Cabos de conexão	12
1.4.6 – Mini Protoboard	13
1.4.7 – Módulo Bluetooth	13
1.4.8 – Sensor de Ultrassom	14
1.4.9 – Placa Multifunção	14
1.5 – Programando no Arduino	15
1.5.1 – A IDE	15
Capítulo 2 – Fundamentação Teórica	20
Capítulo 3 – Revisão do conceito de cor e luz	23
3.1 – Teoria Ondulatória da luz	23
3.1.1 – Teoria ondulatória da luz de Huygens	23
3.1.2 – Equações de Maxwell	27
3.1.3 – Equação de ondas	32
3.1.4 – Polarização da Luz	35
3.1.5 – Lei de Malus	37
3.1.6 – Difração da Luz	38
3.1.7 – O Experimento de Young	39
3.2 – Teoria corpuscular da luz	43
3.2.1 – Teoria corpuscular da luz de Newton	43
3.2.2 – Átomo	44
3.2.3 – A Hipótese de Planck	47
3.2.4 – O Efeito Fotoelétrico	47
3.2.5 – O efeito Compton	49
Capítulo 4 – O experimento	53
4.1 – Construção da caixa de cores	57
4.1.1 - Materiais:	57
4.1.2 – Ferramentas Utilizadas:	58
4.1.3 – Esquema de Montagem:	58
Capítulo 5 – Aplicação do Produto – Aula Prática	60
Capítulo 6 – Análise dos resultados	64
6.1 – Avaliação prévia e posterior geral:	64

6.1.1 - Questão 1:	64
6.1.2 - Questão 2:	65
6.1.3 - Questão 3:	66
6.1.4 - Questão 4:	66
6.1.5 - Questão 5:	67
6.1.6 - Questão 6:	68
6.1.7 - Questão 7:	68
6.1.8 - Questão 8:	69
6.1.9 - Questão 9:	70
6.1.10 - Questão 10:	70
6.2 – Avaliação geral	71
6.2.1 - Questão 1:	71
6.2.2 – Questão 2:.....	71
6.2.3 – Questão 3:.....	72
6.2.4 – Questão 4:.....	72
6.2.5 – Questão 5:.....	72
6.2.6 – Questão 6:.....	72
6.2.7 – Questão 7:.....	72
6.2.8 – Questão 8:.....	73
6.2.9 – Questão 9:.....	73
6.2.10 – Questão 10:.....	73
6.3 – Avaliação prévia e posterior por turma:	74
6.3.1 – Questão 1:.....	74
6.3.2 – Questão 2:.....	76
6.3.3 – Questão 3:.....	77
6.3.4 – Questão 4:.....	79
6.3.5 – Questão 5:.....	81
6.3.6 – Questão 6:.....	82
6.3.7 – Questão 7:.....	84
6.3.8 – Questão 8:.....	86
6.3.9 – Questão 9:.....	87
6.3.10 – Questão 10:.....	89
6.4 - Avaliação por turma.....	91
6.4.1 – 7º Ano do ensino fundamental;	91
6.4.2 – 8º Ano do ensino fundamental;	91
6.4.3 – 1º Ano do ensino médio;	91
6.4.4 – 2º Ano do ensino médio;	91
6.4.5 – 3º Ano do ensino médio;	91
Capítulo 7 - Conclusão.....	92
Capítulo 8 - Considerações finais.....	93
Referências Bibliográficas	94
Apêndices.....	98
Apêndice 1 - Questionário Prévio	98
Apêndice 2 - Roteiro Experimental	101
Apêndice 3 - Roteiro Experimental – Complemento	109
Apêndice 4 - Questionário de avaliação posterior	110
Apêndice 5 – Programação da caixa de cores	113

Índice de figuras

Figura 1 - Portas e conexões do Arduino	6
Figura 2 - Arduino uno.....	7
Figura 3 - Arduino Mega.....	7
Figura 4 - Arduino Pro Mini.....	8
Figura 5 - Arduino LilyPad	8
Figura 6 - Led RGB	10
Figura 7 - Sensor de IR	11
Figura 8 - Sensor de Temperatura	11
Figura 9 - Câmera VGA.....	12
Figura 10 - Cabos de conexão	12
Figura 11 - Mini Protoboard.....	13
Figura 12 - Módulo Bluetooth	13
Figura 13 - Sensor de Ultrassom.....	14
Figura 14 – Placa multifunção	14
Figura 15 - IDE do Arduino, fonte do autor.....	16
Figura 16 - Seleção de placa Arduino Uno, fonte autor.....	17
Figura 17 - Exemplos na IDE - Fonte autor	18
Figura 18 - Exemplo na IDE (Blink - acender Led) - Fonte autor.....	19
Figura 19 – Princípio de Huygens	24
Figura 20 – Reflexão da luz.....	25
Figura 21 - ângulos de incidência e reflexão da Luz	25
Figura 22 - Refração da luz	26
Figura 23 – Espectro eletromagnético.....	34
Figura 24 - Luz Polarizada verticalmente	35
Figura 25 - Luz Polarizada vista frontal	35
Figura 26 - Luz não polarizada.....	36
Figura 27 - Polarização da Luz.....	36
Figura 28 - Lei de Malus.....	38
Figura 29 - Difração da luz	39
Figura 30 - Experimento de Young.....	40
Figura 31 – Franjas	41
Figura 32 - Interferência	41
Figura 33 – Prisma de Newton	44
Figura 34 - Átomo de Thomson (Pudim de Passas).....	45
Figura 35 - Átomo de Rutherford.....	45
Figura 36 - Átomo de Bohr	46
Figura 37 - Átomo de Schrodinger	46
Figura 38 - Efeito fotoelétrico	48
Figura 39 - Efeito Compton	49
Figura 40 – Sistema de cores RGB.....	53
Figura 41 – Tampas de caneta iluminadas pela cor branca.....	54
Figura 42 – Tampas de caneta iluminadas pela cor azul	55
Figura 43 - Tampas de caneta iluminadas pela cor vermelha	56
Figura 44 – Esquema de montagem da caixa de cores	58
Figura 45 – Alunos realizando o experimento	61
Figura 46 – Alunos realizando o experimento	61
Figura 47 - Alunos realizando o experimento	62

Figura 48 - Alunos realizando o experimento 62

Equações:

Equação 1 - Comprimento de onda.....	24
Equação 2 - Comprimento de onda na reflexão da Luz	25
Equação 3 - Igualdade de lados do triângulo retângulo	25
Equação 4 - Comprimento de onda na refração da Luz.....	26
Equação 5 - Seno dos triângulos retângulos.....	26
Equação 6 - permutando os extremos	26
Equação 7 - Igualando os termos.....	27
Equação 8 - Substituindo o comprimento de onda.....	27
Equação 9 - Substituindo a equação 1 na equação 8	27
Equação 10 - Índice de refração	27
Equação 11 - Lei da refração da Luz	27
Equação 12 - Lei de Gauss para o campo elétrico.....	28
Equação 13 - Lei de Gauss do Magnetismo	28
Equação 14 - Lei de Ampère.....	28
Equação 15 - Lei de Faraday	29
Equação 16 - Força de Lorentz	29
Equação 17 - Lei de Gauss na forma diferencial.....	29
Equação 18 - Lei de Gauss do magnetismo na forma diferencial	29
Equação 19 - Lei de Ampère na forma diferencial	30
Equação 20 - Densidade de corrente elétrica	30
Equação 21 - Divergente da densidade de cargas nula.....	30
Equação 22 - Divergente da densidade de cargas variando no tempo	30
Equação 23 - Equação de Poisson	31
Equação 24 - Equação de continuidade (1)	31
Equação 25 - Equação de continuidade (2)	31
Equação 26 - Lei de Ampère - Maxwell.....	31
Equação 27 - Lei de Faraday na forma diferencial.....	31
Equação 28 - Equações de Maxwell no vácuo.....	32
Equação 29 - Lei de Ampère - Maxwell (sem cargas elétricas).....	32
Equação 30 - Lei de Faraday (sem cargas elétricas)	32
Equação 31 - Lei de Gauss (sem cargas elétricas).....	32
Equação 32 - Lei de Gauss do Magnetismo (sem cargas elétricas).....	32
Equação 33 - Identidade (1)	33
Equação 34 - Equação de campo elétrico.....	33
Equação 35 - Equação de campo magnético.....	33
Equação 36 - Equação de ondas unidimensional	33
Equação 37 - Velocidade de propagação de uma onda eletromagnética	33
Equação 38 - Regra da metade	37
Equação 39 - Lei de Malus.....	37
Equação 40 - Diferença entre as distâncias percorrida	42
Equação 41 - Franjas claras.....	42
Equação 42 - Franjas escuras.....	42
Equação 43 - Energia quantizada	47
Equação 44 - Energia de um fóton	47
Equação 45 - Energia cinética do elétron.....	48
Equação 46 - DDP retardadora	48
Equação 47 - Energia cinética máxima	48
Equação 48 - Energia cinética máxima menos o trabalho	48

Equação 49 - Equação de Einstein no efeito fotoelétrico	49
Equação 50 - Momento de um fóton	50
Equação 51 - Equação fundamental da ondulatória na luz	50
Equação 52 - Momento de um fóton em termos do comprimento de onda	50
Equação 53 - Conservação de energia de um fóton de raio X	50
Equação 54 - Energia cinética do elétron ejetado	50
Equação 55 - Fator de Lorentz	50
Equação 56 - Conservação de energia do fóton	51
Equação 57 - Conservação de energia do fóton (2)	51
Equação 58 - Momento do elétron após a interação	51
Equação 59 - Equação dos momentos ao longo dos eixos x e y	51
Equação 60 - deslocamento de fótons espalhados	51
Equação 61 - Deslocamento de Compton	51
Equação 62 - Valor numérico do comprimento de onda de Compton	52

Constantes

Constante 1 - Permissividade elétrica no vácuo.....	28
Constante 2 - Permeabilidade magnética no vácuo	28
Constante 3 - Velocidade da luz no vácuo	34
Constante 4 - Constante de Planck.....	47

Introdução

O ensino de física praticado atualmente utilizando-se somente quadro e giz, sem os experimentos que iniciam o pensamento de uma teoria física, não é o mais adequado, com isso o aluno carrega desde o início da aprendizagem um modelo errado do que é a física, como observamos no trecho abaixo.

“Tínhamos um ensino descontextualizado, compartimentalizado e baseado no acúmulo de informações.”

[PCN, 2018]

Objetivo Geral

Compreender através de observação o conceito de luz e seu comportamento ondulatório, assim como identificar que as cores estão relacionadas com o comprimento de onda da luz. Também conhecer o comportamento corpuscular da luz em forma teórica. De fato, os seres humanos conseguem visualizar somente as cores monocromáticas como o vermelho, o verde e o azul, sendo as demais cores decorrentes de uma combinação dessas três cores, duas a duas ou o branco a união das três cores.

Objetivos Específicos

- Compreender a utilização da plataforma Arduino e sensores para experimentos;
- Compreender a programação da IDE da plataforma Arduino;
- Construção do experimento de cores e luz com a plataforma Arduino e led RGB para visualização de objetos iluminados pelas cores vermelho, verde e azul no interior de uma caixa de madeira pintada de preto;
- Reconhecer as combinações de cores a partir das cores primárias a partir de observações de objetos iluminados por várias cores;

- Observar e compreender o comportamento ondulatório da luz e sua relação com as cores.

Para alcançar esses objetivos devemos nos atentar que o experimento é parte integrante da evolução do que é a física que conhecemos por isso a utilização de experimentos em sala de aula torna-se indispensável para o aprendizado do aluno e sua correta assimilação de como a física foi construída.

“Estes Parâmetros cumprem o duplo papel de difundir os princípios da reforma curricular e orientar o professor, na busca de novas abordagens e metodologias”

[PCN 2018]

Estes experimentos, quando produzidos por empresas especializadas, são caros e muitas escolas não têm condições de adquiri-los. A plataforma Arduino se apresenta como uma solução para este problema, e além disto abre a possibilidade de uma variedade muito grande de novos experimentos, sendo que o seu custo é baixo. Com isto, podem ser desenvolvidos experimentos desde os mais simples de mecânica até experimentos mais complexos de mecânica quântica, passando por termologia, eletromagnetismo, dentre outros. O professor pode preparar um experimento em casa com seu computador e transportar somente o experimento com ou sem o computador, para isto pode utilizar o celular ou telas de LCD para expor os dados, ainda pode armazenar estes dados em um cartão de memória, ou pode realizar um experimento qualitativo, com LEDs RGB (Red, Green and Blue) por exemplo, enfim com estes exemplos simples vemos as possibilidades de enriquecimento de uma aula de física ou de outras disciplinas. Além disto, os seus componentes e peças podem ser reutilizados em outros experimentos, tornando mais baixo ainda o seu custo devido a esta reutilização.

“...buscamos dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartimentalização, mediante a interdisciplinaridade; e incentivar o raciocínio e a capacidade de aprender.”

[PCN 2018]

Portanto muitos experimentos que um dia um professor pensou em realizar em sala de aula agora podem ser realizados com a plataforma Arduino. Existem, de fato, uma infinidade de exemplos e projetos grátis na internet. A página oficial do projeto Arduino é: www.arduino.cc, lá encontramos maiores informações, tutoriais, exemplos e uma comunidade pronta para ajudar nos projetos que desejem realizar.

Neste trabalho propomos uma explanação, tipo manual, do que é a plataforma Arduino para iniciantes, leigos nesta área, para serem estimulados a utilizar a plataforma Arduino e pôr em prática experimentos que um dia imaginaram fazer e não tinham como; ou mesmo elaborar novos experimentos para seus alunos e outros professores. Como projeto de trabalho iremos realizar um experimento de conceitos de luz e cores com a plataforma Arduino, para atingir os objetivos mencionados acima. Para tanto, desenvolveremos uma caixa de cores com um LED RGB (red, green and blue) para que os alunos visualizem alguns objetos de cores variadas quando iluminados por estas cores primárias, por uma cor secundária e pela luz branca. Para o experimento utilizaremos:

- uma placa Arduino;
- uma placa do tipo shield de aprendizagem, com botões, buzzer, display digital e outras conexões para sensores;
- um LED RGB;
- fios de conexão;
- uma caixa de madeira.

Esta caixa é feita de madeira mdf pintada de preto na parte interior, com um orifício para a visualização dos objetos colocados em seu interior e uma porta para facilitar a colocada e retirada destes objetos, para após confrontar com a teoria conhecida e discutir suas distorções que porventura ocorram.

Os estudantes farão várias observações e responderão questionários, os quais servirão de guia para a verificação se os conceitos de luz e cores foram consolidados de forma significativa. Após uma avaliação de aprendizagem, os experimentos serão repetidos e reavaliados para a constatação (ou não) da aquisição de forma significativa dos conceitos de luz, do seu comportamento ondulatório e cores.

Esta dissertação tem a seguinte forma:

- No capítulo 1, será feita uma explanação do que é a plataforma Arduino, seus componentes e software, os sensores e shields que podemos utilizar nos experimentos;
- No capítulo 2, teremos a fundamentação teórica, base para a elaboração e construção deste trabalho, com uma abordagem pedagógica para melhor compreensão da aprendizagem dos alunos, com as teorias de David Ausubel e Marco Antônio Moreira e seus conceitos de aprendizagem significativa;
- No capítulo 3, faremos uma revisão de literatura dos conceitos físicos de luz e cores, sendo a luz tratada com o seu comportamento ondulatório e corpuscular, com as teorias e equações elaboradas ao longo da história pelos cientistas para a comprovação desses fenômenos;
- No capítulo 4, vamos abordar a construção do experimento (caixa de cores), os materiais utilizados e os passos para a sua construção;
- No capítulo 5, apresentaremos a aplicação do produto, uma aula propriamente dita, utilizando a caixa de cores para alunos de ensino fundamental e médio;
- No capítulo 6, será realizada a análise dos resultados, com dados obtidos antes e depois da aula utilizando a caixa de cores com os alunos, com a realização dos questionários prévio e posterior para analisar a aprendizagem adquirida por estes alunos;
- No capítulo 7, faremos a conclusão deste trabalho, a partir da análise dos dados obtidos, se a aprendizagem foi realmente significativa ou não para estes alunos, e os motivos para tais conclusões;
- No capítulo 8 apresentaremos as considerações finais sobre o trabalho e o que pode ser feito para alcançar melhores resultados e perspectivas.
- Nos apêndices teremos os questionários prévio e posterior, o roteiro experimental e a programação da caixa de cores.

Capítulo 1 - O que é a plataforma Arduino

A plataforma Arduino é um projeto que consiste em uma placa principal, esta conhecida somente como Arduino. Esta placa possui um microcontrolador, que é o cérebro do Arduino, algumas saídas e conexões. Existem ainda os sensores que conectamos ao Arduino e demais componentes, que são a parte física da plataforma Arduino e um programa de computador open-source¹ chamado de IDE. Este programa possui comando simples de fácil compreensão, com todo este aparato é possível realizar experimentos, captação de medidas com extrema precisão, construir robôs autônomos e uma infinidade de projetos. Tentaremos mostrar um pouco deste projeto e o que podemos realizar tanto educacionalmente ou para projetos pessoais, mais adiante iremos detalhar alguns componentes e alguns sensores do Arduino e sua utilização, assim como a IDE com alguns comandos e exemplos, sempre tendo uma abordagem simples para iniciantes.

1.1 – A placa Arduino

Nesta seção iremos mostrar um pouco do que é a placa Arduino e um pouco sobre os seus componentes, tomemos um exemplo de uma placa Arduino Uno, dentre muitos modelos que veremos a seguir.

A placa Arduino Uno possui:

- 1 Microcontrolador, o cérebro do Arduino;
- 1 porta USB, para conexão com o computador;
- 1 porta de força, para conexão de alimentação de 7V a 20V;
- 6 portas de entrada analógicas, para conexão de sensores e componentes;
- 14 portas digitais para conexões de sensores e componentes, sendo 6 as portas PWM (são portas digitais que simulam saídas analógicas);

¹ Open-source – Grátis para utilizar, modificar e distribuir.

Portas de alimentação dos componentes;

1 Led conectado na porta digital 13;

2 LEDs TX e RX para informar a transmissão de dados;

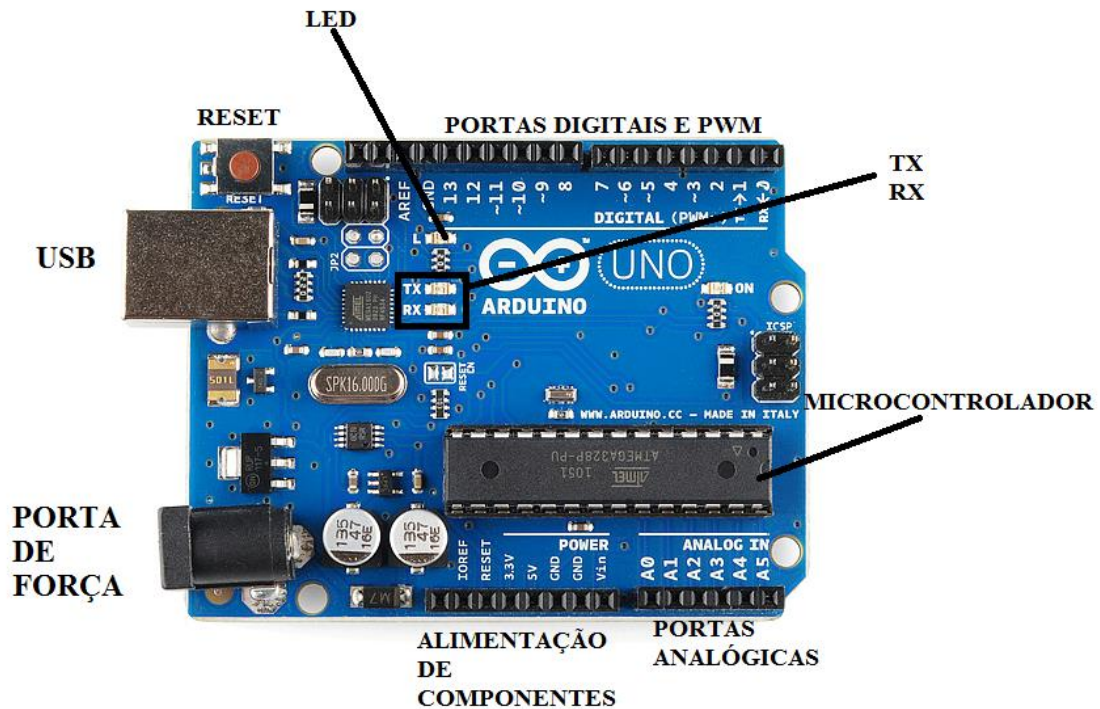


Figura 1 - Portas e conexões do Arduino

1.2 - Exemplos de placas Arduino.

Veremos agora alguns exemplos das placas Arduino mais utilizadas, temos modelos fora de fabricação e muitos outros modelos não mostrados aqui.

1.2.1 – Arduino uno

Uma placa Arduino muito utilizada por atender muitos projetos e por ter um preço acessível é o Arduino uno.

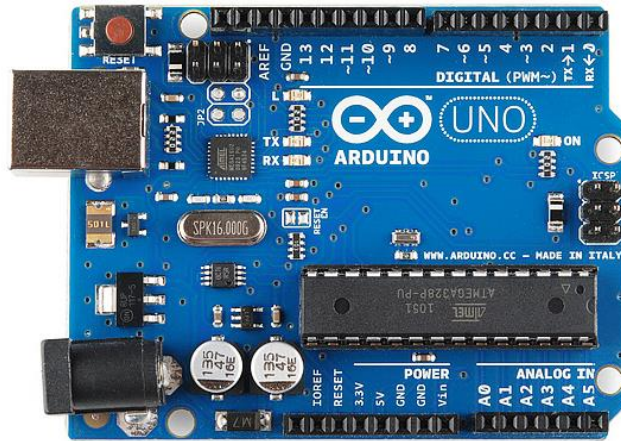


Figura 2 - Arduino uno

<<http://static.arduino.org/media/k2/galleries/90/A000066-Arduino-Uno-TH-1front.jpg>>

1.2.2 – Arduino Mega

O Arduino Mega possui mais portas de conexões com sensores e componentes e maior capacidade de armazenamento da programação e velocidade de processamento.

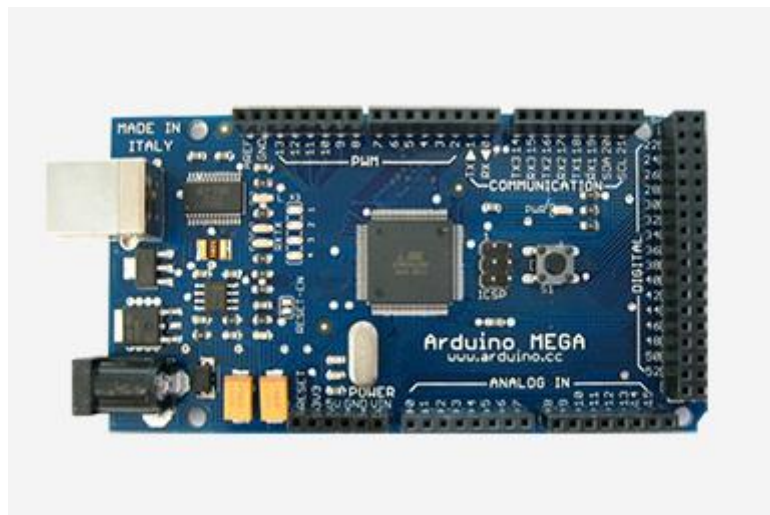


Figura 3 - Arduino Mega

<<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega.jpg>>

1.2.3 – Arduino Pro Mini

O Arduino Pro Mini é utilizado para projetos que possuem pouco espaço possui dimensões de 33 x 18 mm.

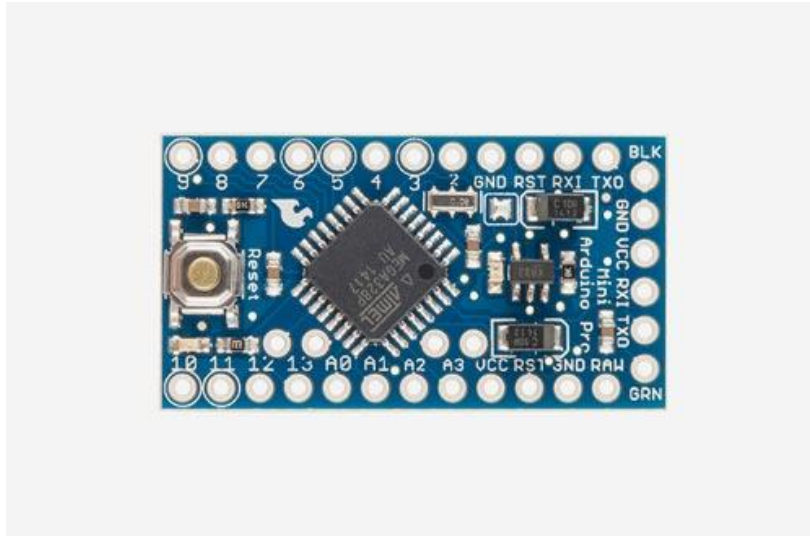


Figura 4 - Arduino Pro Mini

<<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ProMiniFront.jpg>>

1.2.4 – Arduino LilyPad

O Arduino Lily Pad é muito utilizado em projeto em vestimentas pois possui furos de costura.

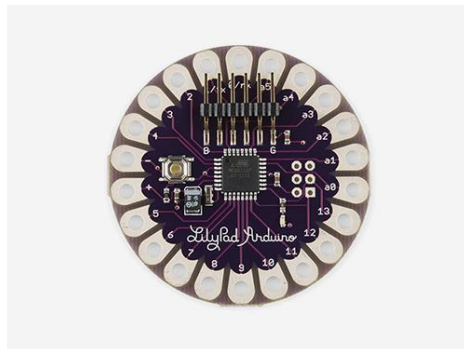


Figura 5 - Arduino LilyPad

<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/A000011_featured.jpg>

1.3 - Porque Utilizar o Arduino?

A física é uma ciência experimental, logo o seu ensino tem de estar baseado nesse pilar, onde a experimentação é parte integrante da didática a ser utilizada em sala de aula, os experimentos revelam toda a evolução dos conhecimentos da física e a teoria a partir desta experimentação, o ensino de física como em muitos casos é aplicado em sala de aula sem os experimentos, são um entrave no ensino desta disciplina e o avanço de áreas correlacionadas, dado o desinteresse dos alunos com esta metodologia.

A partir destes fatos, propomos a utilização de uma poderosa ferramenta para a inserção de experimentos de física em sala de aula, com baixo custo, praticidade de transporte, de simples utilização e aprendizado desta ferramenta e fácil aquisição, uma vez que a venda no Brasil já se encontra em larga escala, além de ser tecnológico o que atrai a atenção e o interesse do aluno. O Arduino possui baixo custo de aquisição da placa e de seus sensores, por este motivo já se torna viável a sua utilização e ainda como é possível montar e desmontar um experimento e utilizar o Arduino, seus componentes e sensores em outros experimentos, o torna ainda mais interessante, pois podemos reutilizá-lo quantas vezes acharmos necessária, assim caso um experimento não apresente os efeitos desejados na aula, este experimento pode ser desmontado e refeito ou elaborar outro experimento com o Arduino, seus componentes e os sensores. A programação é de fácil compreensão até para quem não possui familiarização com lógica de programação ou a programação em outras linguagens, os comandos são simples e não requer uma formação mais profunda em programação, sendo possível utilizá-lo em aulas de ensino fundamental, médio e superior. Devido a gama de sensores existentes podemos realizar experimentos não só de física, mas também de outras disciplinas, como matemática, biologia, química dentre outras, realizar experimentos como hobby, projetar robôs autônomos, fazer automação residencial e empresarial, projetos de engenharia e aplicações comerciais.

1.4 – Exemplo de sensores e demais componentes

Nesta seção iremos expor alguns sensores que serão utilizados nos experimentos, lembrando que aqui são apenas alguns exemplos. A quantidade de sensores existentes é muito grande e atualmente ainda temos o desenvolvimento de novos sensores e componentes, logo teremos sensores cada vez mais tecnológicos permitindo medidas mais precisas e mais experimentos de física moderna dentre outras.

1.4.1 – Led RGB

Este Led RGB (Red, Green, Blue) (Vermelho, verde e azul) é um LED que não necessita de montagem com resistor na protoboard, pois já vem pronto para utilização, somente conectar os cabos de conexão nas respectivas portas do Arduino e programar.



Figura 6 - Led RGB

<<https://www.aliexpress.com/item-img/RGB-3-Color-Full-Color-LED-SMD-Module-For-Arduino-AVR-PIC-KY-009-5pcs-lot/32362903854.html#>>

1.4.2 – Sensor de infravermelho

Este sensor possui um emissor de IR (emissão de luz na faixa do infravermelho) e um receptor desta luz, utilizado para medira distância de objetos de dimensões com cm^2 , dependendo da distância ao qual este objeto se encontra do sensor, consegue medir distâncias de 1 cm até 3 cm, onde este

sensor envia para o Arduino uma informação da cor do obstáculo, assim sendo quando aparece um obstáculo este sensor emite uma informação para o Arduino.

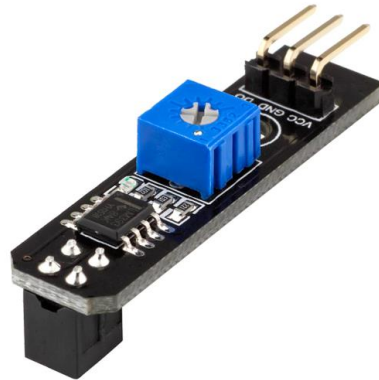


Figura 7 - Sensor de IR

[<https://www.aliexpress.com/item-img/Line-tracking-Sensor-For-robotic-and-car-DIY-Arduino-projects-Digital-Out/32654587628.html#>](https://www.aliexpress.com/item-img/Line-tracking-Sensor-For-robotic-and-car-DIY-Arduino-projects-Digital-Out/32654587628.html#)

1.4.3 – Sensor de Temperatura

Este sensor mede a temperatura ambiente, enviando esses dados para o Arduino.



Figura 8 - Sensor de Temperatura

[<https://www.aliexpress.com/item-img/18B20-Temperature-Sensor-Module-for-Arduino-Free-Shipping-Dropshipping/1800359892.html#>](https://www.aliexpress.com/item-img/18B20-Temperature-Sensor-Module-for-Arduino-Free-Shipping-Dropshipping/1800359892.html#)

1.4.4 – Câmera VGA

Câmera de Vídeo em padrão VGA.

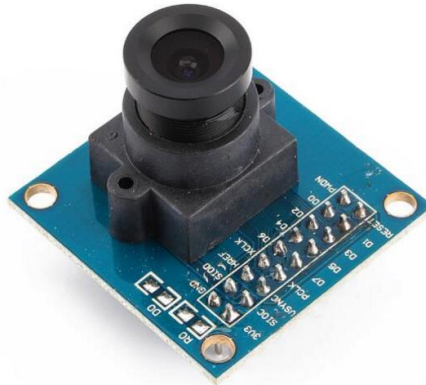


Figura 9 - Câmera VGA

<[#### 1.4.5 – Cabos de conexão](https://www.aliexpress.com/item-img/New-OV7670-VGA-Camera-Module-Lens-CMOS-640X480-SCCB-w-I2C-Interface-Auto-Exposure-Control-Display/32696892934.html#></p></div><div data-bbox=)

Cabos para conectar os sensores ao Arduino.



Figura 10 - Cabos de conexão

<[12](https://www.aliexpress.com/item-img/120pcs-20cm-male-male-male-female-and-female-jumper-wire-Dupont-cable-for-Arduino/1677724588.html#></p></div><div data-bbox=)

1.4.6 – Mini Protoboard

Placa para conexão de resistores, cabos e demais componentes no Arduino.



Figura 11 - Mini Protoboard

<<https://www.aliexpress.com/item/10pcs-lot-Syb-170-Tie-points-Mini-Solderless-Prototype-Breadboard-for-ATMEGA-PIC-Arduino-UNO-Wholesale/1968046374.html>>

1.4.7 – Módulo Bluetooth

Módulo Bluetooth para conexão com equipamentos compatíveis com essa tecnologia, por exemplo smartphones.



Figura 12 - Módulo Bluetooth

<<https://www.aliexpress.com/snapshot/6194371788.html?spm=2114.13010608.0.0.6WusvF&orderId=63446517242490&productId=1751908410>>

1.4.8 – Sensor de Ultrassom

Sensor que utilizar ondas de ultrassom, possui um emissor e um receptor destas ondas, utilizado para medir a distância de objetos de dimensões com m², dependendo da distância ao qual este objeto se encontra do sensor, consegue medir distâncias de 2 cm até 450 cm.



Figura 13 - Sensor de Ultrassom

<<https://www.aliexpress.com/item-img/Free-shipping-10pcs-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Measuring-Transducer-Sensor-for-Arduino-Samples-Best-prices/1728876188.html>>

1.4.9 – Placa Multifunção

É uma placa do tipo shield, é uma placa de conexão direta ao Arduino, é uma placa muito utilizada para aprendizagem, tanto aprendizagem do Arduino, quanto para projetos, pois possui vários componentes em um só, como: Buzzer, display digital, botões, potenciômetro e LEDs.

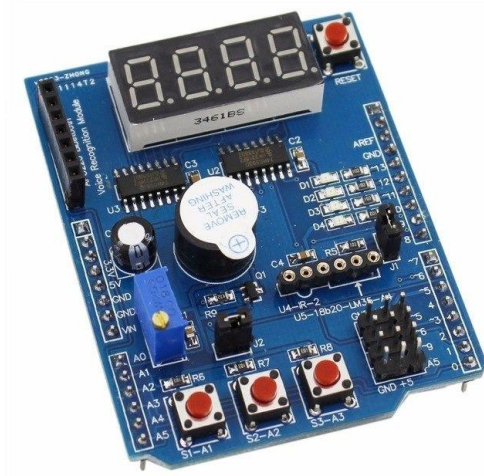


Figura 14 – Placa multifunção

<https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiUnsTusq3iAhV2FLkGHVt-De0QjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fproduto.mercadolivre.com.br%2FMLB-1155747988-shield-placa-aprendizagem-multifunco-arduino-_JM&psig=AOvVaw3mawVQsDTK4AtOiYUIOHfg&ust=1558554700849717>

1.5 – Programando no Arduino

Nesta seção iremos expor a programação no Arduino, devido à grande quantidade de comandos e estrutura de programação, só apresentaremos alguns tópicos como forma introdutória ao que necessitamos para a realização do experimento e o necessário para o leitor entender a programação em Arduino.

1.5.1 – A IDE

A IDE do inglês *Integrated Development Environment* ou **Ambiente de Desenvolvimento Integrado**² é um software de programação do Arduino e pode ser baixado gratuitamente em:

https://www.arduino.cc/download_handler.php

A IDE possui versões para Windows, Windows app, Linux e Mac, sua instalação é feita de maneira usual ao seu sistema operacional não oferecendo dificuldade para tal, utilizaremos o sistema operacional Windows onde em qualquer versão a sua instalação e funcionamento ocorre de maneira semelhante.

² Retirado de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ambiente_de_desenvolvimento_integrado, acesso em 17/05/2017

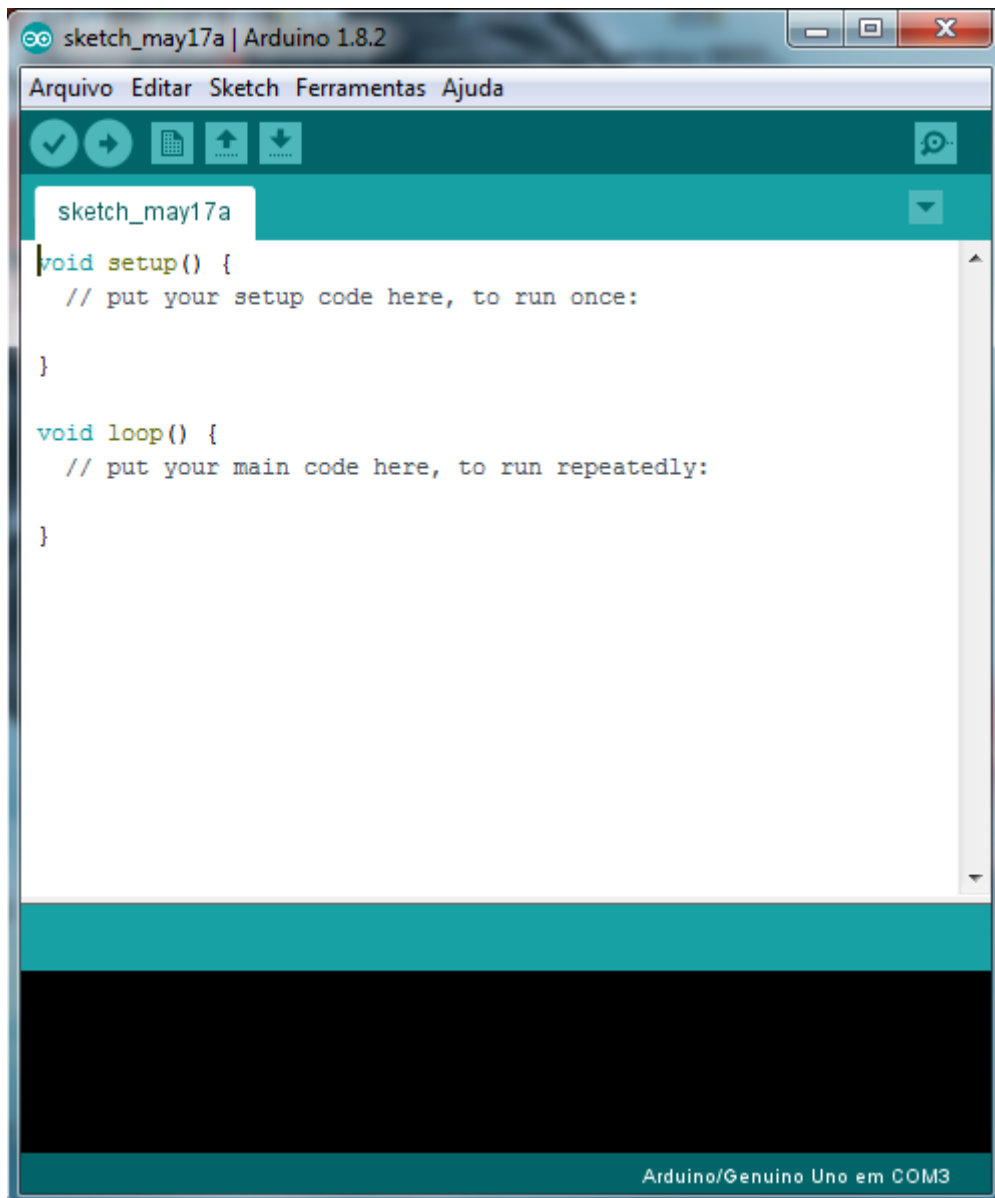


Figura 15 - IDE do Arduino, fonte do autor

Para a utilização devemos fazer algumas configurações após a instalação que é feita normalmente como qualquer programa em ambiente Windows. Primeiramente iremos configurar para a placa utilizada, temos muitos modelos como vemos na figura a seguir, como utilizaremos o modelo de placa Arduino Uno, devemos clicar em: Ferramentas>Placa>Arduino/Genuino Uno.

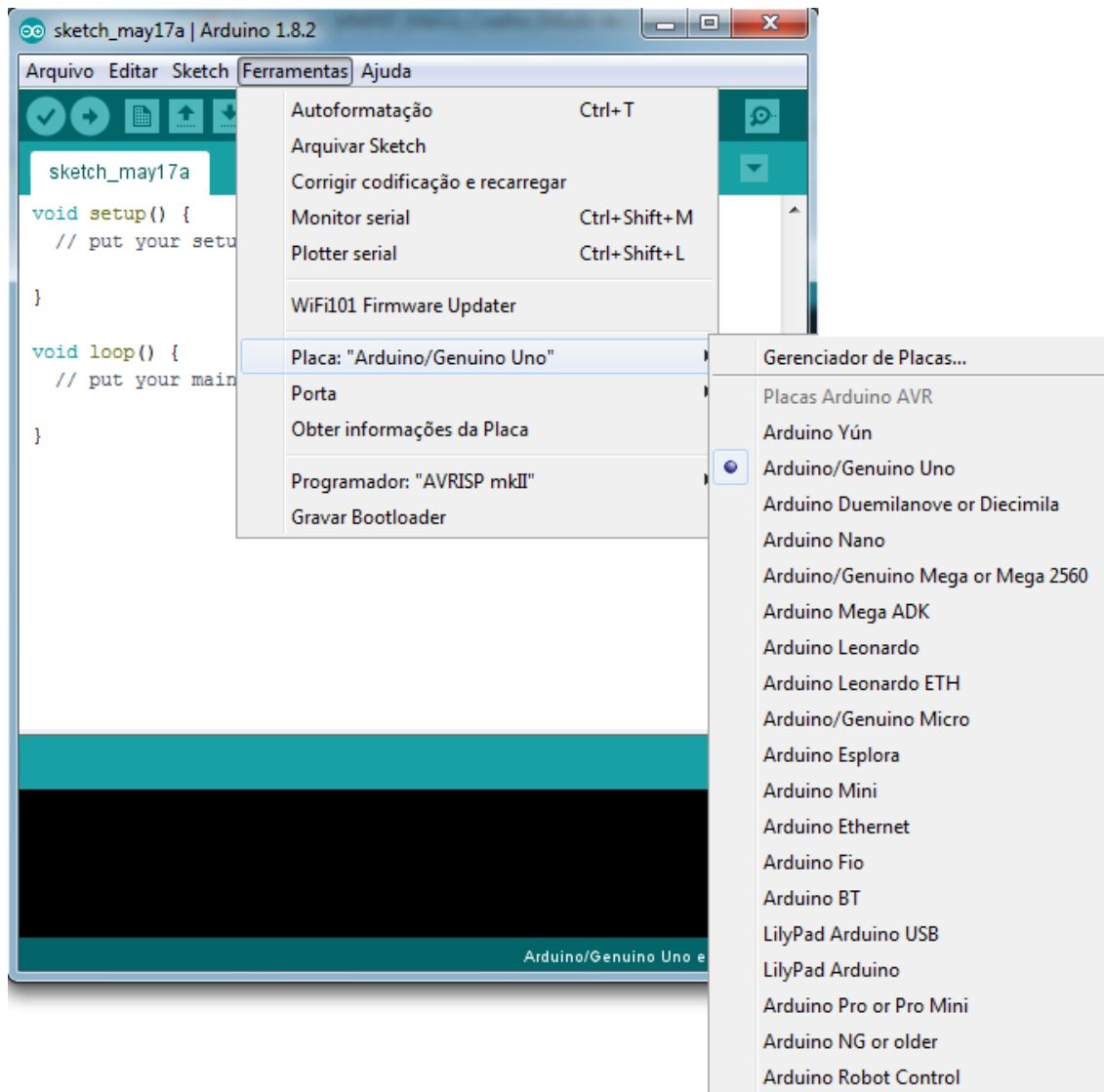


Figura 16 - Seleção de placa Arduino Uno, fonte autor

1. O campo void setup () utilizamos para declarar pinos de entrada ou saída, declarar taxas de transmissão de dados, dentre outras funcionalidades.
2. O campo void loop () está o que desejamos que o Arduino execute, ou seja, a programação propriamente dita, se desejo ligar e desligar um LED, os comandos de execução de tarefas são escritos neste campo.

Se desejamos declarar variáveis utilizadas no programa ou biblioteca para algum sensor funcionar, estes comandos devem estar no início, antes do comando void setup (). A IDE do Arduino possui alguns exemplos de programação em: Arquivo>exemplos.

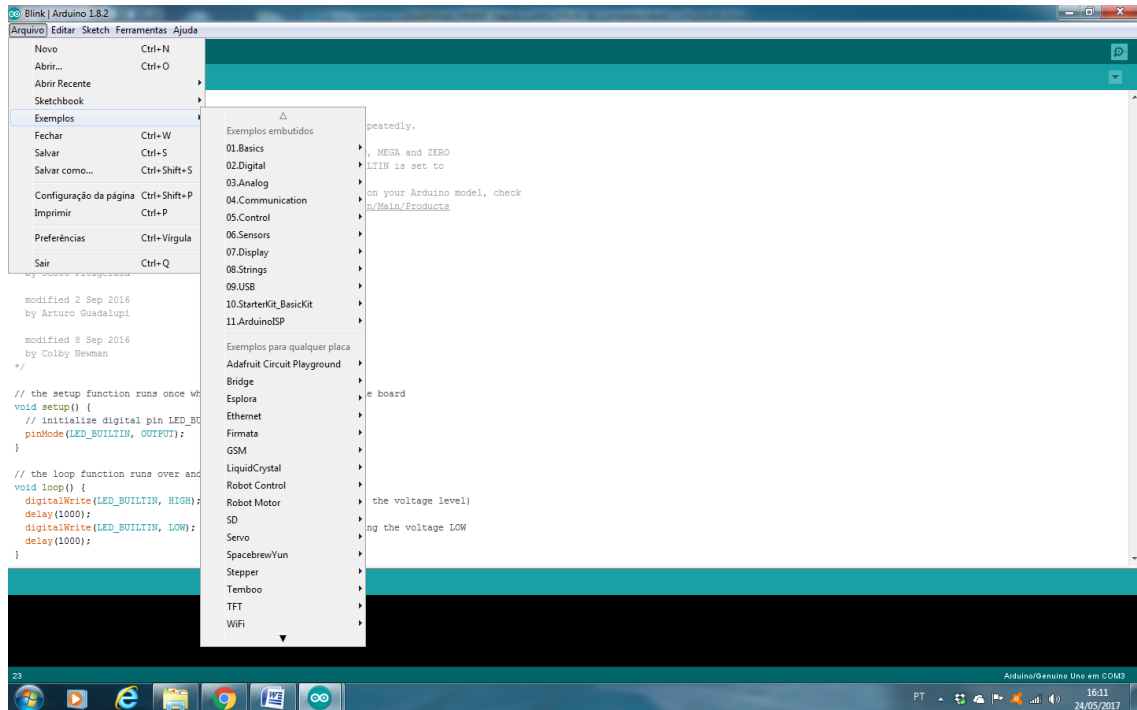
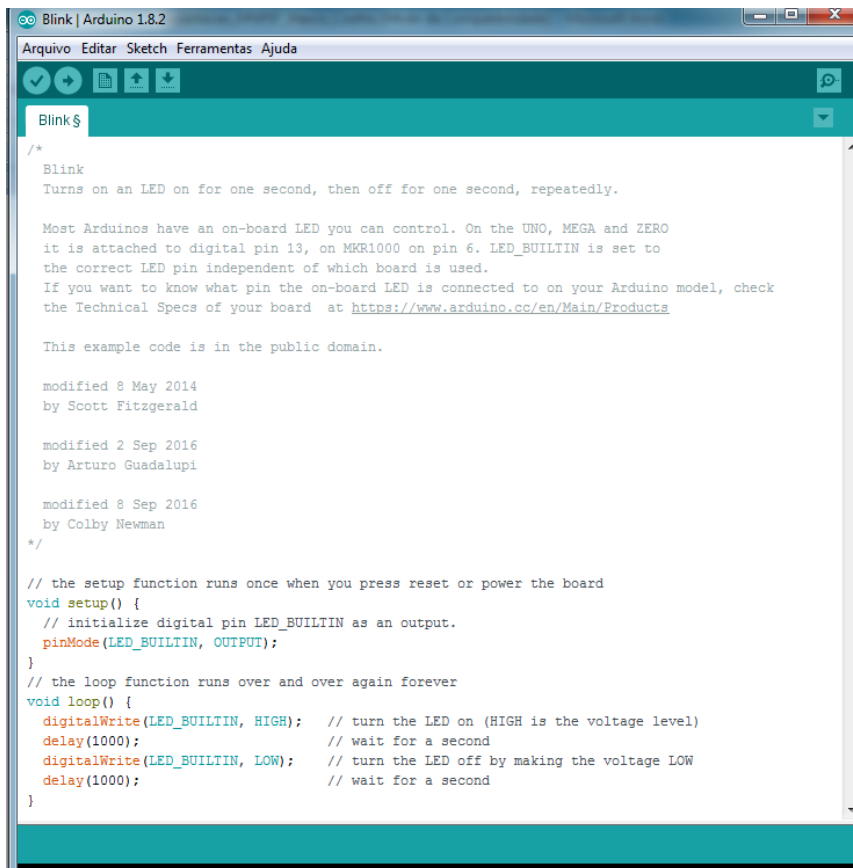


Figura 17 - Exemplos na IDE - Fonte autor

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Blink | Arduino 1.8.2". The menu bar includes "Arquivo", "Editar", "Sketch", "Ferramentas", and "Ajuda". The toolbar contains icons for file operations and execution. The main editor area displays the code for the "Blink" sketch. The code is as follows:

```
/*  
Blink  
Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.  
  
Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the UNO, MEGA and ZERO  
it is attached to digital pin 13, on MKR1000 on pin 6. LED_BUILTIN is set to  
the correct LED pin independent of which board is used.  
If you want to know what pin the on-board LED is connected to on your Arduino model, check  
the Technical Specs of your board at https://www.arduino.cc/en/Main/Products  
  
This example code is in the public domain.  
  
modified 8 May 2014  
by Scott Fitzgerald  
  
modified 2 Sep 2016  
by Arturo Guadalupi  
  
modified 8 Sep 2016  
by Colby Newman  
*/  
  
// the setup function runs once when you press reset or power the board  
void setup() {  
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.  
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
}  
  
// the loop function runs over and over again forever  
void loop() {  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)  
  delay(1000); // wait for a second  
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW  
  delay(1000); // wait for a second  
}
```

Figura 18 - Exemplo na IDE (Blink - acender Led) - Fonte autor

Observamos na figura 18 tudo o que for escrito entre /* e */, ou em uma mesma linha após //, são comentários, não sendo compilado pela IDE, a tabela de comandos pode ser encontrada em:

<https://www.arduino.cc/en/reference/homePage>

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica

Segundo David Ausubel, aprendizagem significativa é o meio ao qual uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura do conhecimento do aluno [Moreira, 2011], partindo dessa premissa um experimento torna acessível para o qual esta aprendizagem seja significativa, pois o aluno realiza o experimento tomando as decisões durante a execução do experimento e visualizando os resultados. Os conhecimentos prévios ao qual Ausubel chama de subsunçores, são os conhecimentos que os alunos possuem sobre este tema como ondas, cores e o que enxergamos e como enxergamos os objetos, a partir desses subsunçores teremos a aprendizagem significativa após a realização do experimento. Do contrário a aprendizagem será mecânica aquela ao qual o aluno não terá interações em sua estrutura cognitiva e a nova informação será desorganizada e sem sentido, sem a ligação com subsunçores específicos, sendo irrelevante para o aprendizado e facilmente perdida. Portanto devemos ter em mente a importância de estratégias de ensino do professor para que o aluno tenha construção do conhecimento e a capacidade do professor de se atualizar no mundo globalizado para que ele não se torne obsoleto e não consiga fazer a construção deste conhecimento e conseqüentemente não tornar a aprendizagem significativa para os seus alunos, como informa o artigo “*O papel docente na seleção das estratégias de ensino*” informa:

“O aluno precisa liderar atividades grupais distribuindo responsabilidades. Expor trabalhos e executar tarefas com roteiro podem ser algumas alternativas importantes desenvolvidas pelo docente para que o aluno aprenda com significado”

[Moreira 2013].

Este artigo esclarece que atividades em grupo com roteiros, e responsabilidades individuais para a realização do experimento, torna a aprendizagem significativa e prepara o aluno:

“para a formação de cidadãos humanos, éticos, críticos e emancipados”

[Moreira 2013].

No artigo: “TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL” os autores destacam a importância dos conhecimentos prévios dos alunos para que a aprendizagem seja prazerosa e eficaz.

“A aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio. Ao contrário, ela se torna mecânica ou repetitiva, uma vez que se produziu menos essa incorporação e atribuição de significado, e o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva.”

[Pelizzari 2002]

Onde esclarecem as condições para que a aprendizagem seja significativa e não mecânica.

“Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrária e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógica e psicologicamente significativo.”

[Pelizzari 2002]

Portanto quando a aprendizagem é significativa o conhecimento fica retido por mais tempo, a aprendizagem mecânica o conhecimento não fica retido, sendo facilmente esquecido. Baseando nesse pilar a experimentação se torna eficaz e sendo uma excelente forma de transmitir conhecimento para os alunos de forma lúdica, ficando retida por mais tempo sendo este conhecimento um novo subsunçor para novos conhecimentos que o aluno venha a adquirir durante sua vida escolar, social e profissional.

Capítulo 3 – Revisão do conceito de cor e luz

Neste capítulo faremos uma breve revisão de literatura, sobre os acontecimentos históricos dos estudos sobre cor e luz, as descobertas e os trabalhos de alguns cientistas realizaram que possibilitaram compreender o que entendemos como luz e como vemos os objetos atualmente, sendo a base para a compreensão do produto desenvolvido e a importância do estudo para os alunos.

“Normally when we use the term "light," we are referring to a type of electromagnetic wave that stimulates the retina of our eyes.

Normalmente, quando usamos o termo "luz", estamos nos referindo a um tipo de onda eletromagnética que estimula a retina de nossos olhos.”

[physics-eletromagnetic 2018]

3.1 – Teoria Ondulatória da luz

No séc. XVII a teoria ondulatória da luz permeou o meio científico contradizendo a teoria corpuscular da luz, de um lado Isaac Newton defendia que a luz era formada por partículas e por outro lado Christiaan Huygens defendia que a luz era uma onda. Apesar da teoria de corpuscular de Newton possuir fundamento sólido não explicava a difração e a interferência da luz, a teoria ondulatória de Huygens foi mais aceita no meio científico da época, pois explicava satisfatoriamente estes fenômenos, com o experimento de fenda dupla realizado por Thomas Young em 1801 que veremos mais adiante.

3.1.1 – Teoria ondulatória da luz de Huygens

Na mesma época de Newton, Huygens acreditava que a luz era uma onda, explicando satisfatoriamente a propagação retilínea da luz, a reflexão e a refração da luz, esta teoria utiliza meio geométricos para prever onde estará uma

dada frente de onda em qualquer instante dado, a partir da posição da frente de onda anterior, e seu princípio diz:

“Todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Depois de um intervalo de tempo t a nova posição da frente de onda é dada por uma superfície tangente a essas ondas secundárias.”

[Halliday, 2009]

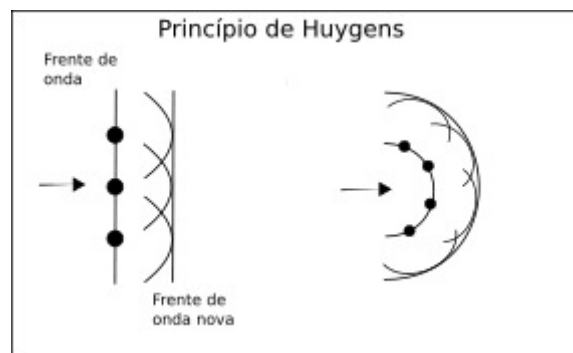


Figura 19 – Princípio de Huygens

Entre uma frente de onda e outra temos um comprimento de onda (λ) dada por:

$$\lambda = v \cdot \Delta t$$

Equação 1 - Comprimento de onda

onde v é a velocidade da luz no meio e Δt o intervalo de tempo.

- **Reflexão da Luz**

Utilizando o princípio de Huygens, podemos concluir o princípio de reflexão da luz.

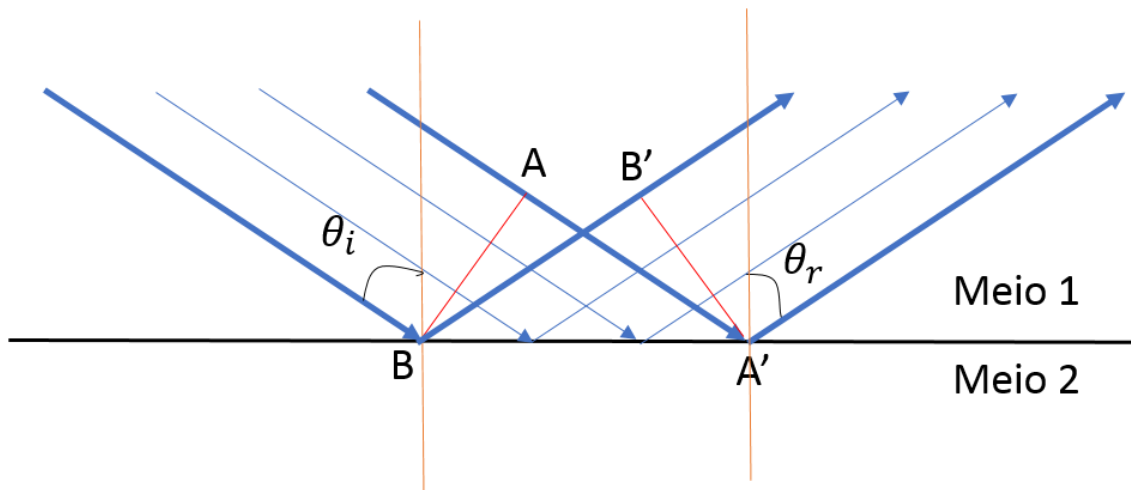


Figura 20 – Reflexão da luz

Como a reflexão da luz se dá no mesmo meio temos que a velocidade é a mesma e o comprimento de onda também, os segmentos de reta AB e A'B' são frentes de onda.

Os segmentos de reta AA' e BB' são um comprimento de onda.

$$AA' = \lambda_1 \text{ e } BB' = \lambda_1$$

Equação 2 - Comprimento de onda na reflexão da Luz

Logo:

$$AA' = BB'$$

Equação 3 - Igualdade de lados do triângulo retângulo

Como os triângulos retângulos possuem um lado congruente e a hipotenusa BA' igual, os triângulos A'B'B e AA'B são triângulos congruentes, assim os ângulos internos desses triângulos são iguais.

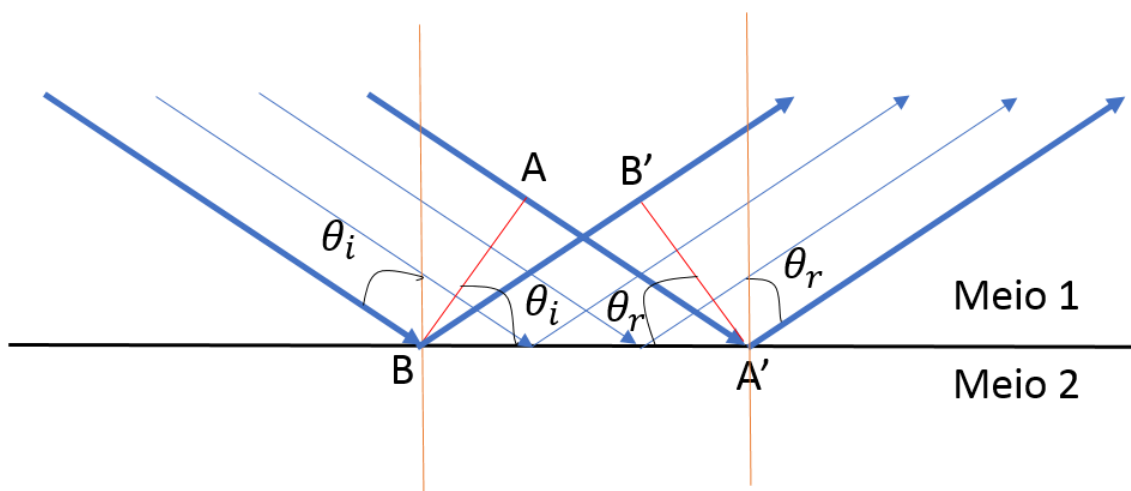


Figura 21 - ângulos de incidência e reflexão da Luz

- **Refração da Luz**

Usando o princípio de Huygens para deduzir o princípio de refração da luz, devemos analisar as frentes de onda anteriormente e posteriormente a mudança de meio, vamos supor que $v_2 < v_1$.

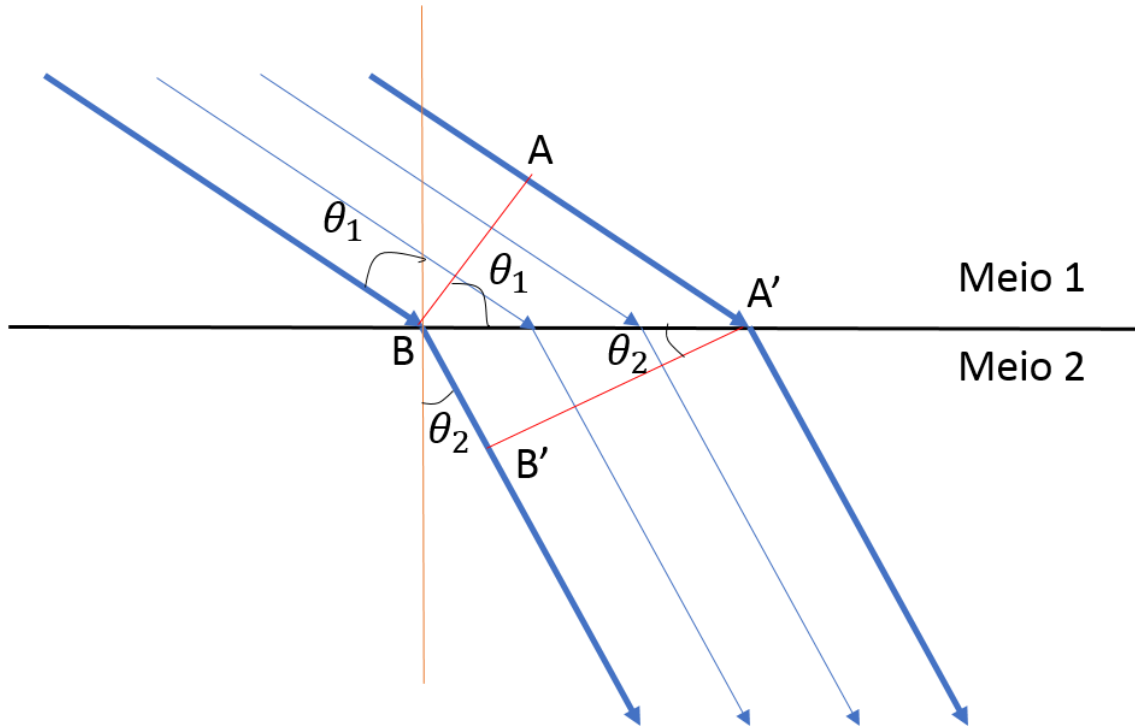


Figura 22 - Refração da luz

Onde temos que os segmentos de reta AB e A'B' são frentes de onda nos meios 1 e 2 e AA' o comprimento de onda 1 e BB' o comprimento de onda 2, portanto:

$$AA' = \lambda_1 \text{ e } BB' = \lambda_2$$

Equação 4 - Comprimento de onda na refração da Luz

Para os senos dos triângulos retângulos teremos:

$$\text{sen } \theta_1 = \frac{AA'}{A'B} \text{ e } \text{sen } \theta_2 = \frac{BB'}{A'B}$$

Equação 5 - Seno dos triângulos retângulos

Permutando os extremos:

$$A'B = \frac{AA'}{\text{sen } \theta_1} \text{ e } A'B = \frac{BB'}{\text{sen } \theta_2}$$

Equação 6 - permutando os extremos

Igualando os termos.

$$\frac{AA'}{\text{sen } \theta_1} = \frac{BB'}{\text{sen } \theta_2}$$

Equação 7 - Igualando os termos

Substituindo os comprimentos de onda:

$$\frac{\lambda_1}{\text{sen } \theta_1} = \frac{\lambda_2}{\text{sen } \theta_2}$$

Equação 8 - Substituindo o comprimento de onda

Substituindo a equação 1, teremos:

$$\frac{v_1 \cdot \Delta t}{\text{sen } \theta_1} = \frac{v_2 \cdot \Delta t}{\text{sen } \theta_2}$$

Equação 9 - Substituindo a equação 1 na equação 8

E utilizando o índice de refração.

$$n = \frac{c}{v}$$

Equação 10 - Índice de refração

Portanto:

$$n_1 \cdot \text{sen } \theta_1 = n_2 \cdot \text{sen } \theta_2$$

Equação 11 - Lei da refração da Luz

(HALLIDAY, Vol. 4, 8ª ED. P.78)

3.1.2 – Equações de Maxwell

Na época de Newton, Hooke e Huygens acreditava-se que a luz era uma onda mecânica, foi a partir dos trabalhos de Michael Faraday, no séc. XIX, que James Clerk Maxwell unificou os fenômenos elétricos e magnéticos da época provando que a luz é uma onda eletromagnética, formando conexões entre esses fenômenos e formando um dos mais sólidos trabalhos na física. De fato, as equações de Maxwell formam um conjunto de quatro equações que são a base do eletromagnetismo. Trata-se da lei de Gauss para o campo elétrico, lei de Gauss do magnetismo, lei de Faraday e lei de Ampère-Maxwell, são elas:

- **Lei de Gauss para o campo elétrico:**

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Equação 12 - Lei de Gauss para o campo elétrico

A Lei de Gauss nos diz que o fluxo do campo elétrico \vec{E} , através de uma superfície fechada S, é igual a $1/\epsilon_0$ da carga no interior dessa superfície, onde:

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} N^{-1}m^{-2}C^2$$

Constante 1 - Permissividade elétrica no vácuo

- **Lei de Gauss do Magnetismo:**

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

Equação 13 - Lei de Gauss do Magnetismo

A lei de Gauss para o campo magnético \vec{B} nos diz que atualmente não foram encontrados monopolos magnéticos na natureza, devido ao fluxo ser nulo em uma superfície fechada para campos magnéticos.

- **Lei de Ampère:**

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 I$$

Equação 14 - Lei de Ampère

A lei de Ampère nos diz que a circulação do campo magnético através de uma linha fechada C qualquer, está relacionada com a corrente elétrica I e a constante μ_0 , onde:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Ns^2C^{-2}$$

Constante 2 - Permeabilidade magnética no vácuo

- **Lei de Faraday**

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Equação 15 - Lei de Faraday

A lei de Faraday nos diz que a circulação do campo elétrico por uma linha fechada C qualquer, está relacionada com a variação do fluxo do campo magnético em um determinado tempo em uma superfície S. Nos quais os vetores \vec{E} e \vec{B} são o campo elétrico e magnético respectivamente e caracterizam o campo eletromagnético definido pela força de Lorentz.

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B},$$

Equação 16 - Força de Lorentz

Onde q é a carga elétrica e \vec{v} a velocidade desta carga q imersa em um campo eletromagnético.

Observe que as quatro equações de Maxwell acima estão na forma integral, podemos reescrevê-las na forma diferencial.

- **Lei de Gauss para o campo elétrico na forma diferencial:**

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

Equação 17 - Lei de Gauss na forma diferencial

Nesta forma descrita, a interpretação é que a divergência do campo elétrico é devido a uma densidade de carga.

- **Lei de Gauss do magnetismo na forma diferencial:**

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Equação 18 - Lei de Gauss do magnetismo na forma diferencial

O campo magnético não tem divergência.

- **Lei de Ampère na forma diferencial:**

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J},$$

Equação 19 - Lei de Ampère na forma diferencial

O rotacional do campo magnético é gerado por \vec{J} que é a densidade de corrente ou corrente elétrica por unidade de área transversal, que é dada por:

$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{A}$$

Equação 20 - Densidade de corrente elétrica

Por outro lado, Maxwell percebeu que a lei de Ampère não era compatível com a conservação de carga elétrica no caso geral, aplicando o operador divergência na equação 19, temos que:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{B}) = \nabla \cdot \mu_0 \vec{J} \Rightarrow \nabla \cdot (\nabla \times \vec{B}) = \mu_0 \nabla \cdot \vec{J}$$

Como pelas regras do cálculo vetorial temos que:

$$\nabla \cdot (\nabla \times \vec{f}) = 0$$

Portanto:

$$0 = \mu_0 \nabla \cdot \vec{J} \Rightarrow \nabla \cdot \vec{J} = 0$$

Equação 21 - Divergente da densidade de cargas nula

A equação (21) nos diz que as cargas livres não variam no tempo, porém em geral, as cargas livres variam com o tempo, portanto esta equação estava incompleta, Maxwell fez uma correção, onde a densidade de carga varia com o tempo, definida como:

$$\nabla \cdot \vec{J} = -\frac{d\rho}{dt}$$

Equação 22 - Divergente da densidade de cargas variando no tempo

onde ρ é a densidade volumétrica de cargas elétricas. Da equação de Gauss para o campo elétrico temos:

$$\rho = \epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E}$$

Equação 23 - Equação de Poisson

Portanto teremos:

$$\frac{d\rho}{dt} = \epsilon_0 \frac{d}{dt} \nabla \cdot \vec{E} \quad \Rightarrow \quad \frac{d\rho}{dt} = \frac{d}{dt} (\epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E})$$

Obtemos então a equação de continuidade que é escrita como:

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{d\rho}{dt} = 0$$

Equação 24 - Equação de continuidade (1)

Podemos reescrevê-la como:

$$\nabla \cdot \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right) = 0$$

Equação 25 - Equação de continuidade (2)

Portanto não poderemos utilizar a equação (21) e sim a equação (25), assim a equação (19) deve ser reescrita como:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right)$$

Finalmente obtemos que:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

Equação 26 - Lei de Ampère - Maxwell

- **Lei de Faraday na forma diferencial:**

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$$

Equação 27 - Lei de Faraday na forma diferencial

O rotacional do campo elétrico é gerado por uma variação temporal do campo magnético.

Reunindo as equações de Maxwell com o fator de correção na lei de Ampère temos:

$$(I) \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

$$(II) \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

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

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

Equação 28 - Equações de Maxwell no vácuo

3.1.3 – Equação de ondas

Considerando as equações de Maxwell no vácuo, em uma região onde não há cargas elétricas nem correntes elétricas, temos:

$$(I) \quad \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt}$$

Equação 29 - Lei de Ampère - Maxwell (sem cargas elétricas)

$$(II) \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

Equação 30 - Lei de Faraday (sem cargas elétricas)

$$(III) \quad \nabla \cdot \vec{E} = 0$$

Equação 31 - Lei de Gauss (sem cargas elétricas)

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

Equação 32 – Lei de Gauss do Magnetismo (sem cargas elétricas)

Aplicando o operador rotacional na equação (30), temos:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{E} = \nabla \times \left(-\frac{d\vec{B}}{dt} \right) \Rightarrow \nabla \times \nabla \times \vec{E} = -\frac{d}{dt}(\nabla \times \vec{B})$$

Usando a identidade:

$$\nabla \times \nabla \times \vec{f} = \nabla(\nabla \cdot \vec{f}) - \nabla^2 \vec{f}$$

Equação 33 - Identidade (1)

Teremos:

$$\nabla(\nabla \cdot \vec{E}) - \nabla^2 \vec{E} = -\frac{d}{dt}(\nabla \times \vec{B})$$

Utilizando as equações (29) e (31), ficaremos com:

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0$$

Equação 34 - Equação de campo elétrico

Aplicando o mesmo procedimento na equação (29) teremos:

$$\nabla^2 \vec{B} - \mu_0 \epsilon_0 \frac{d^2 \vec{B}}{dt^2} = 0$$

Equação 35 - Equação de campo magnético

Vemos que essas duas últimas equações (34) e (35), têm a mesma forma que a equação de ondas, definidas como:

$$\nabla^2 \vec{f} - \frac{1}{v^2} \frac{d^2 \vec{f}}{dt^2} = 0,$$

Equação 36 - Equação de ondas unidimensional

onde \vec{f} é uma função vetorial de comportamento ondulatório e v é a velocidade de propagação da onda. Como as equações (34) e (35) são equações de onda, portanto tanto o campo elétrico como o campo magnético satisfazem as equações de onda. E a velocidade da onda no campo eletromagnético é:

$$\frac{1}{v^2} = \mu_0 \epsilon_0$$

$$v = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

Equação 37 - Velocidade de propagação de uma onda eletromagnética

Sendo que seu valor é:

$$v = 2,99792 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Constante 3 - Velocidade da luz no vácuo

Que é o valor da velocidade da luz no vácuo!

De fato, na época de Maxwell, o valor da velocidade da luz (c) era conhecido por observações astronômicas.

“A velocidade das ondas transversais em nosso meio hipotético, calculado a partir dos experimentos eletromagnéticos dos Srs. Kohirausch e Weber, concorda tão exatamente com a velocidade da luz, calculada pelos experimentos óticos do Sr. Fizeau, que é difícil de evitar a inferência de que a luz consiste nas ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos”. Ou seja, a luz é uma onda eletromagnética!

[Nussenzveig 2008]

A luz visível para o ser humano, está em um pequeno intervalo das ondas eletromagnéticas, como podemos verificar na figura abaixo.

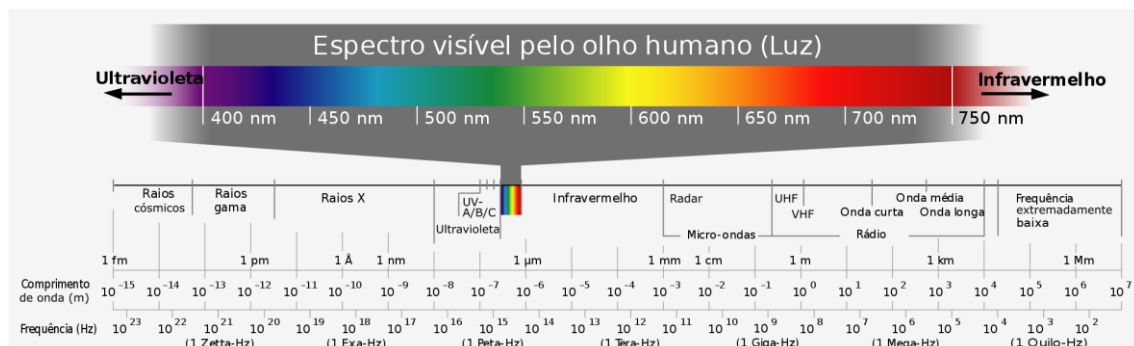


Figura 23 – Espectro eletromagnético

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/Electromagnetic_spectrum_-pt.svg/2000px-Electromagnetic_spectrum_-pt.svg.png>

3.1.4 – Polarização da Luz

A luz é uma onda transversal, prova disto é a polarização da luz que não ocorre em ondas longitudinais. As ondas eletromagnéticas, como a luz, possuem campos elétricos e magnéticos perpendiculares, e o que define a polarização desta onda é o eixo ao qual o campo elétrico oscila.

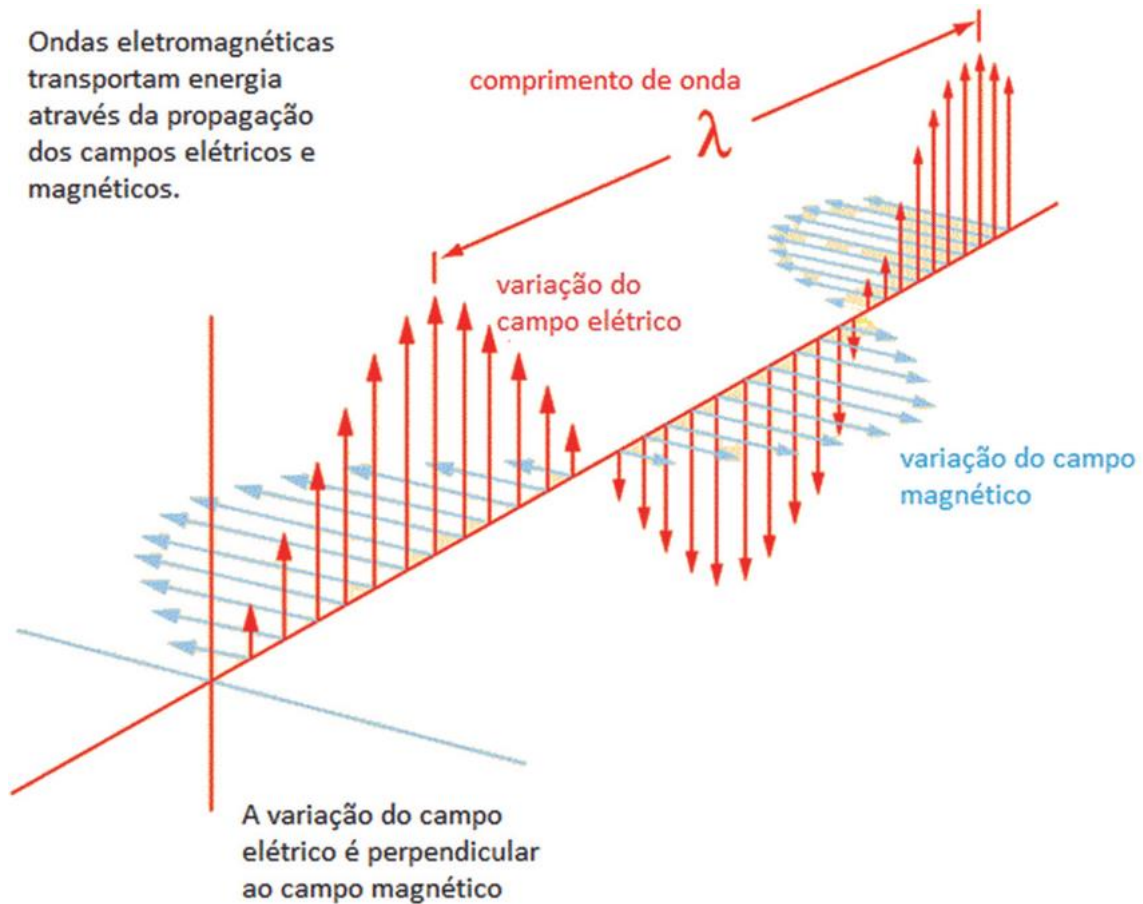


Figura 24 - Luz Polarizada verticalmente

Na figura 24 a polarização é vertical, pois neste plano oscila o campo elétrico, portanto o plano que contém o campo elétrico é o plano de polarização da onda. Assim se representarmos a onda da figura 24 com uma vista frontal teríamos:

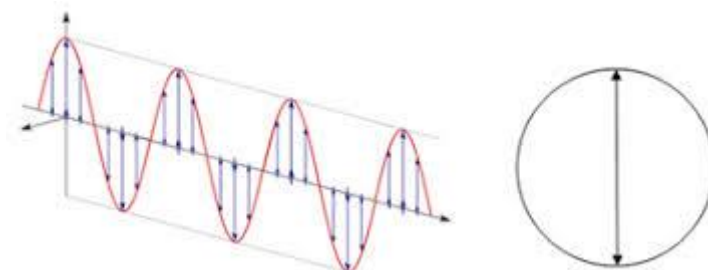


Figura 25 - Luz Polarizada vista frontal

As ondas eletromagnéticas emitidas por uma fonte de luz como o Sol, são ondas polarizadas aleatoriamente ou não polarizadas, isso significa que o campo elétrico muda a sua direção aleatoriamente com o tempo, embora seja perpendicular a direção propagação da onda.



Figura 26 - Luz não polarizada

É possível polarizar uma luz não polarizada, atravessando esta luz por um filtro polarizador.

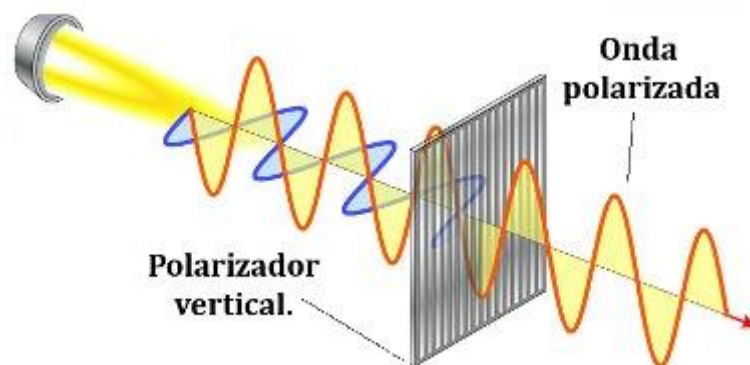


Figura 27 - Polarização da Luz

Esses filtros polarizadores, conhecidos como filtros polaroid, foram inventados em 1932 por Edwin Land, um filtro polarizador é uma folha plástica que contém moléculas longas, durante o processo de fabricação a folha é esticada, o que faz com que as moléculas se alinhem, quando a luz passa pela folha as componentes paralelas do campo elétrico conseguem atravessar, mas as componentes perpendiculares são absorvidas e desaparecem.

“A componente do campo elétrico paralela à direção de polarização é transmitida por um filtro polarizador; a componente perpendicular é absorvida.”

[Halliday, 2009]

3.1.5 – Lei de Malus

Quando uma luz não polarizada atravessa um polarizador a intensidade luminosa se reduz à metade.

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

Equação 38 - Regra da metade

Esta equação é conhecida como regra da metade, que só é válida se uma luz não polarizada incide em um polarizador. Ao passar por um segundo polarizador, este chamado de analisador, com eixo de polarização fazendo um ângulo θ , com o primeiro polarizador, este chamado somente de polarizador, a intensidade luminosa é dada pela lei de Malus.

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

Equação 39 - Lei de Malus

Esta equação é válida para luz polarizada incidindo em um polarizador, onde I é a intensidade da luz transmitida e I_0 , a intensidade da luz polarizada neste polarizador.

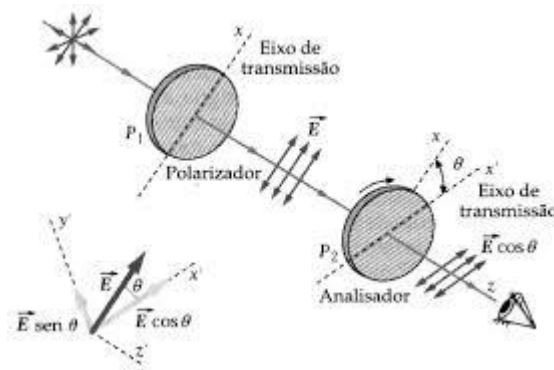


Figura 28 - Lei de Malus

3.1.6 – Difração da Luz

Segundo a lei da propagação retilínea da luz da óptica geométrica, ao atravessar uma fenda estreita a luz teria o formato desta fenda em um anteparo, porém quando a luz atravessa uma fenda estreita esta luz é desviada, percebe-se então um espalhamento da luz. Este fenômeno é chamado de difração da luz, o qual contribui para a explicação de que a luz é uma onda como mencionado anteriormente. De fato, quanto maior o comprimento de onda da luz em relação as dimensões desta fenda, maior será o desvio da luz, portanto teremos maior difração da luz. Para percebermos a difração da luz, o comprimento de onda da luz deve ter dimensões comparáveis as dimensões da fenda. Já para fenda com dimensões muito superiores ao comprimento de onda da luz não perceberemos a difração da luz. Esta difração pode ocorrer com qualquer tipo de onda e não somente com a luz.

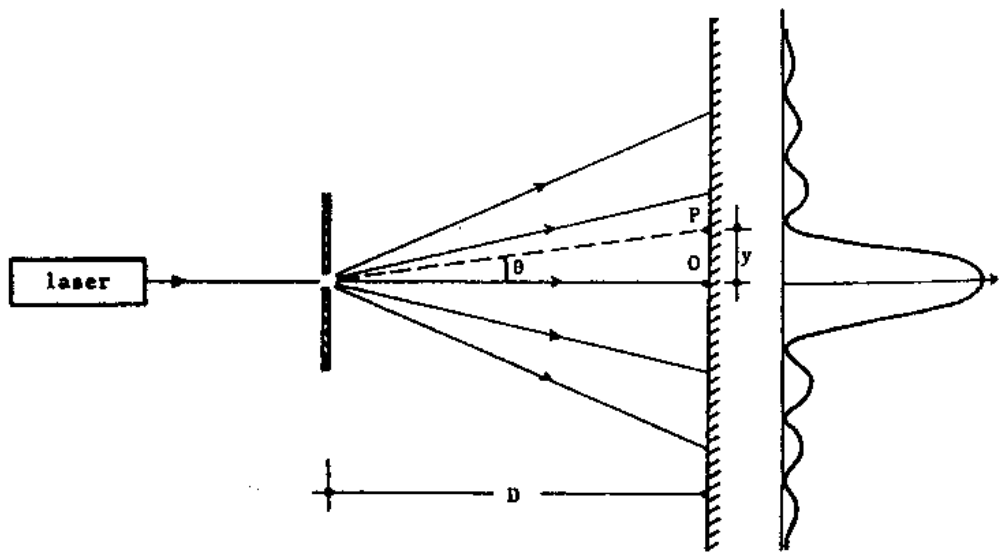


Figura 29 - Difração da luz

Quanto mais estreita a abertura, na esperança de reduzir o feixe de luz, ocorre, de fato, o inverso, um maior alargamento do feixe de luz causado pela difração.

3.1.7 – O Experimento de Young

Em 1801, Thomas Young provou experimentalmente que a luz é uma onda, demonstrando que ocorre interferência da luz em um experimento de fendas duplas, como as ondas do mar.

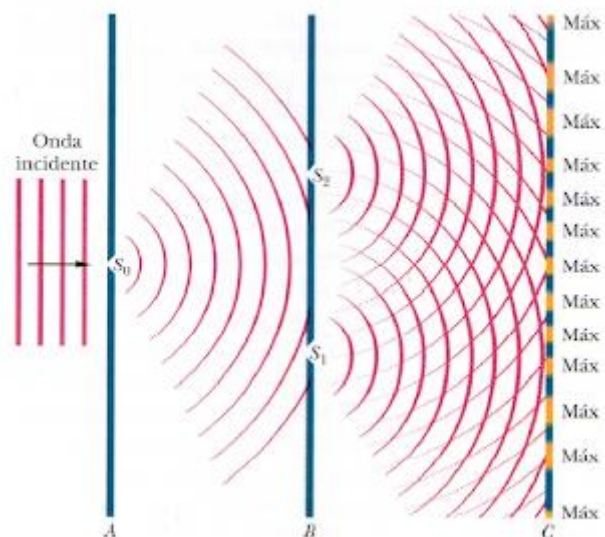


Figura 30 - Experimento de Young

No Anteparo C da figura temos padrões de interferência com pontos de máxima e mínima luminosidade, correspondendo a interferências construtivas e destrutivas respectivamente. Portanto, temos um padrão de franjas claras, que são as partes iluminadas, geradas pelas interferências construtivas, e as franjas escuras onde não possui luminosidade, onde temos interferência destrutiva. Essa interferência é calculada através da diferença do deslocamento da luz (ΔL) de cada fonte, esse é o deslocamento que a luz percorre desde o ponto onde existe uma fenda (S_1 ou S_2) até o ponto em questão no anteparo C. Caso a diferença do deslocamento da luz seja um múltiplo inteiro do comprimento de onda da luz teremos interferência construtiva, portanto máxima luminosidade, pois existirá ondas de luz em concordância de fase neste ponto no anteparo C. Caso a diferença do deslocamento da luz seja um múltiplo ímpar da metade do comprimento de onda da luz teremos interferência destrutiva, portanto não possui luminosidade, pois existirá ondas de luz em oposição de fase neste ponto no anteparo C.



Figura 31 – Franjas

Na sequência vemos como ocorre a interferência construtiva, onde temos franjas claras e interferência destrutiva, onde temos franjas escuras (figura 31).

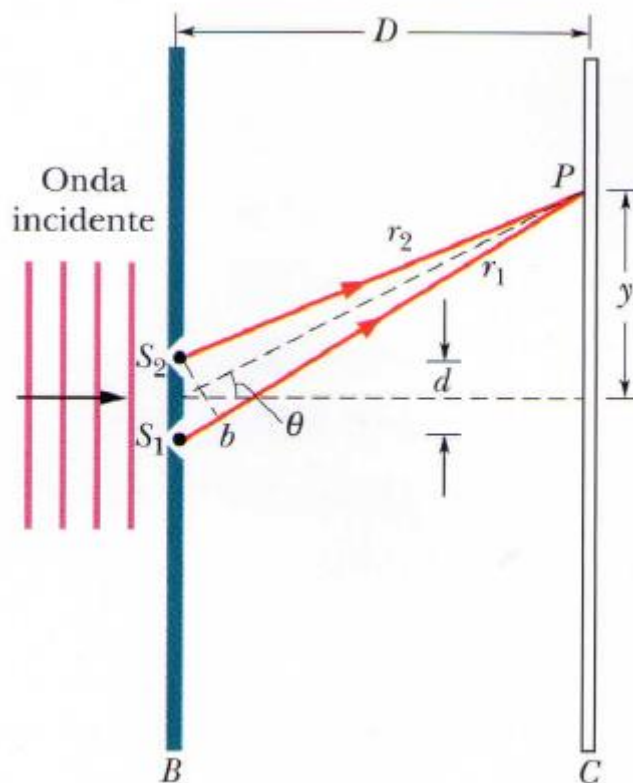


Figura 32 - Interferência

Considerando que a distância entre as fendas e o anteparo seja muito maior que a distância entre as fendas, podemos supor que os raios r_1 e r_2 são aproximadamente paralelos e fazem o mesmo ângulo θ com o eixo central, e que o triângulo formado pelos vértices S_1 , S_2 e b é retângulo, temos:

$$\Delta L = d \cdot \text{sen}\theta$$

Equação 40 - Diferença entre as distâncias percorrida

No caso de uma franja clara ΔL deve ser zero, ou um valor inteiro do comprimento de onda, portanto:

$$d \cdot \text{sen}\theta = m \cdot \lambda \quad \text{para } m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Equação 41 - Franjas claras

No caso de uma franja escura ΔL deve ser múltiplo de meio comprimento de onda, portanto:

$$d \cdot \text{sen}\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad \text{para } m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Equação 42 - Franjas escuras

3.2 – Teoria corpuscular da luz

A teoria corpuscular da luz tem como teoria que a luz é formada por partículas, porém, como vimos anteriormente, a teoria ondulatória da luz de Huygens foi mais aceita pelo meio científico no séc. XVII, todavia, a teoria corpuscular da luz reaparece com bases sólidas devido a mecânica quântica no séc. XIX.

3.2.1 – Teoria corpuscular da luz de Newton

A teoria corpuscular da luz apareceu no século XVII, quando o físico Isaac Newton propôs de forma implícita e com argumentos físicos, usando seus experimentos como base, que a natureza física da luz era material, ou seja, a luz consistia em um fluxo de partículas microscópicas propagadas por fontes luminosas, pois a luz se propaga em linha reta, e isto não podia ser explicado pela teoria ondulatória. Newton provou que a cor branca na verdade é formada por várias cores, o seu experimento com um prisma provou esta teoria, onde a luz branca ao incidir em um prisma triangular, era separada em várias cores, vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta, esse fenômeno é conhecido como dispersão da luz branca, onde as cores diferentes eram oriundas de partículas diferentes, portanto as cores monocromáticas não poderiam se dispersar. Cada cor sofre um desvio diferente ao incidir no prisma ou emergir dele, apesar da velocidade de cada cor no ar ser a mesma no interior do prisma cada cor possui velocidade diferente, isso era o que causaria os desvios diferentes ocasionando a dispersão da luz branca, o violeta possui maior desvio enquanto o vermelho o menor desvio, assim o violeta é mais refringente que o vermelho. Por esses motivos Newton defendia que a luz tinha característica corpuscular e não ondulatório, pois ele não fazia hipóteses, elaborava experimentos que pudessem ser reproduzidos para fazer observações e realizar medidas para determinar a natureza da luz.

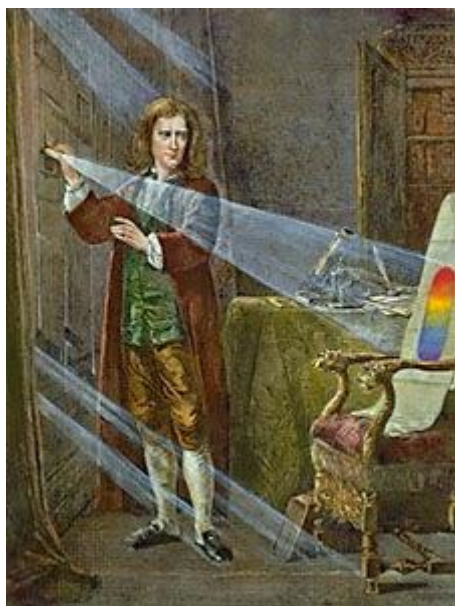


Figura 33 – Prisma de Newton

<http://www.biografiaisaacnewton.com.br/2013/12/Experimentos-de-Isaac-Newton-estudos-com-a-Optica.html>

3.2.2 – Átomo

Os primeiros que imaginaram a existência dos átomos foram os filósofos gregos Leucipo e Demócrito em, aproximadamente, 450 a.C. Nesse modelo, tudo seria formado por minúsculas partículas indivisíveis. Daí a origem do nome “átomo”, que vem do grego a (não) e tomo (partes). Em 1803, Dalton retomou as ideias de Leucipo e Demócrito e propôs que a matéria é formada por átomos, que são partículas minúsculas, maciças, esféricas e indivisíveis. Todos os átomos seriam assim, diferenciando-se somente pela massa, tamanho e propriedades para formar elementos químicos diferentes. Conhecido como modelo bola de bilhar. J. J. Thomson descobriu através de experimentos, que existiam partículas negativas que compunham a matéria. Isso significava que o modelo de Dalton estava errado porque o átomo seria divisível, tendo em vista que ele teria partículas ainda menores negativas chamadas de elétrons. Visto que o átomo é neutro, cargas positivas também deveriam existir. Assim, para J. J. Thomson em 1898, o átomo é constituído de uma partícula esférica de carga positiva, não maciça, incrustada de elétrons (negativos), de modo que sua carga

elétrica total é nula. O modelo atômico de Thomson parecia com um pudim ou bolo de passas.

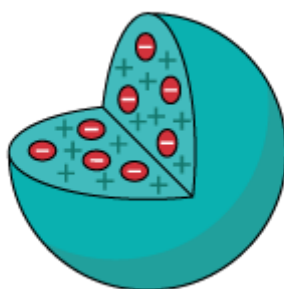


Figura 34 - Átomo de Thomson (Pudim de Passas)

Em 1911, Ernest Rutherford realizou um experimento e baseado nos resultados desse experimento, Rutherford percebeu que, na verdade, o átomo não seria maciço como propôs os modelos de Dalton e Thomson. Para Rutherford o átomo é formado por duas regiões: o núcleo e a eletrosfera. O núcleo é denso e tem carga positiva, ou seja, é constituído de prótons. A eletrosfera é uma grande região vazia onde os elétrons ficam orbitando ao redor do núcleo.

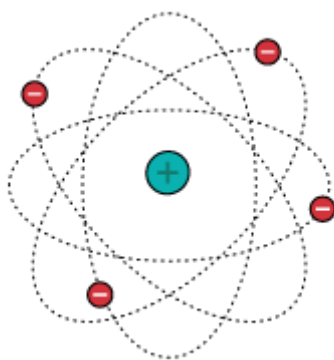


Figura 35 - Átomo de Rutherford

Em 1913, o cientista Niels Bohr propôs um modelo que se baseou no de Rutherford, apenas o aprimorando. Entre seus principais postulados: Os elétrons movem-se em órbitas circulares, e cada órbita apresenta uma energia bem definida e constante (nível de energia) para cada elétron de um átomo.

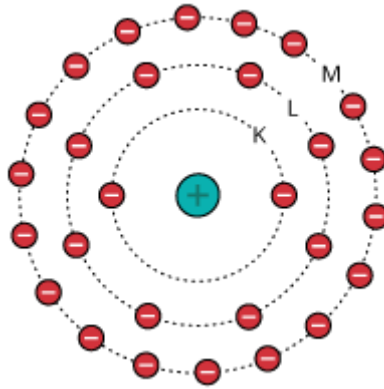


Figura 36 - Átomo de Bohr

Erwin Schrödinger, em 1926, lançou as bases da Mecânica Quântica Ondulatória, apresentando um novo modelo atômico. Nele, os elétrons passam a ser partículas-onda, e há alguns princípios que mudam completamente a ideia de que os elétrons são “bolinhas” em movimento rápido, girando em torno do núcleo.

Princípios do modelo atômico atual:

- Princípio da dualidade.
- Princípio da incerteza.
- Princípio do orbital.
- Princípio da exclusão.
- Princípio da máxima multiplicidade.

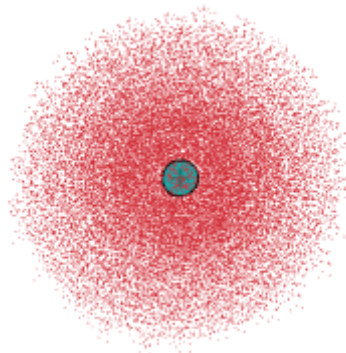


Figura 37 - Átomo de Schrodinger

3.2.3 – A Hipótese de Planck

Em dezembro de 1900, Max Planck apresentou numa reunião da sociedade alemã de Física que a troca de energia na radiação térmica deveria ser “quantizada”.

Um oscilador de frequência f só poderia emitir ou absorver energia em múltiplos inteiros de um “quantum de energia”

[Nussenzveig 2008]

Essa energia é dada por:

$$E = h \cdot f$$

Equação 43 - Energia quantizada

onde h é uma nova constante, a constante de Planck, e tem valor:

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

Constante 4 - Constante de Planck

E f a frequência do oscilador.

3.2.4 – O Efeito Fotoelétrico

Em 1905 Einstein propôs que a radiação eletromagnética é quantizada, (ou, simplesmente, a luz) onde o fóton é o quantum de luz [Halliday 2009] e a energia associada a esse fóton é:

$$E = h \cdot f$$

Equação 44 – Energia de um fóton

onde f é a frequência do fóton (luz).

Quando iluminamos uma superfície de um metal com um raio luminoso de comprimento de onda suficientemente pequeno, a luz faz com que elétrons livres sejam emitidos pelo metal, esse fenômeno chamamos de efeito fotoelétrico e só pode ser explicado considerando a luz (fóton) como partícula.

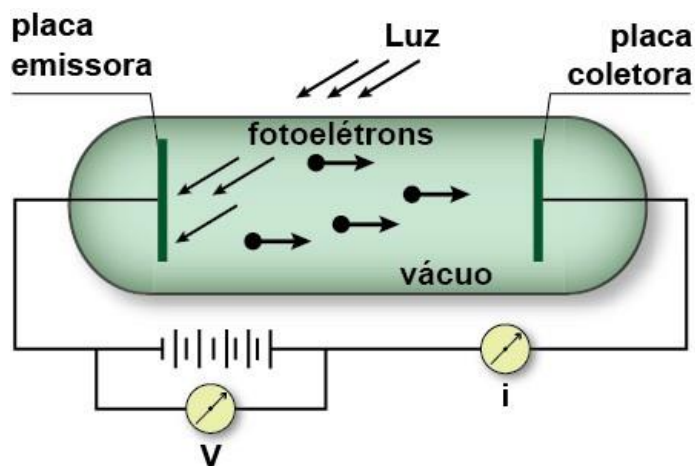


Figura 38 - Efeito fotoelétrico

Para frear um elétron de energia cinética T , com energia cinética dada por:

$$T = \frac{1}{2} m_e \cdot v_m^2 = eV_f$$

Equação 45 - Energia cinética do elétron

onde m_e é a massa do elétron deve-se aplicar uma diferença de potencial V_f tal que:

$$T = eV_f$$

Equação 46 - DDP retardadora

Logo o potencial de freamento deve estar com direção de movimento perpendicular ao catodo e com energia cinética máxima:

$$T = \frac{1}{2} m_e \cdot v_m^2 = eV_f$$

Equação 47 - Energia cinética máxima

Por conservação de energia, essa energia cinética máxima deve ser a energia fornecida pela luz menos o trabalho necessário para extrair um elétron da superfície do metal contra a força atrativa da carga positiva.

$$\frac{1}{2} m_e \cdot v_m^2 = eV_F = E - W$$

Equação 48 - Energia cinética máxima menos o trabalho

Nas palavras de Einstein, “A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron: vamos supor que é isto que acontece”

[Nussenzveig 2008]

Como a energia de um fóton é dada pela equação 44, teremos:

$$\frac{1}{2} m_e \cdot v_m^2 = eV_F = hf - W$$

Equação 49 - Equação de Einstein no efeito fotoelétrico

3.2.5 – O efeito Compton

Entre 1919 e 1923, Arthur H. Compton, observando o espalhamento de raios X, verificou que a frequência dos raios X espalhados era sempre menor que a frequência dos raios X incidentes.

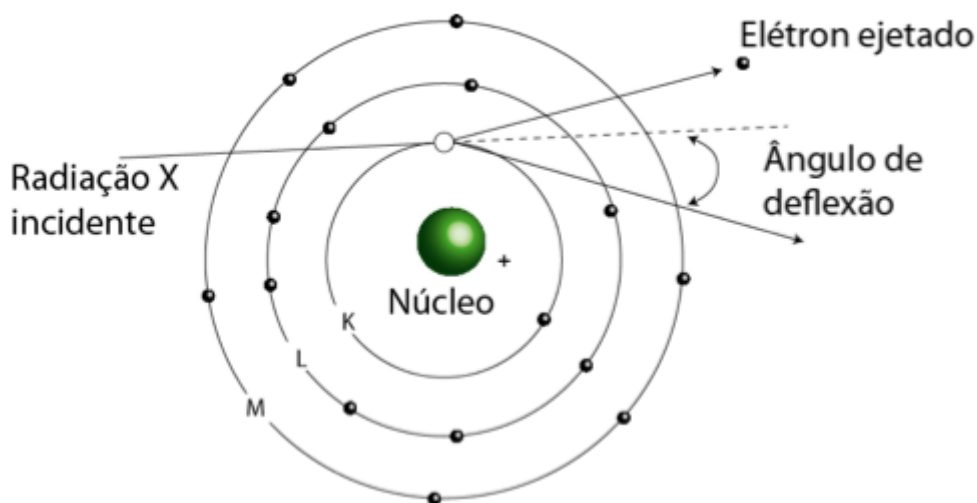


Figura 39 - Efeito Compton

Para explicar esses resultados Compton, utilizou a hipótese de Einstein tratando os raios X como fótons, ou seja, como partículas dadas pela equação de Einstein para energia de um fóton, equação 44. Sendo partículas, os fótons possuem momento, expressa por:

$$p = \frac{E}{c}$$

Equação 50 - Momento de um fóton

Utilizando novamente a equação 44, e a equação fundamental da ondulatória:

$$c = \lambda f$$

Equação 51 - Equação fundamental da ondulatória na luz

Teremos:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Equação 52 - Momento de um fóton em termos do comprimento de onda

Após a colisão o fóton de raio X espalhado tem um ângulo de deflexão em relação a direção do raio X incidente, por conservação de energia temos:

$$hf = hf' + K$$

Equação 53 - Conservação de energia de um fóton de raio X

onde hf é a energia do fóton de raio X incidente e hf' a energia do fóton de raio X espalhado e K a energia cinética do elétron ejetado.

Essa energia cinética do elétron ejetado, com velocidade próxima a velocidade da luz é dada por:

$$K = mc^2(\gamma - 1),$$

Equação 54 - Energia cinética do elétron ejetado

onde γ é o fator de Lorentz, dado por:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

Equação 55 - Fator de Lorentz

A partir das equações 53 e 54, teremos:

$$hf = hf' + mc^2(\gamma - 1)$$

Equação 56 - Conservação de energia do fóton

Utilizando a equação 51, a equação acima ficará como:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} + mc(\gamma - 1)$$

Equação 57 - Conservação de energia do fóton (2)

O módulo do momento do elétron após a interação é definido como sendo o momento relativístico, definido como:

$$p = \gamma mv$$

Equação 58 - Momento do elétron após a interação

Como temos um caso bidimensional, devemos escrever as equações dos momentos separadas nos eixos x e y :

$$\begin{aligned} \frac{h}{\lambda} &= \frac{h}{\lambda'} \cos\phi + \gamma mv \cos\theta && (\text{eixo } x), \\ 0 &= \frac{h}{\lambda'} \sin\phi - \gamma mv \sin\theta && (\text{eixo } y), \end{aligned}$$

Equação 59 - Equação dos momentos ao longo dos eixos x e y

onde ϕ é o ângulo de deflexão e θ o ângulo de direção do elétron ejetado e a direção do raio X incidente.

Desejamos determinar o valor do deslocamento de Compton dos fótons espalhados, definido como:

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$$

Equação 60 - deslocamento de fótons espalhados

O resultado obtido após algumas manipulações matemáticas será:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\phi),$$

Equação 61 - Deslocamento de Compton

onde a razão $\frac{h}{mc}$ é uma constante conhecida como comprimento de onda de Compton, utilizando a massa de repouso do elétron essa constante tem o valor de:

$$\frac{h}{m_0c} \cong 2,426 \times 10^{-12}m = 0,02426 \text{ \AA}$$

Equação 62 - Valor numérico do comprimento de onda de Compton

Portanto o tratamento do efeito Compton em termos de colisão entre duas partículas, o fóton e o elétron, ficou plenamente justificado, sendo um efeito que contribui para o tratamento da luz como partícula.

Capítulo 4 – O experimento

Maxwell, em seus trabalhos concluiu que o olho humano possuía receptores de somente três cores, o vermelho, o verde e o azul, onde todas as cores eram formadas pela união dessas três cores, de acordo com a intensidade de cada cor, teremos a formação das mais variadas cores e tonalidades. Esse sistema ficou conhecido como sistema de cores RGB e veio a partir do trabalho de Thomas Young, onde as cores primárias R (red), G (green) e B (blue) formam todas as outras cores que enxergamos.



Figura 40 – Sistema de cores RGB
<<https://pt.wikipedia.org/wiki/RGB>>

O sistema de cores RGB, é um sistema aditivo, onde a adição de algumas cores resulta em:

Verde + vermelho = amarelo;

Vermelho + azul = magenta;

Azul + verde = ciano;

Vermelho + azul + verde = branco.

Quando a luz incide em um corpo, os fótons de determinado comprimento de onda são absorvidos ou refletidos de acordo com a diferença dos níveis energéticos dos átomos que contém este corpo onde a luz está incidindo. A cor absorvida aumenta a temperatura do corpo e a cor refletida é a que enxergamos. Portanto a luz branca é uma onda eletromagnética policromática, ou seja,

formada por várias cores. Quando uma luz incide em um objeto, a cor refletida por este objeto é a cor que vemos este objeto e a luz absorvida por este objeto não veremos, utilizamos a caixa de cores para demonstrar.

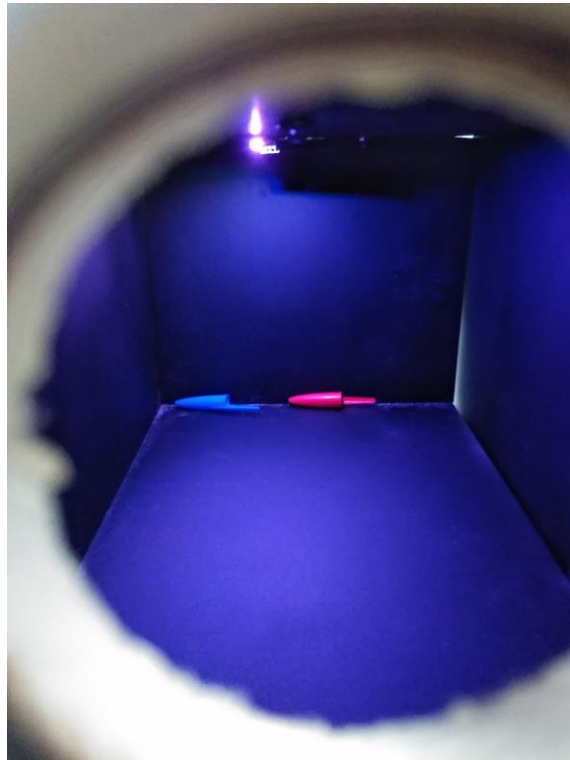


Figura 41 – Tampas de caneta iluminadas pela cor branca

Caso uma luz monocromática incidir em um objeto que absorve esta cor, veremos este objeto preto, e se for um objeto que reflete esta cor, esta será a cor que veremos este objeto.

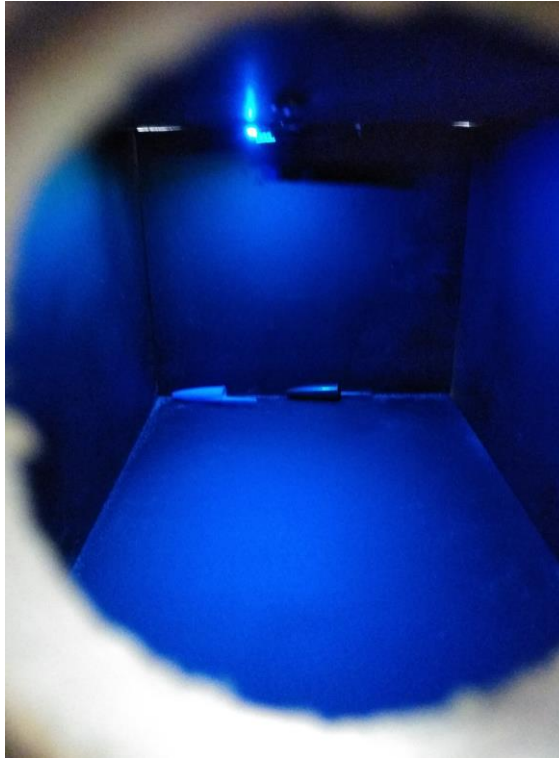


Figura 42 – Tampas de caneta iluminadas pela cor azul

Na figura acima vemos que a tampa azul, reflete a cor azul, ou seja, reflete o comprimento de onda da luz azul, já a tampa vermelha, absorve a luz azul, portanto observamos esta tampa com a cor preta.

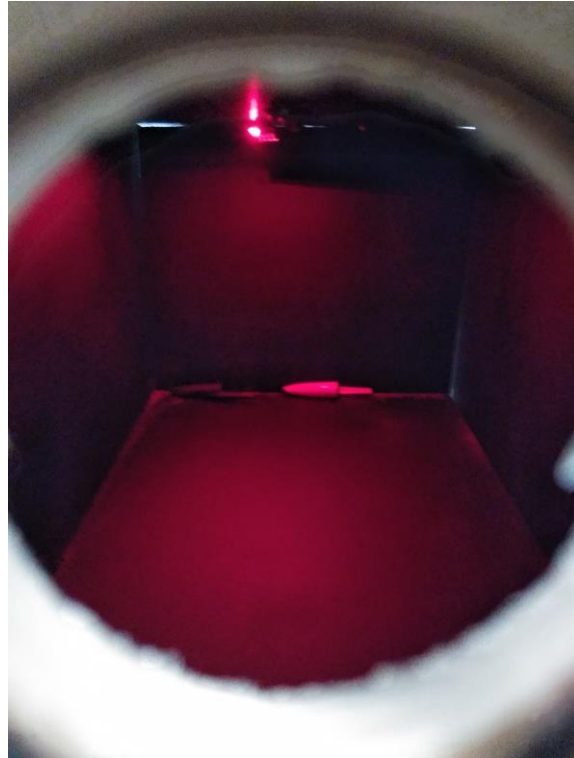


Figura 43 - Tampas de caneta iluminadas pela cor vermelha

Na figura acima vemos que a tampa vermelha, reflete a cor vermelha, ou seja, reflete o comprimento de onda da luz vermelha, já a tampa azul, absorve a luz vermelha, portanto observamos esta tampa com a cor preta.

4.1 – Construção da caixa de cores

Neste capítulo vamos descrever a construção da caixa de cores, esta caixa de cores foi elaborada em madeira, mas sua construção pode ser feita em qualquer caixa, como caixa de sapatos, toner, etc, tornando o seu custo mais baixo e sendo facilmente acessível.

Foi utilizado a plataforma Arduino por ser de fácil aquisição e baixo custo, encontramos em várias lojas físicas e virtuais, sendo, também, a sua montagem fácil. Além disto, podemos reutilizar a placa Arduino, seus componentes e sensores para outros experimentos. De fato, a montagem com interruptores e fios paralelos é de difícil reaproveitamento de suas peças, o que torna o Arduino mais atrativo para estas montagens. O Arduino controla os leds que serão acesos apertando o botão na placa de aprendizagem que por ser uma shield fica conectada ao Arduino.

4.1.1 - Materiais:

- 1 Arduino uno, descrito no item 1.2.1;
- 1 Placa Multifunção, descrita no item 1.4.9;
- 1 Led rgb, descrito no item 1.4.1;
- 4 Cabos de conexão, descrito no item 1.4.5;
- 1 conector de bateria 9V;
- 1 bateria 9V;
- 1 alça de transporte;
- 1 dobradiça pequena;
- Parafusos de madeira de 2,5 cm;
- 3 madeiras mdf 20 x 40 x 1,5 cm, vamos chamar de A;
- 2 madeiras mdf 20 x 20 x 1,5 cm, vamos chamar de B;
- 2 madeiras mdf 20 x 17 x 1,5 cm, vamos chamar de C;
- Tinta spray preta.

4.1.2 – Ferramentas Utilizadas:

- Parafusadeira;
- Furadeira;
- Brocas variadas;
- Chaves de fenda e Philips;
- Serra copo de 3 cm de diâmetro.

4.1.3 – Esquema de Montagem:

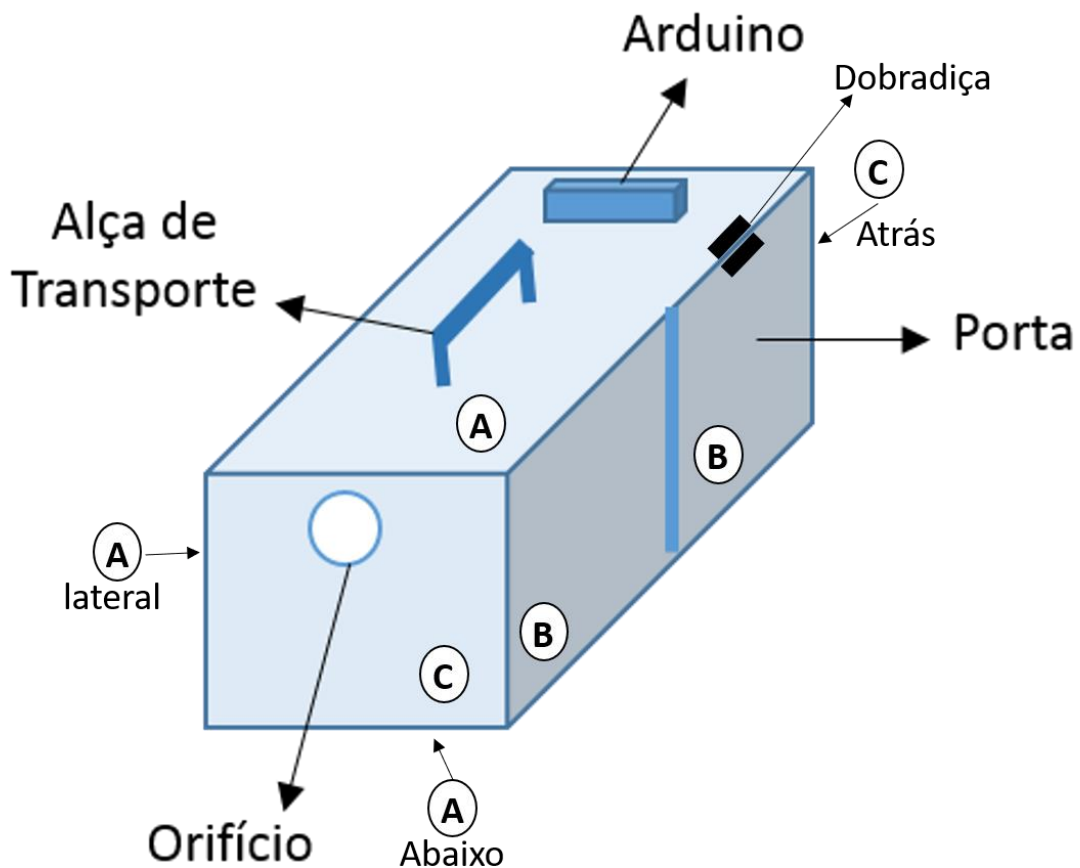


Figura 44 – Esquema de montagem da caixa de cores

Antes de iniciar a montagem foi pintada a parte interna com spray na cor preta. A montagem da caixa de cores é simples, basta ir parafusando a madeira com os parafusos apropriados para madeira. A dobradiça da porta fica acima da

porta pois ela fecha por gravidade. O led RGB é colocado dentro da caixa abaixo de onde está o Arduino com a placa Multifunção, através de um furo feito na madeira ao lado do Arduino, para a passagem dos cabos de conexão. O orifício foi feito com uma serra copo de 3 cm de diâmetro, inclinado na direção do fundo da caixa de cores.

Capítulo 5 – Aplicação do Produto – Aula Prática

O produto caixa de cores foi aplicado para alunos do 7º e 8º anos do ensino fundamental e 1º, 2º e 3º anos do ensino médio, sendo:

- 5 alunos do 7º ano do ensino fundamental;
- 9 alunos do 8º ano do ensino fundamental;
- 7 alunos do 1º ano do ensino médio;
- 13 alunos do 2º ano do ensino médio;
- 7 alunos do 3º ano do ensino médio.

Sendo um total de 41 alunos e o professor em sala de aula. Esta aula foi realizada em um único dia, com todos os alunos juntos na mesma sala de aula, no dia 11 de outubro de 2018, sendo este um colégio da rede privada de ensino do Município do Rio de Janeiro.

Primeiramente os alunos responderam um questionário prévio (Apêndice 1), para analisar os subsunçores do tema, sem qualquer aula ou explicação sobre o tema, os alunos de ensino fundamental não tiveram contato com o tema, já os alunos do ensino médio possuíam determinado conhecimento sobre o assunto. Foram analisados questionamentos sobre a luz. O que é a luz? Quais são as cores monocromáticas e policromáticas? Como enxergamos os objetos? E o fenômeno de união das cores de luz monocromáticas. Este questionário foi realizado para avaliar a aprendizagem ocorrida pela utilização do experimento, posteriormente os alunos retornaram a responder o mesmo questionário (Apêndice 4), chamado agora de avaliação posterior. Portanto tanto o professor quanto os alunos podem avaliar a aprendizagem neste experimento, avaliando se a aprendizagem foi significativa ou mecânica, de acordo com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. No experimento foram separados grupos de 3 a 5 alunos, sendo estes divididos de acordo com a quantidade de caixas de cores disponíveis (10) e para ser possível atribuir tarefas para cada integrante, como manipular o experimento, anotações, leitura do roteiro e ser possível haver discussões durante a realização do experimento. Foi disponibilizado 2 tempos de 50 minutos para a aplicação do produto. As instruções iniciais para conhecer a caixa de cores e manuseá-la foi feita pelo professor. Para iniciar a prática, foi utilizado o complemento do roteiro (Apêndice

3), após os alunos seguirem o roteiro da atividade (Apêndice 2) utilizando os objetos que desejassem, num total de 10 objetos diferentes.



Figura 45 – Alunos realizando o experimento



Figura 46 – Alunos realizando o experimento



Figura 47 - Alunos realizando o experimento



Figura 48 - Alunos realizando o experimento

Como vemos nas fotos a caixa de cores pode ser utilizada em ambientes com grande ou baixa luminosidade, pois foi projetada para não sofrer interferência da iluminação externa.

Capítulo 6 – Análise dos resultados

Neste capítulo iremos analisar as respostas dos alunos aos questionários apresentados antes (Apêndice 1) e posterior (Apêndice 4) a aplicação do produto em sala de aula, as respostas foram livres e sem interferência do professor, as questões foram objetivas com 5 opções cada e os alunos puderam marcar quantas opções julgavam corretas em cada pergunta.

Os questionários tinham como objetivo avaliar a aprendizagem do aluno com esta aula prática, durante a execução do experimento o professor respondeu as dúvidas dos alunos, não sendo realizada uma explicação prévia ou durante o experimento.

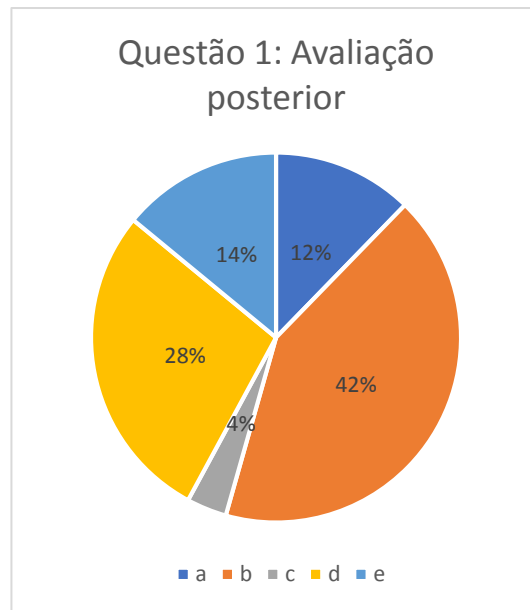
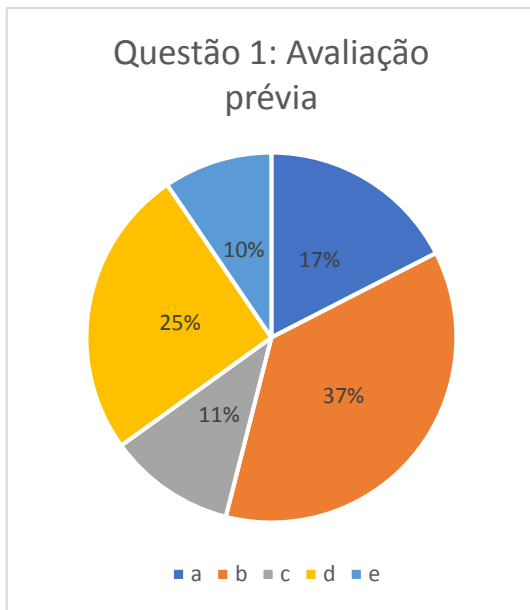
6.1 – Avaliação prévia e posterior geral:

Um gráfico em forma de pizza nos fornece uma melhor visualização dos resultados, comparando a avaliação prévia e a avaliação posterior a realização do experimento.

6.1.1 - Questão 1:

1) A luz é uma:

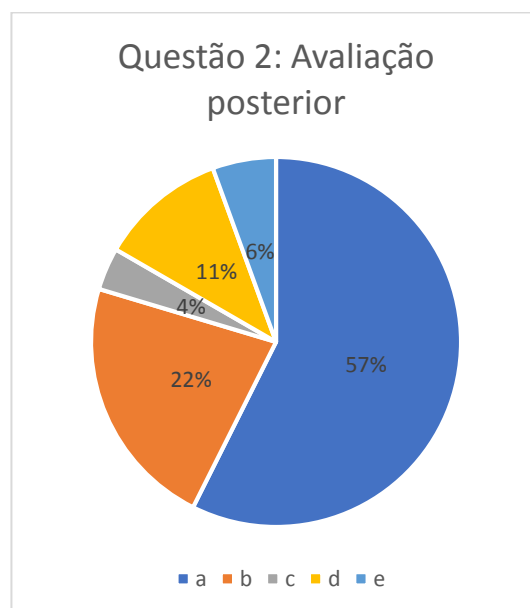
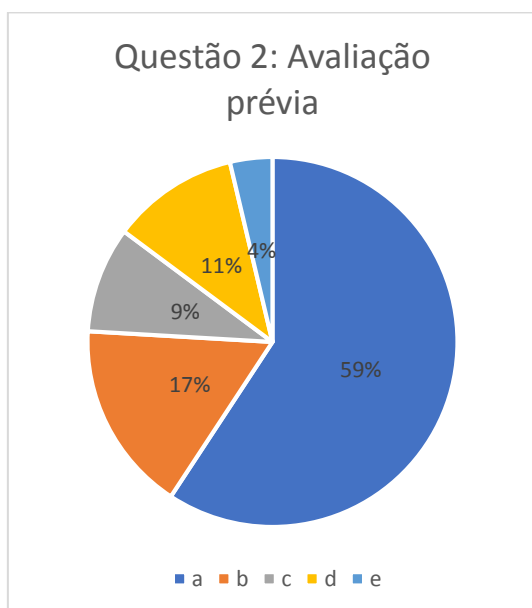
- a) Partícula
- b) Feixe
- c) Onda mecânica
- d) Onda eletromagnética
- e) Cor



6.1.2 - Questão 2:

2) Por que enxergamos os objetos?

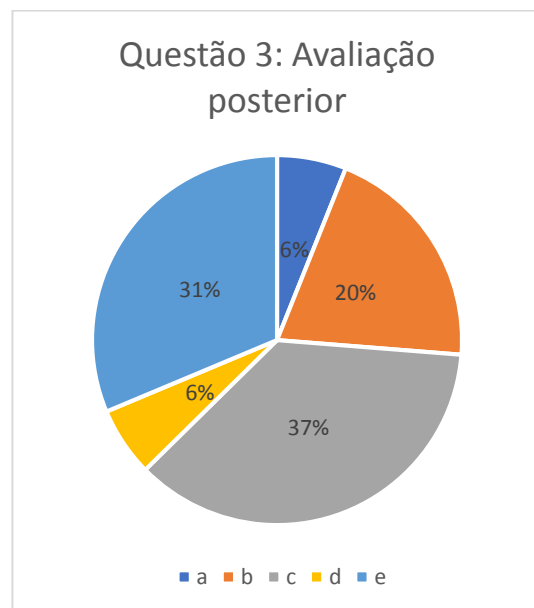
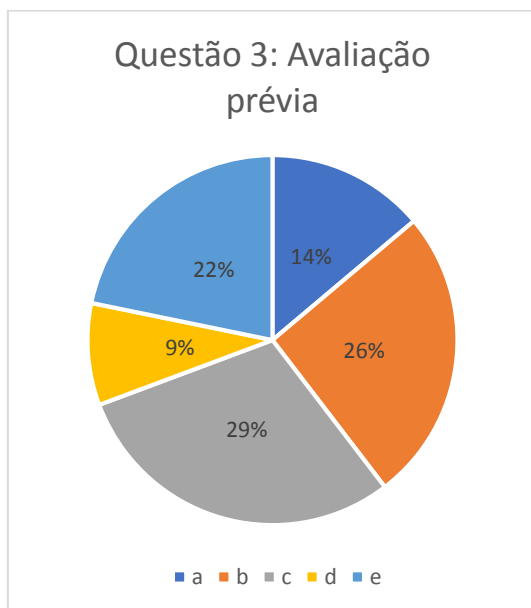
- a) Reflexão da luz nos objetos
- b) Refração da luz nos objetos
- c) Difração da luz nos objetos
- d) Interferência da luz nos objetos
- e) Polarização da luz nos objetos



6.1.3 - Questão 3:

3) Quais são as cores de luz primárias?

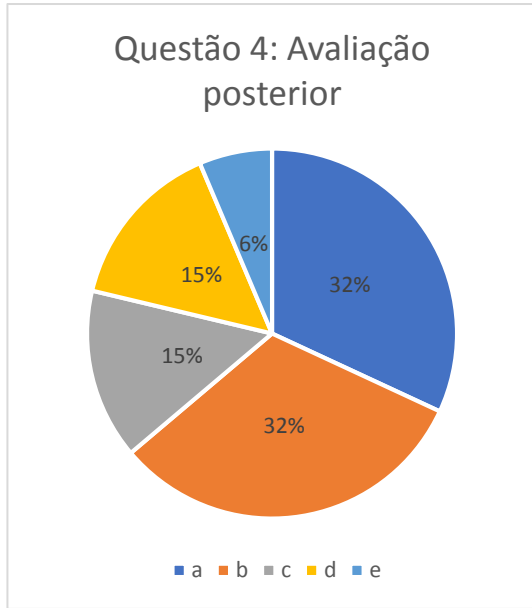
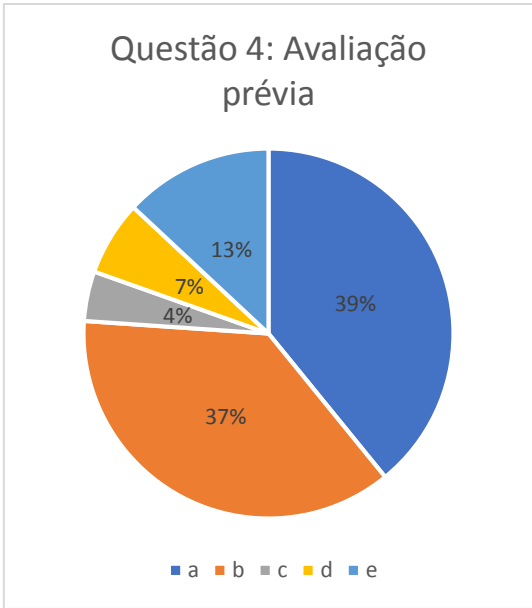
- a) Branco
- b) Amarelo
- c) Azul
- d) Preto
- e) verde



6.1.4 - Questão 4:

4) Qual cor abaixo é policromática?

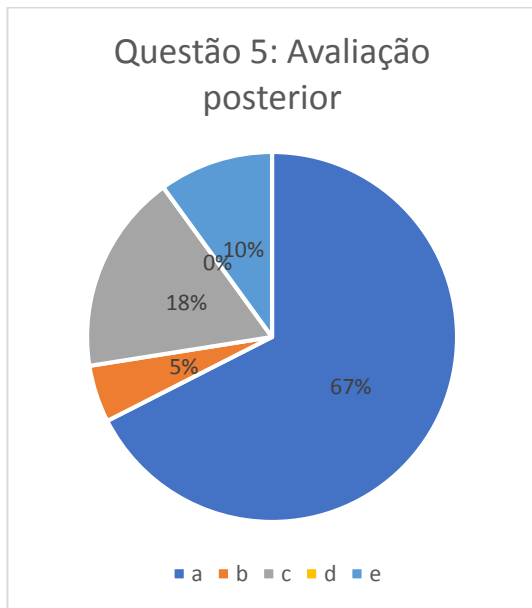
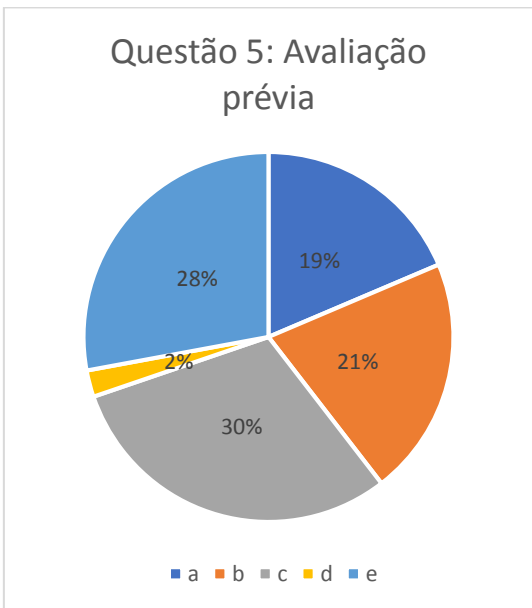
- a) Branco
- b) Preto
- c) Azul
- d) Verde
- e) Vermelho



6.1.5 - Questão 5:

5) A união da luz vermelha com a luz verde nos fornece a luz:

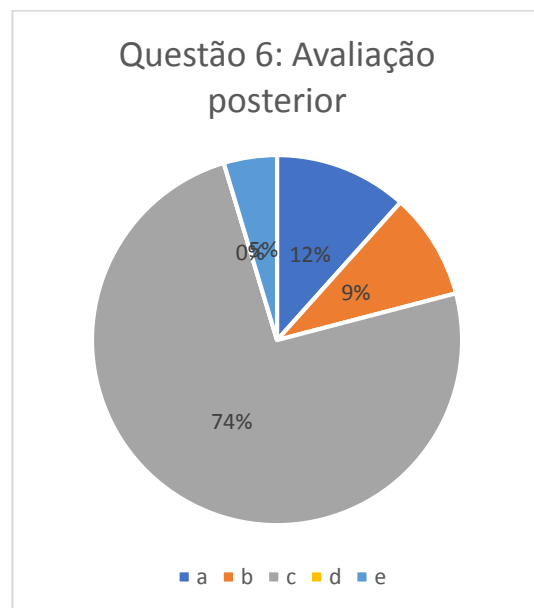
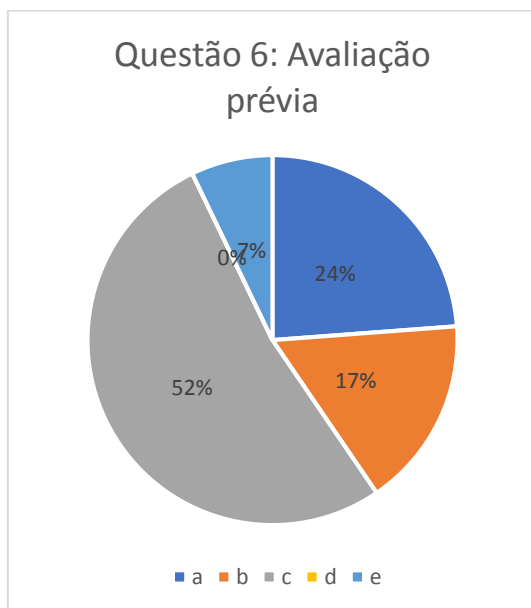
- a) Amarela
- b) Ciano
- c) Magenta
- d) Branca
- e) Azul



6.1.6 - Questão 6:

6) A união da luz vermelha com a luz azul nos fornece a luz:

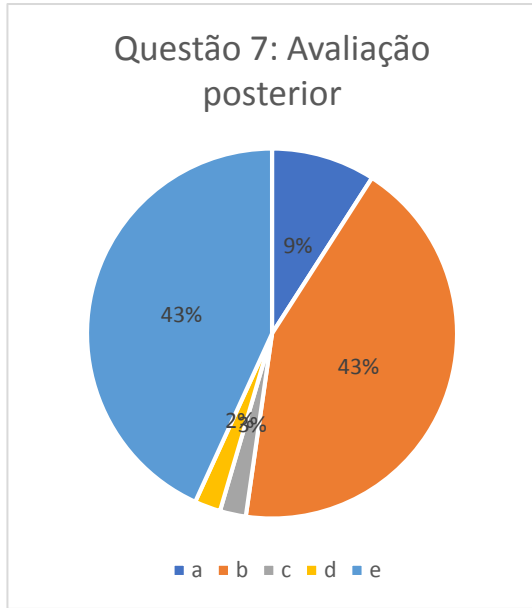
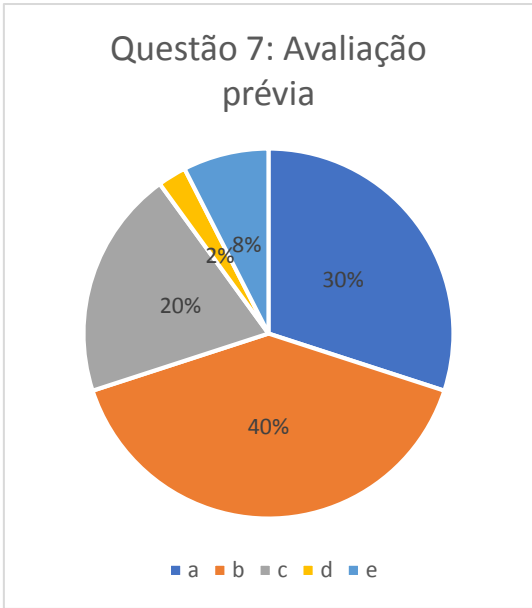
- a) Amarela
- b) Ciano
- c) Magenta
- d) Branca
- e) Azul



6.1.7 - Questão 7:

7) A união da luz verde com a luz azul nos fornece a luz:

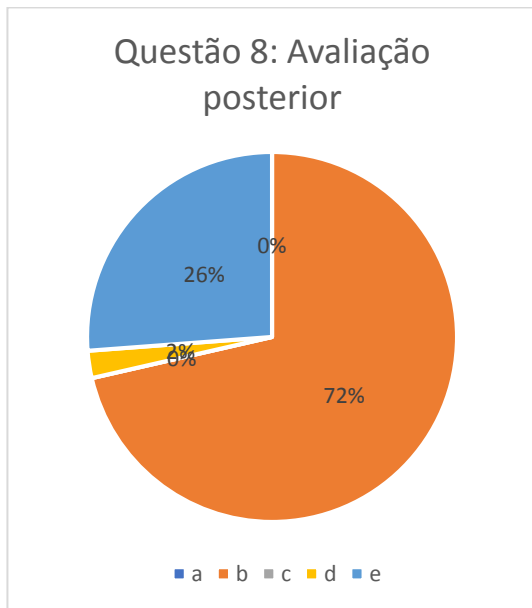
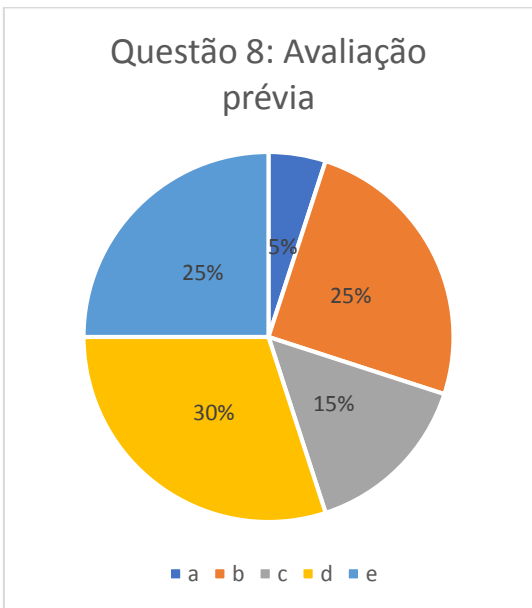
- a) Amarela
- b) Ciano
- c) Magenta
- d) Branca
- e) Azul



6.1.8 - Questão 8:

8) Um objeto azul iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

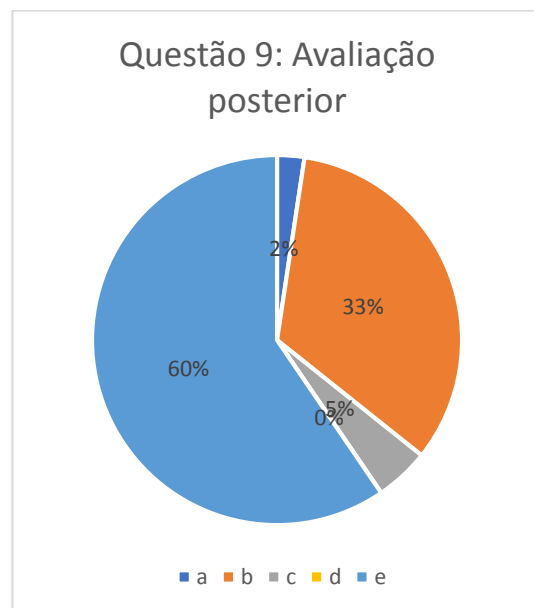
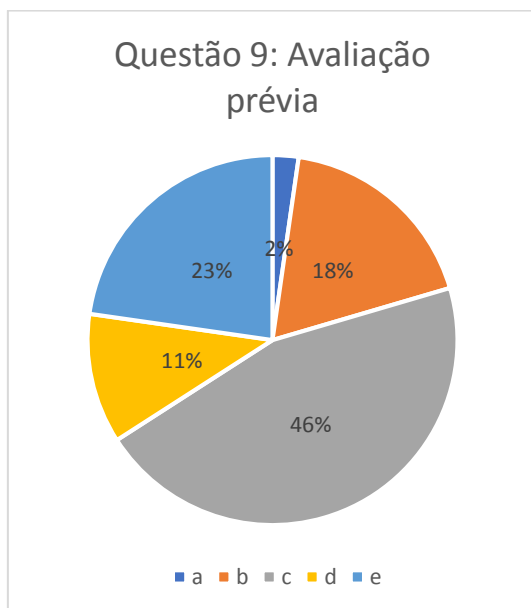
- a) Branco
- b) Preto
- c) Azul
- d) Verde
- e) Vermelho



6.1.9 - Questão 9:

9) Um objeto verde iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

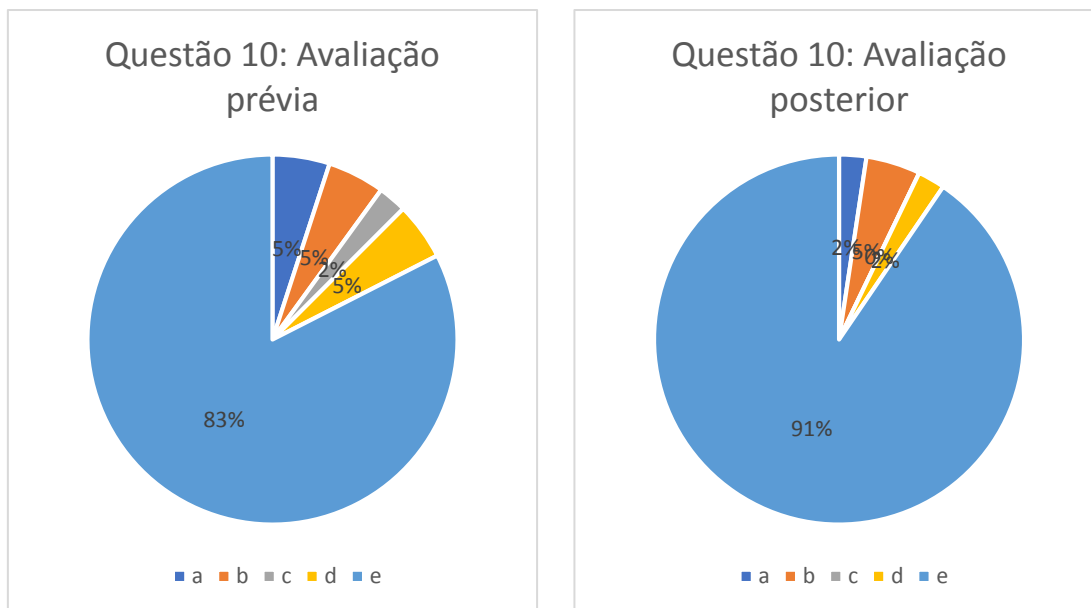
- a) Branco
- b) Preto
- c) Azul
- d) Verde
- e) Vermelho



6.1.10 - Questão 10:

10) Um objeto vermelho iluminado com cor branca, será visto com a cor:

- a) Branco
- b) Preto
- c) Azul
- d) Verde
- e) Vermelho



6.2 – Avaliação geral

Nas questões 1 e 2, serviram como uma avaliação diagnóstica dos subsunçores destes alunos para o experimento, relativo ao conhecimento sobre ondas que é conteúdo do 2º ano do ensino médio regular.

6.2.1 - Questão 1:

Na questão nº 1, o índice foi de 42% de acerto antes da aplicação do experimento e de 40% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão de avaliação diagnóstica **não** demonstrou aprendizagem dos alunos.

6.2.2 – Questão 2:

Na questão nº 2, o índice foi de 59% de acerto antes da aplicação do experimento e de 57% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão de avaliação diagnóstica **não** demonstrou aprendizagem dos alunos. Porém os índices de acerto e a pouca variação entre as taxas das avaliações prévia e posterior comprovam que os alunos possuíam conhecimento sobre esta questão que seria o motivo pelo qual enxergamos os objetos.

Nas questões de 3 a 10 são diretamente relacionadas com o experimento e os efeitos da aprendizagem dos alunos com esta prática em sala de aula.

6.2.3 – Questão 3:

Na questão nº 3, o índice foi de 51% de acerto antes da aplicação do experimento e de 68% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos. Porém havia uma distribuição de resposta mais homogênea dos itens apresentados na avaliação prévia, na avaliação posterior a distribuição de resposta alterou sendo a luz branca e preta com menores índices de resposta para uma cor de luz primária.

6.2.4 – Questão 4:

Na questão nº 4, o índice foi de 39% de acerto antes da aplicação do experimento e de 32% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão **não** demonstrou aprendizagem dos alunos.

6.2.5 – Questão 5:

Na questão nº 5, o índice foi de 19% de acerto antes da aplicação do experimento e de 67% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos, com a formação das cores a partir das cores de luz primárias.

6.2.6 – Questão 6:

Na questão nº 6, o índice foi de 52% de acerto antes da aplicação do experimento e de 74% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou confirmação do conhecimento dos alunos.

6.2.7 – Questão 7:

Na questão nº 7, o índice foi de 40% de acerto antes da aplicação do experimento e de 43% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos. Este fato também se confirma pelo índice de aumento da luz azul de 8% para 43%, pois o ciano é um azul claro e isso confundiu os alunos na percepção desta cor durante o experimento. Reunindo estas duas informações azul + ciano temos que na avaliação prévia o índice de

acerto seria de 48% (40% azul e 8% ciano) e na avaliação posterior o índice foi de 86% (43% azul e 43% ciano).

6.2.8 – Questão 8:

Na questão nº 8, o índice foi de 25% de acerto antes da aplicação do experimento e de 72% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos.

6.2.9 – Questão 9:

Na questão nº 9, o índice foi de 18% de acerto antes da aplicação do experimento e de 33% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos. Houve um aumento das respostas na cor vermelha de 23% na avaliação prévia para 60% na avaliação posterior, isso demonstra que o objeto utilizado não foi adequado para o experimento.

6.2.10 – Questão 10:

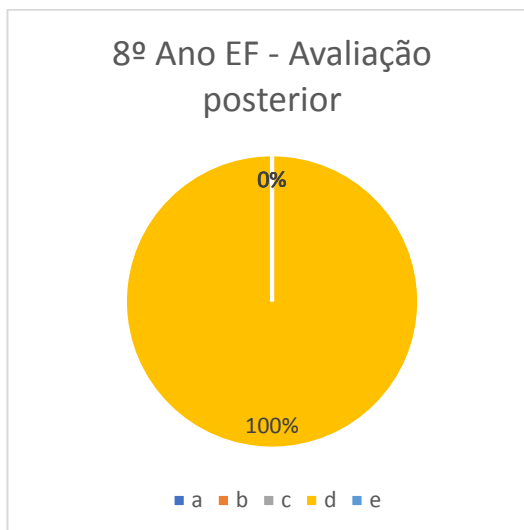
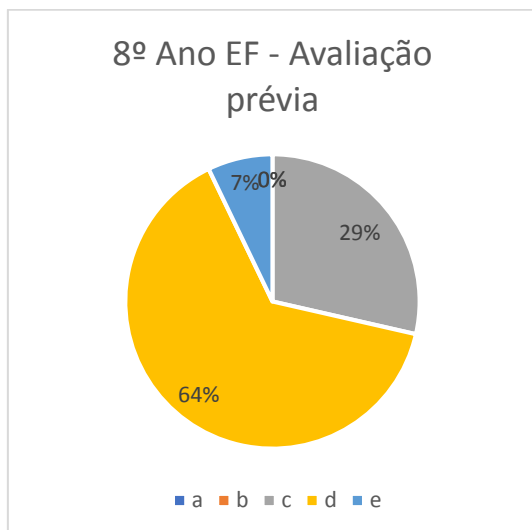
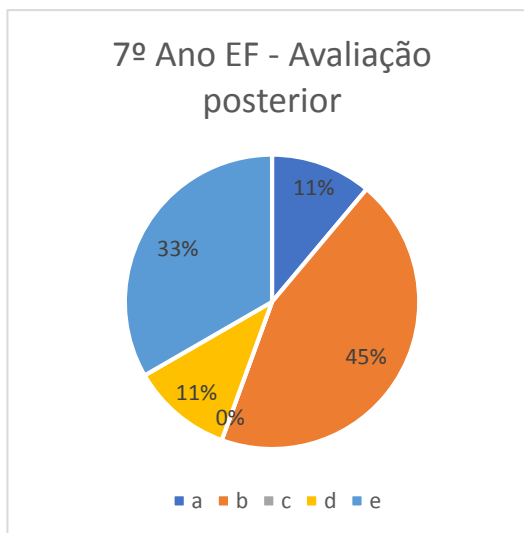
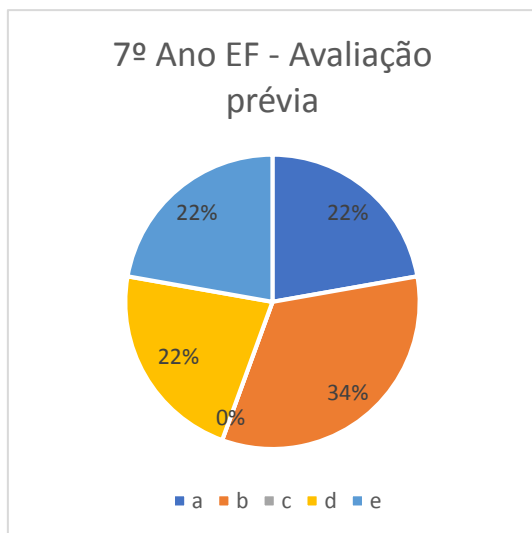
Na questão nº 10, o índice foi de 83% de acerto antes da aplicação do experimento e de 91% de acerto após a aplicação do experimento, esta questão demonstrou aprendizagem dos alunos.

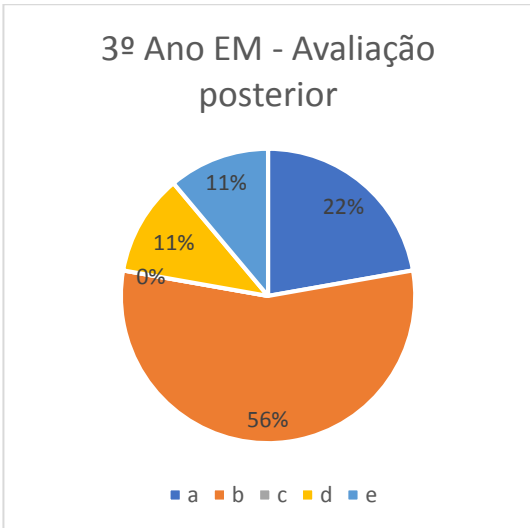
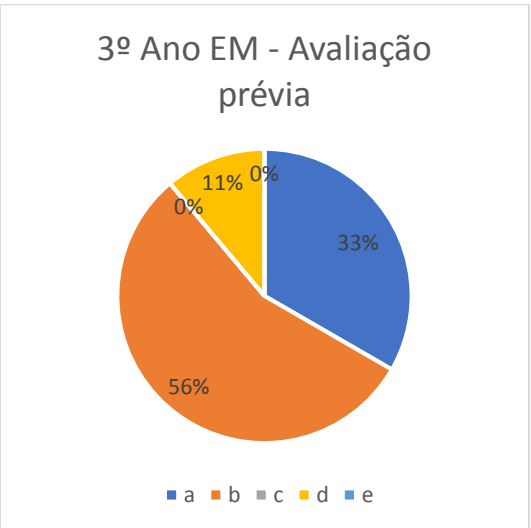
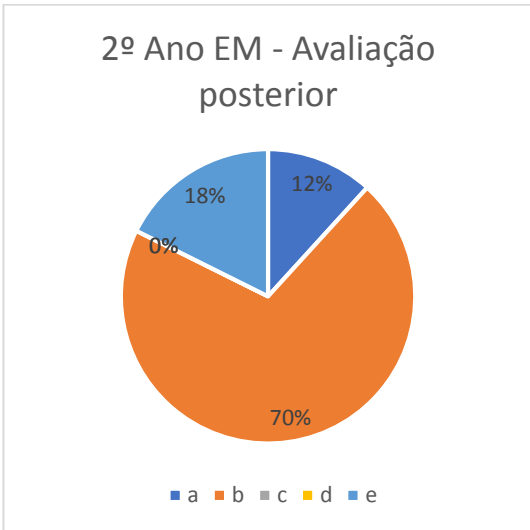
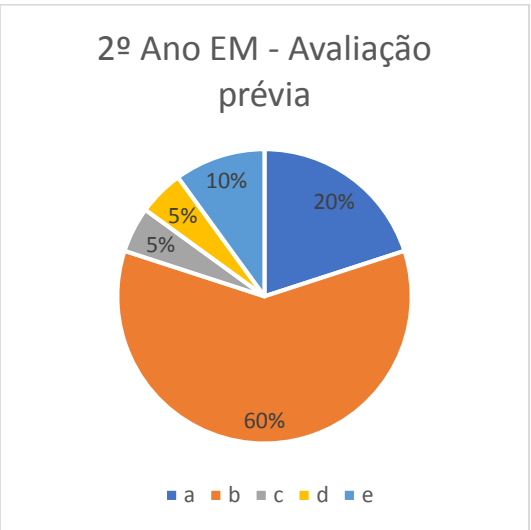
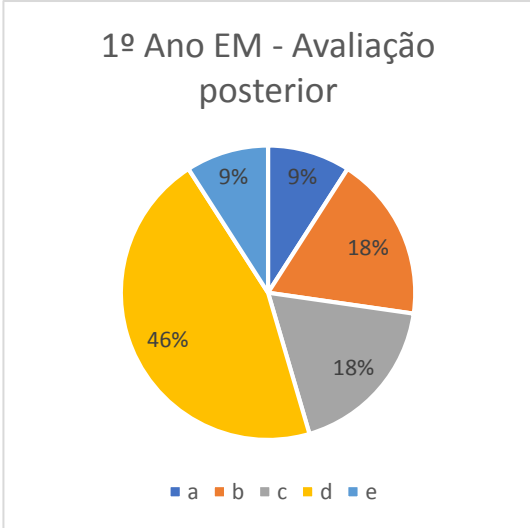
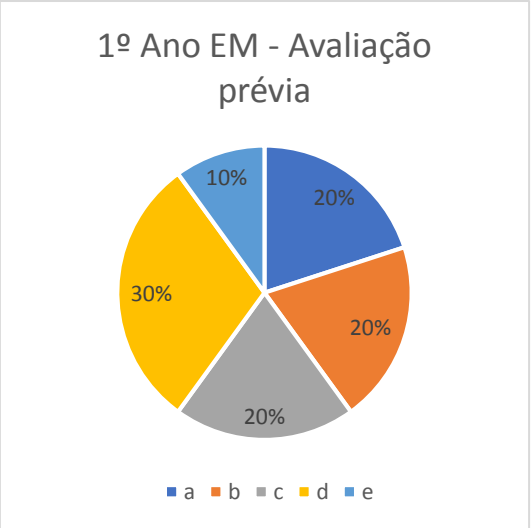
Podemos observar a aprendizagem através dos gráficos mostrados acima, com os resultados do questionário de avaliação posterior, em comparação com os resultados do questionário de avaliação prévia, porém alguns tópicos foram de difícil diagnóstico por se tratar de questões que dependem de grande arcabouço teórico como analisar se a luz é onda ou partícula, mesmo a manifestação neste experimento ser ondulatório, principalmente para alunos do ensino fundamental, uma vez que não tiveram contato com a disciplina de física. Contudo em outros tópicos a aprendizagem foi mais acentuada, como na união de cores primárias para a formação de outras cores e de como vemos os objetos de uma determinada cor iluminada por cores variadas. Para os alunos do ensino médio a aprendizagem não foi acentuada, pois já estudaram as aulas de física sobre este tema. Somente alguns tópicos como a formação de cores a partir de cores primárias obteve maior destaque.

6.3 – Avaliação prévia e posterior por turma:

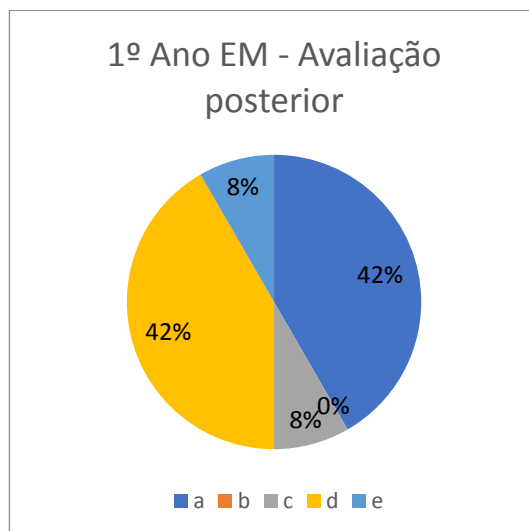
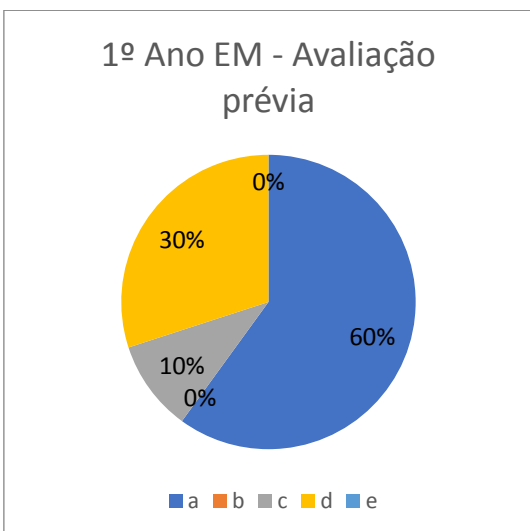
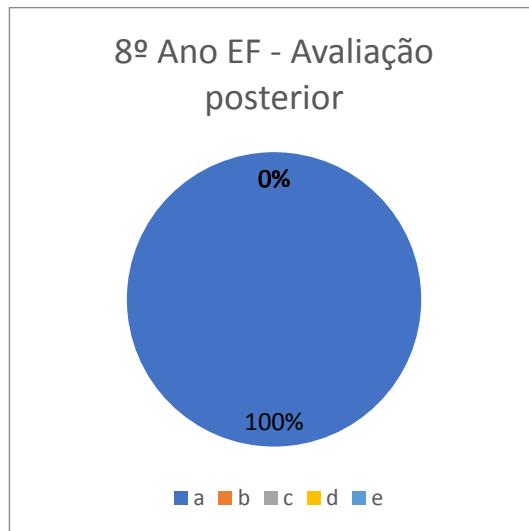
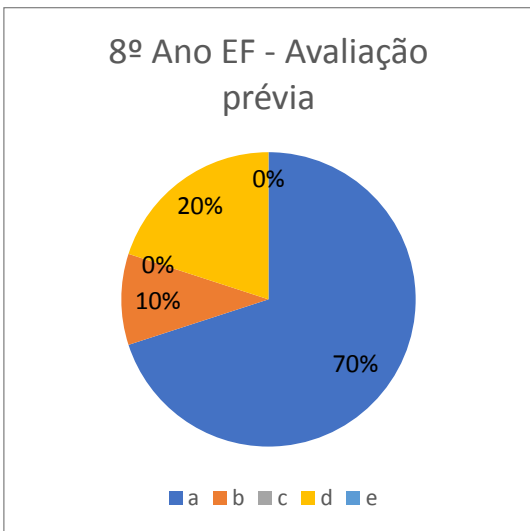
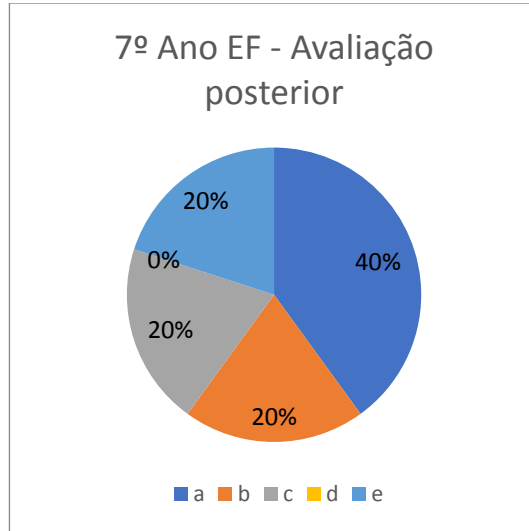
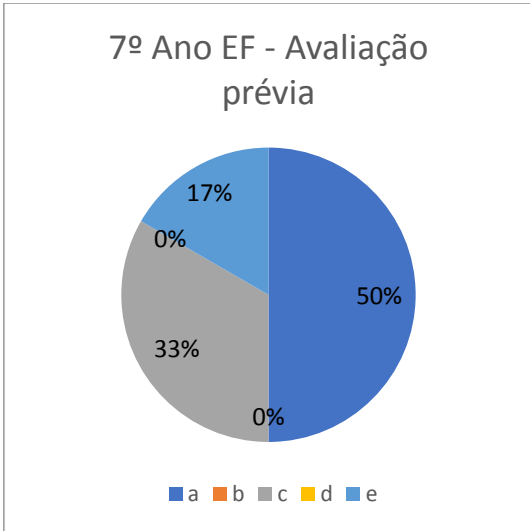
Iremos realizar a mesma análise anterior, porém por turma, assim teremos uma análise mais específica dos dados obtidos.

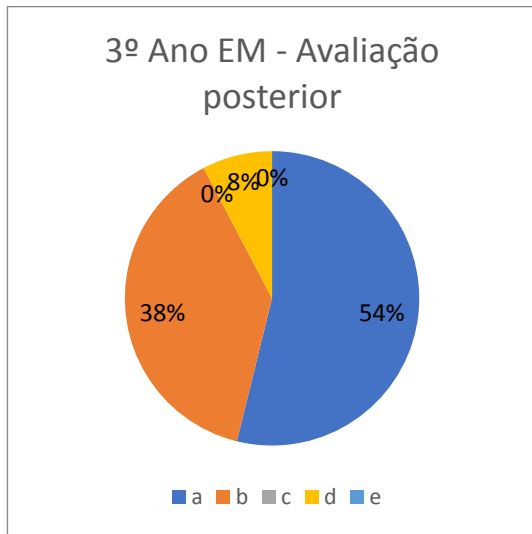
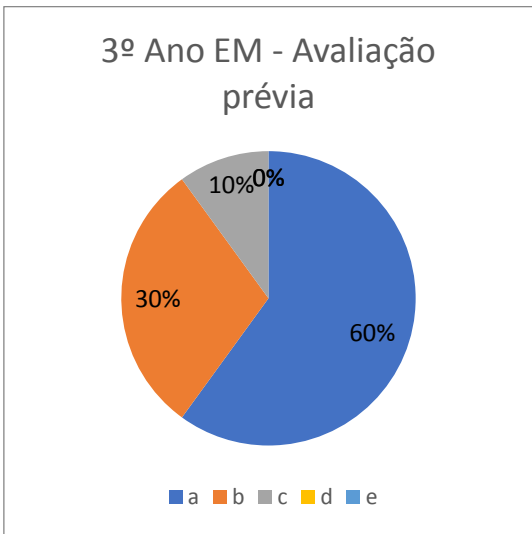
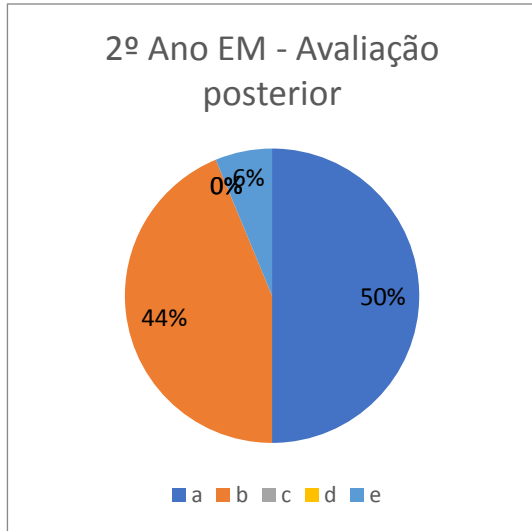
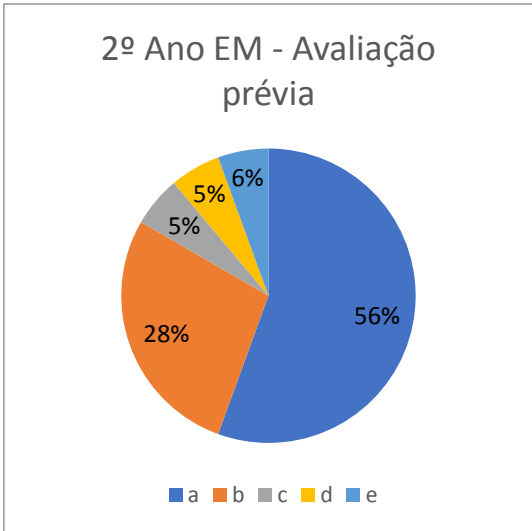
6.3.1 – Questão 1:



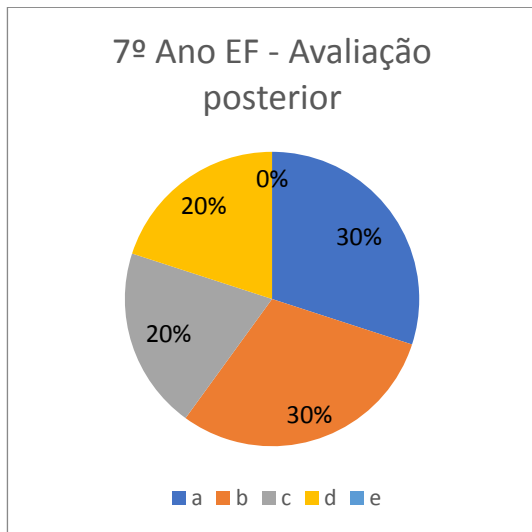
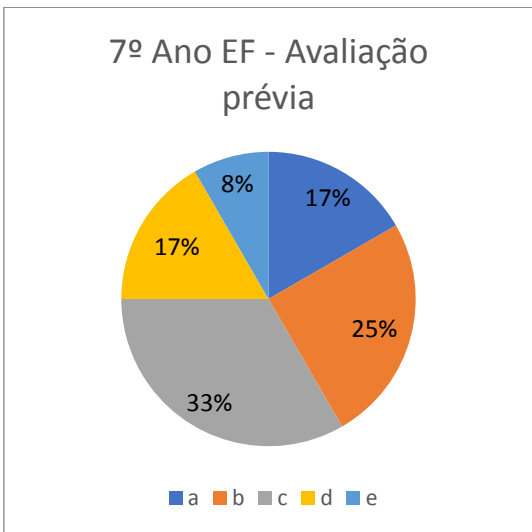


6.3.2 – Questão 2:

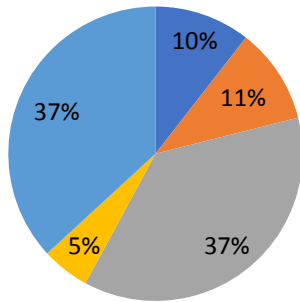




6.3.3 – Questão 3:

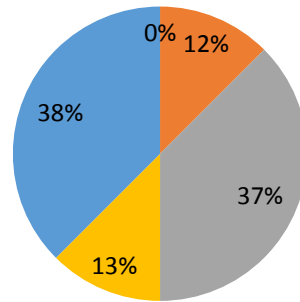


8º Ano EF - Avaliação prévia



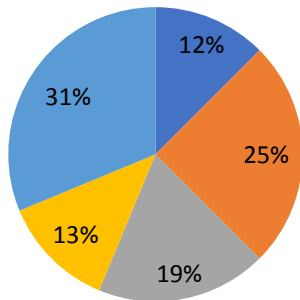
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

8º Ano EF - Avaliação posterior



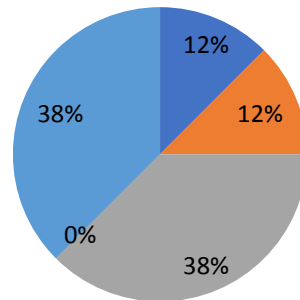
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

1º Ano EM - Avaliação prévia



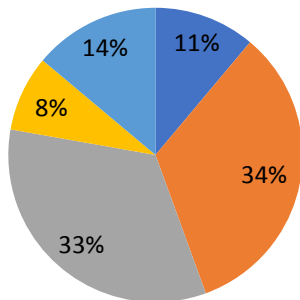
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

1º Ano EM - Avaliação posterior



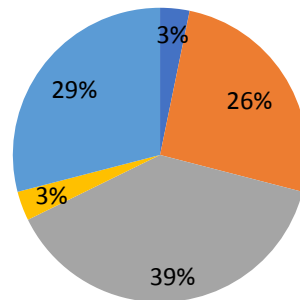
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

2º Ano EM - Avaliação prévia

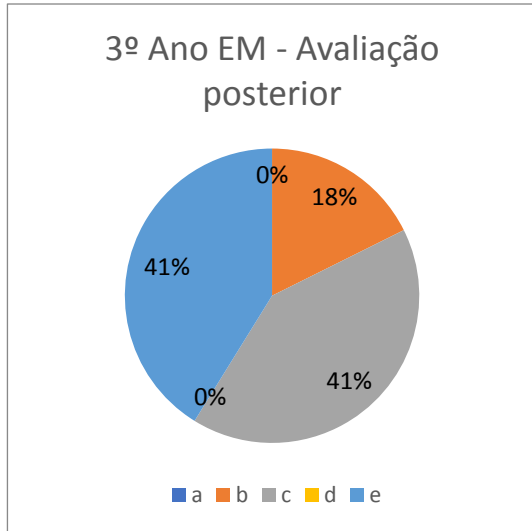
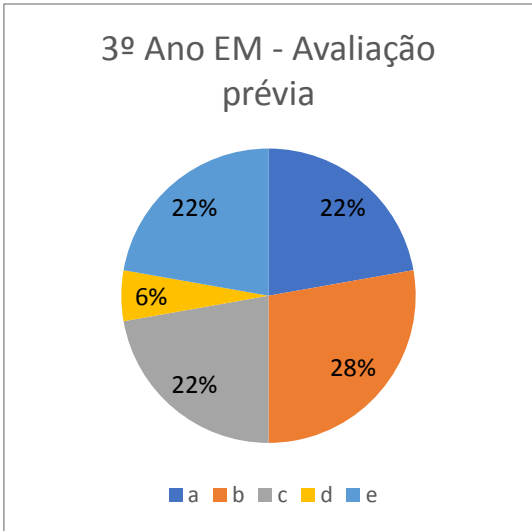


■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

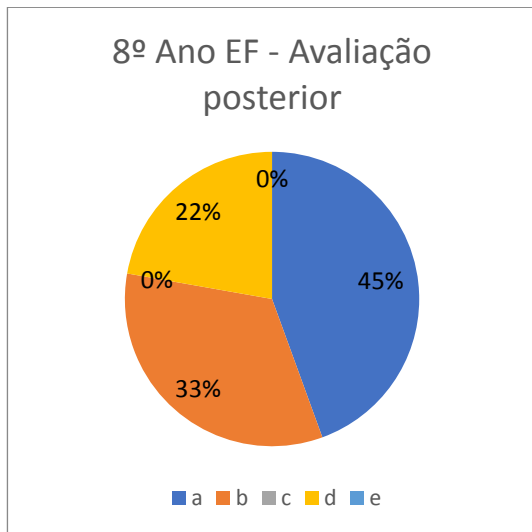
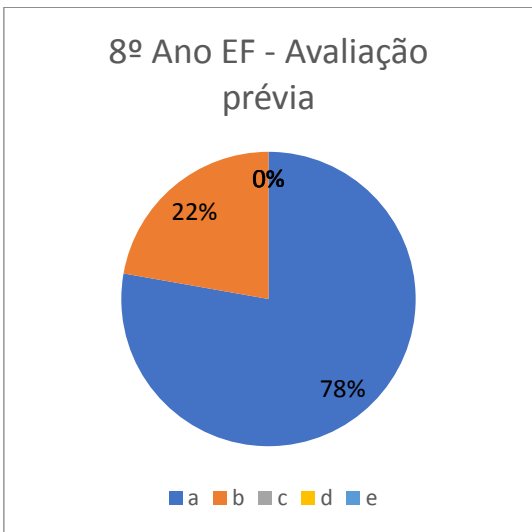
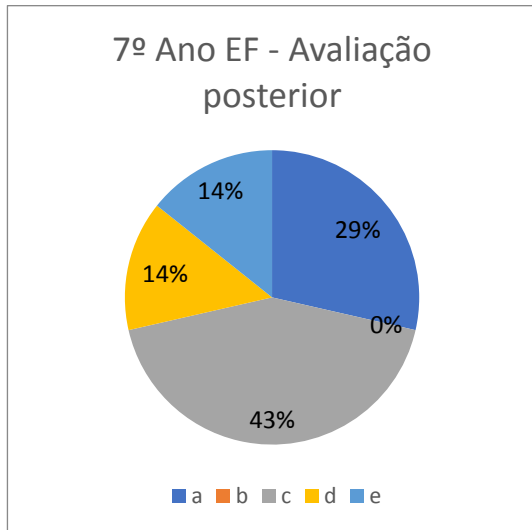
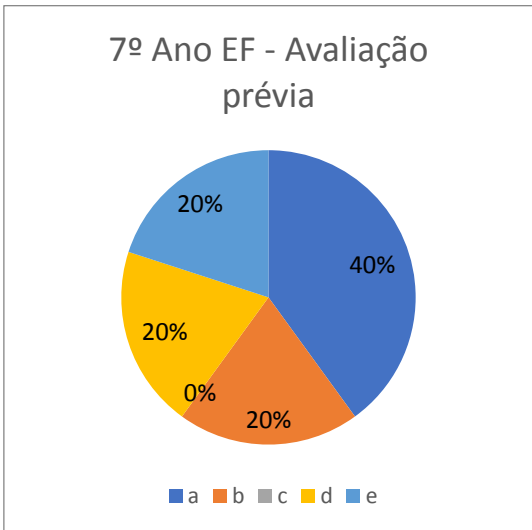
2º Ano EM - Avaliação posterior

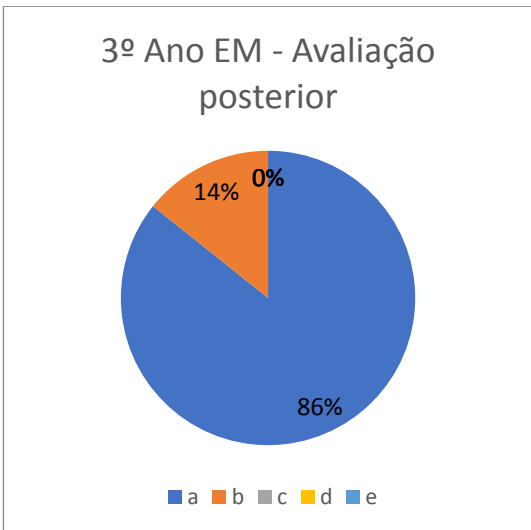
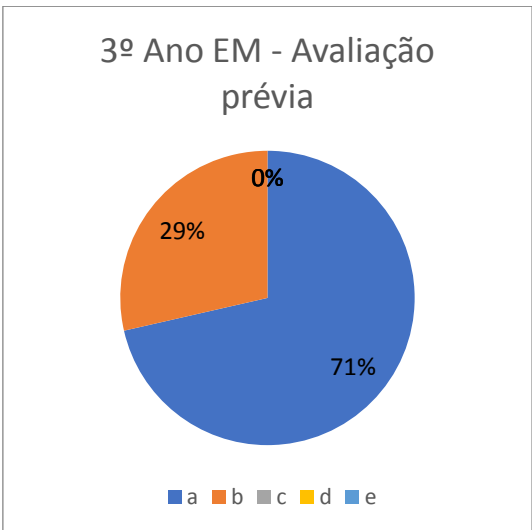
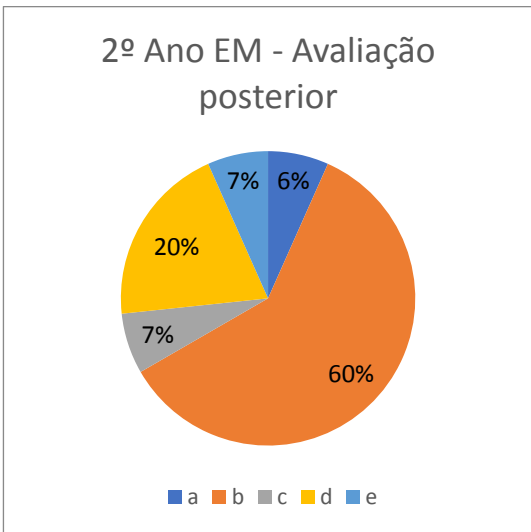
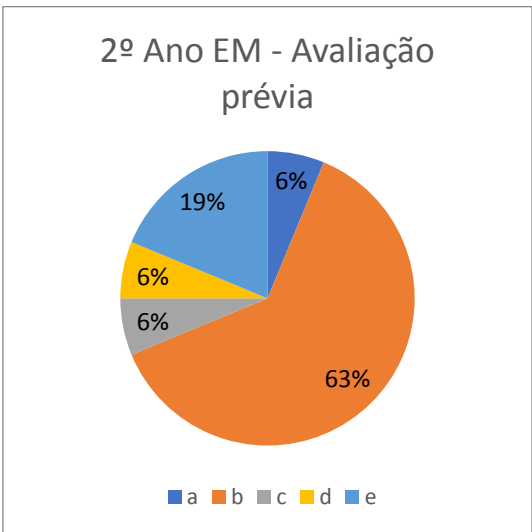
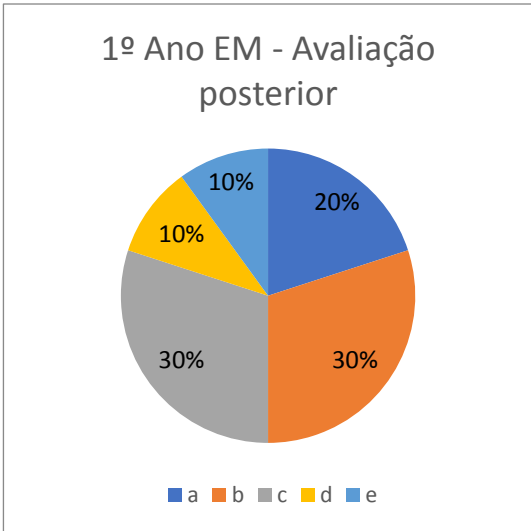
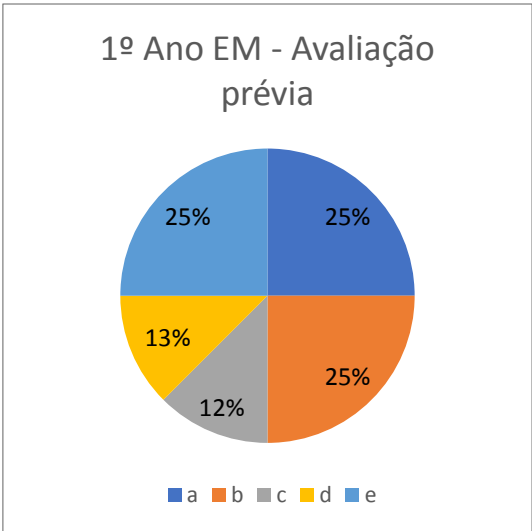


■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

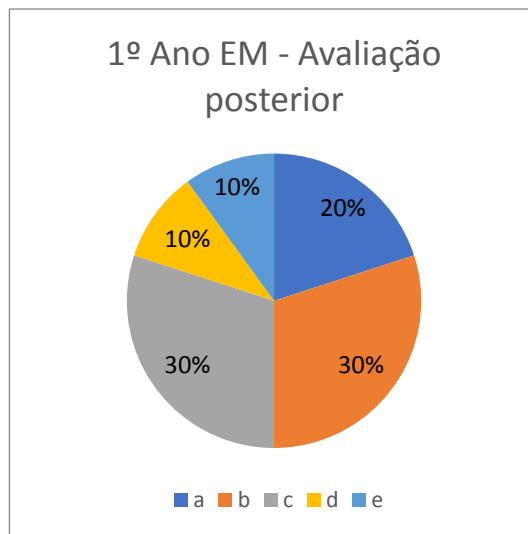
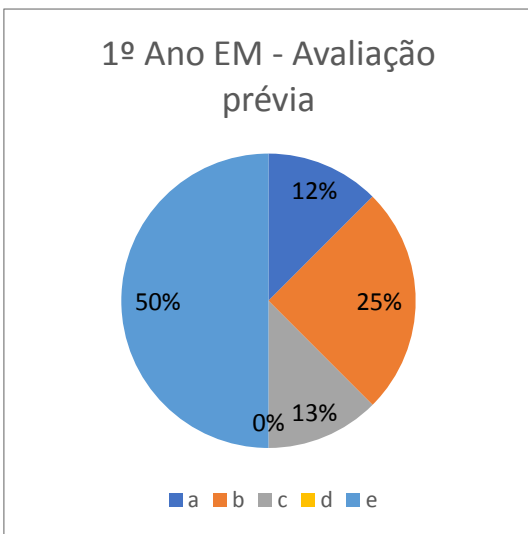
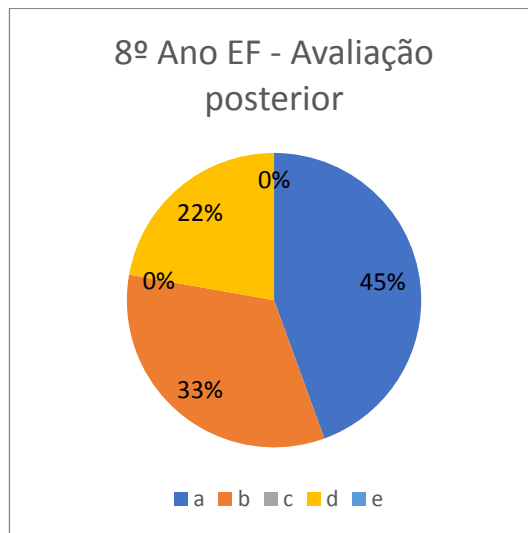
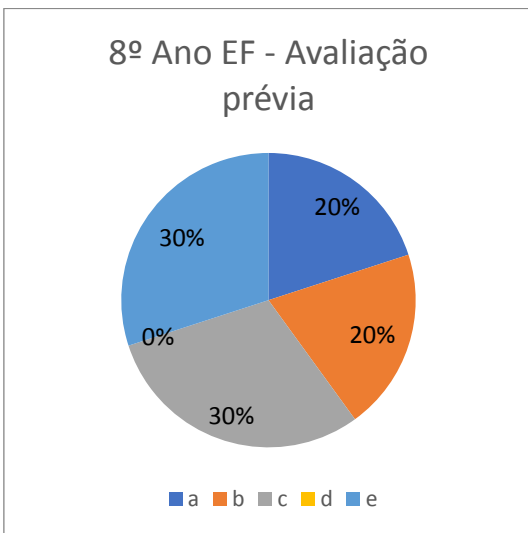
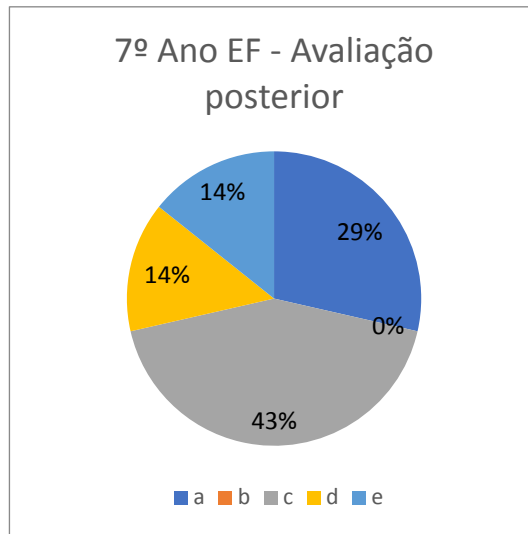
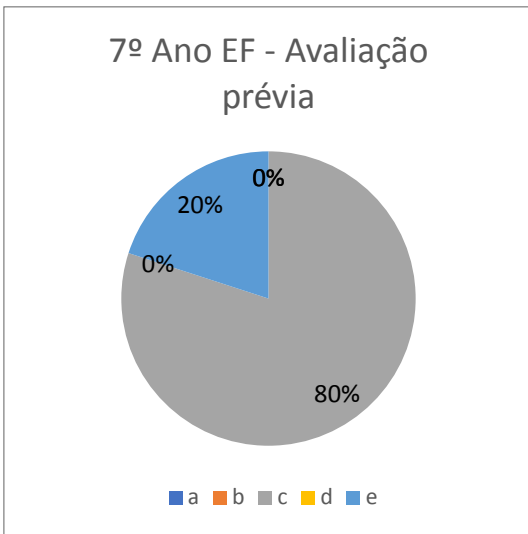


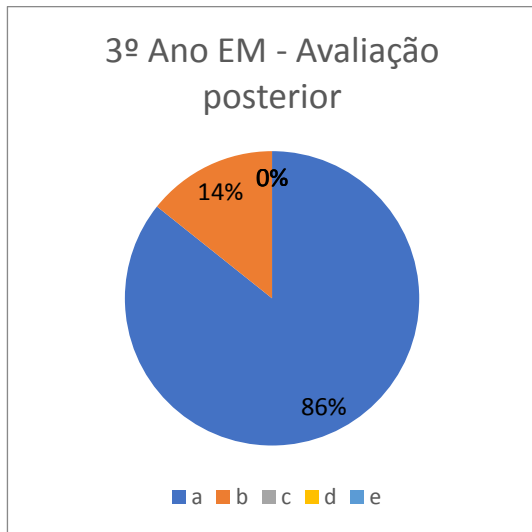
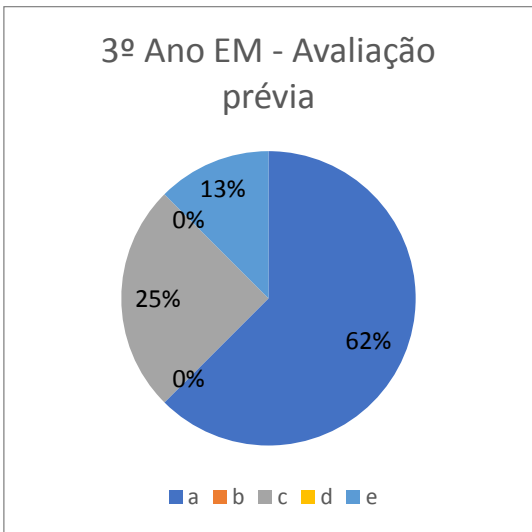
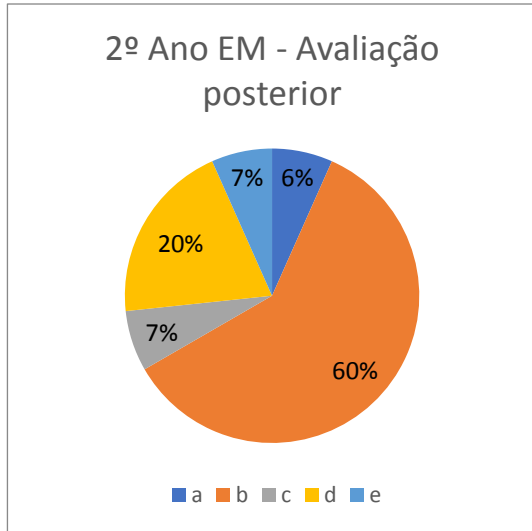
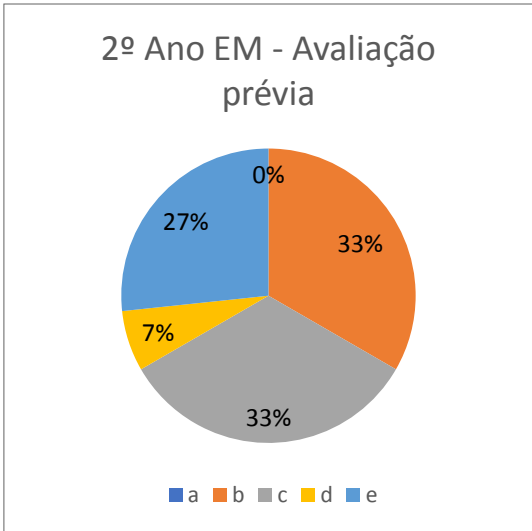
6.3.4 – Questão 4:



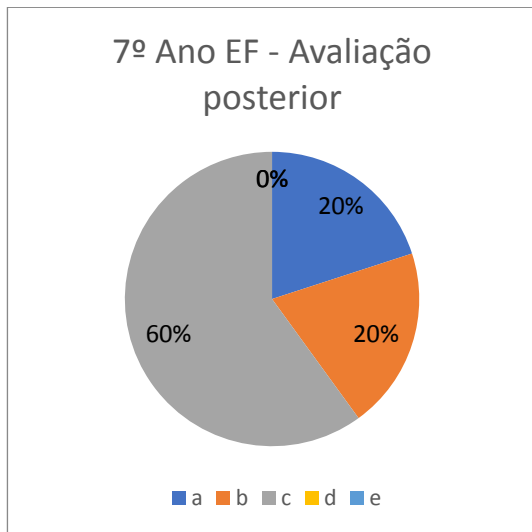
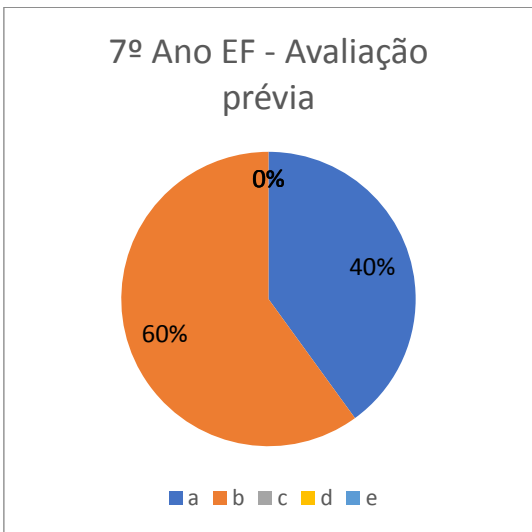


6.3.5 – Questão 5:

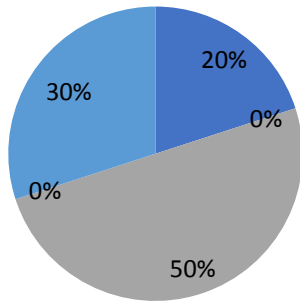




6.3.6 – Questão 6:

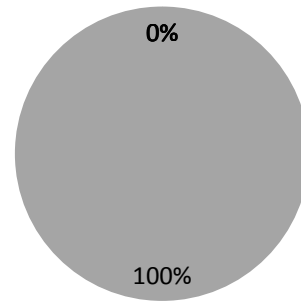


8º Ano EF - Avaliação prévia



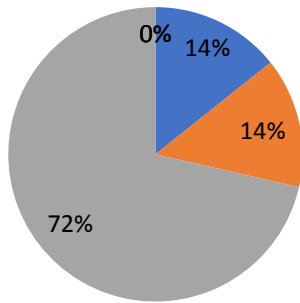
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

8º Ano EF - Avaliação posterior



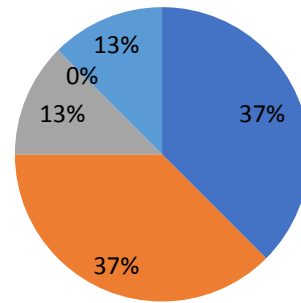
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

1º Ano EM - Avaliação prévia



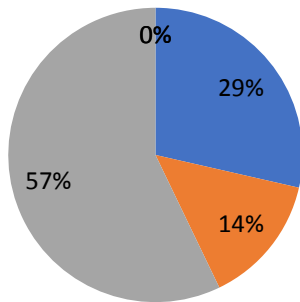
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

1º Ano EM - Avaliação posterior



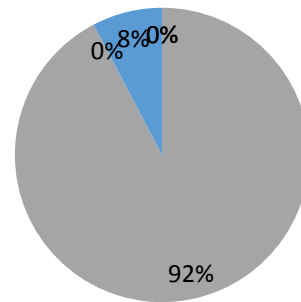
■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

2º Ano EM - Avaliação prévia

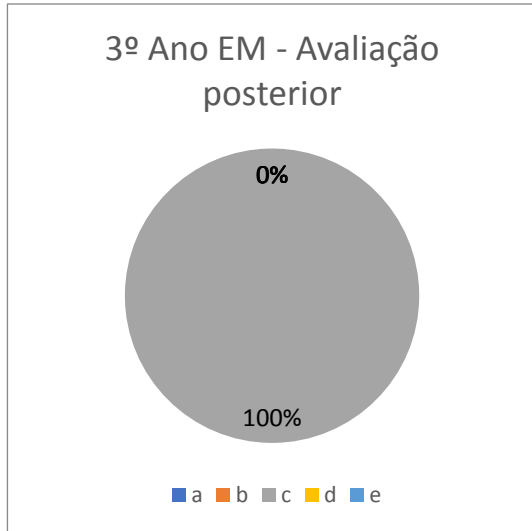
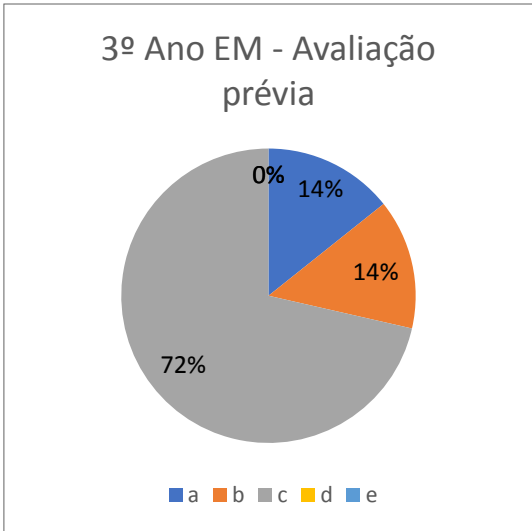


■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

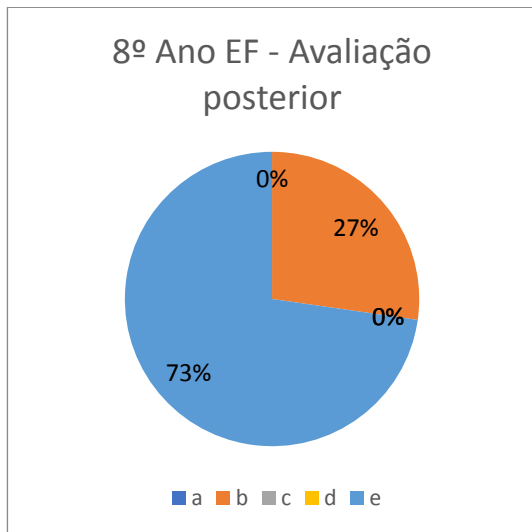
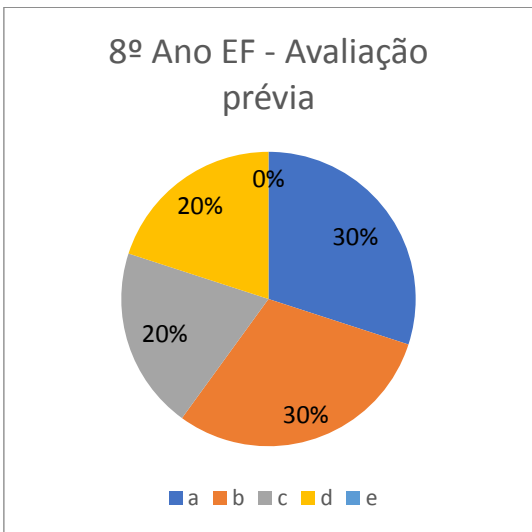
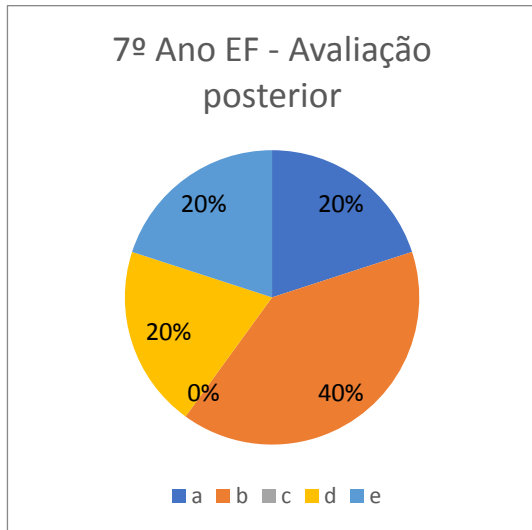
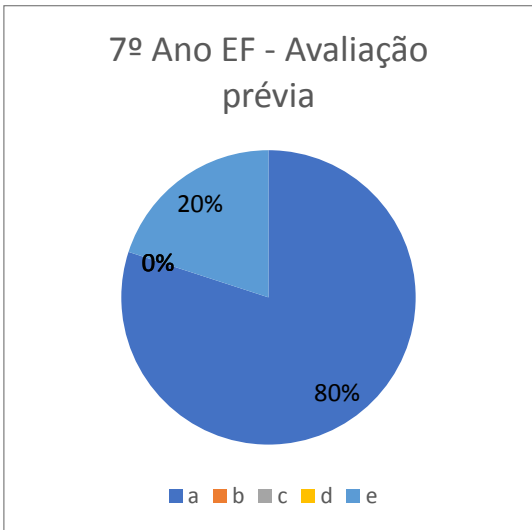
2º Ano EM - Avaliação posterior

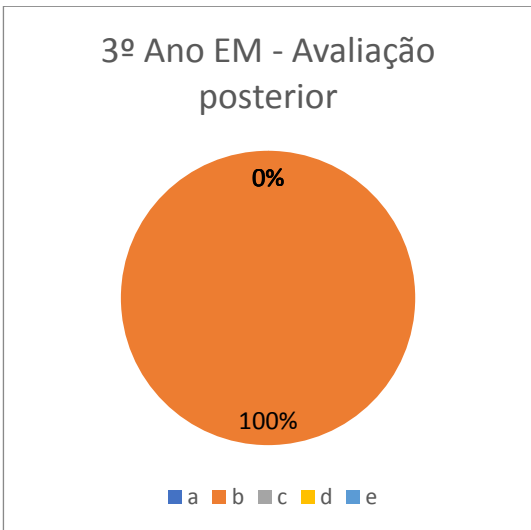
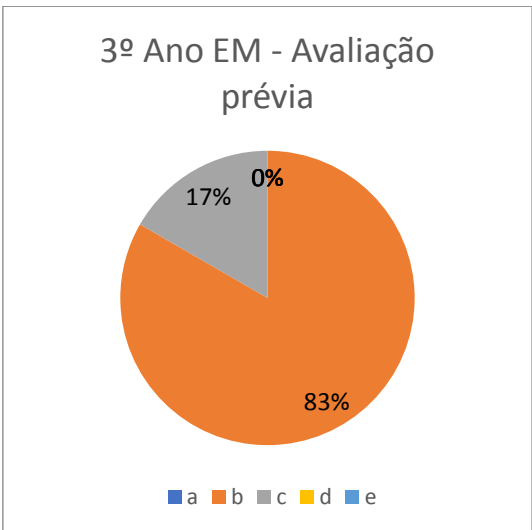
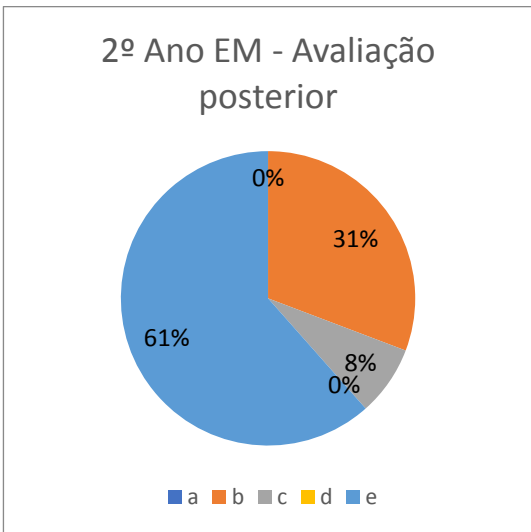
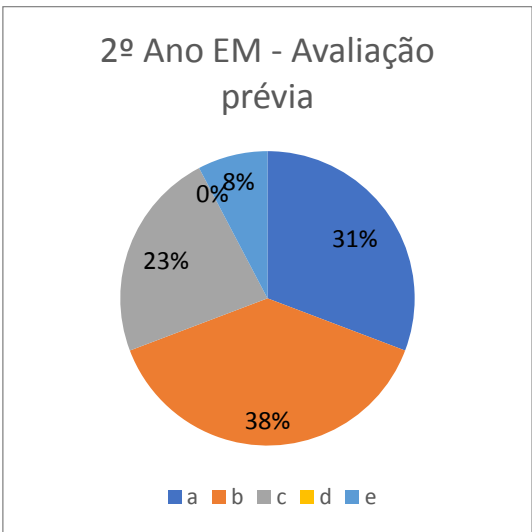
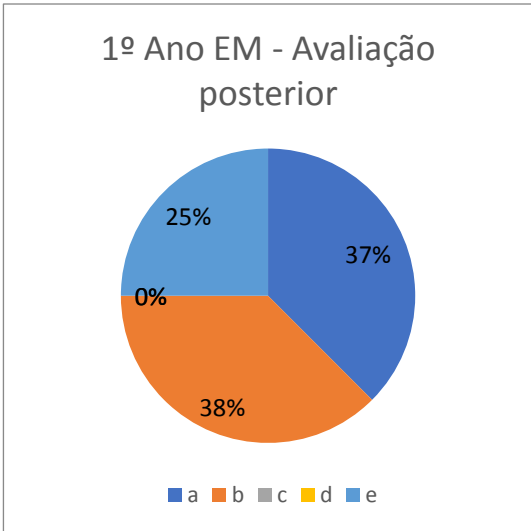
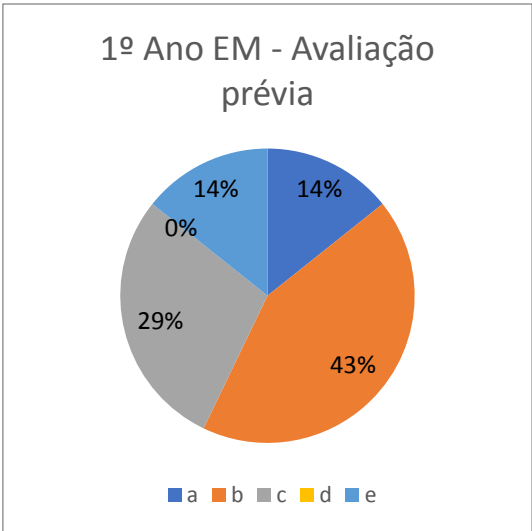


■ a ■ b ■ c ■ d ■ e

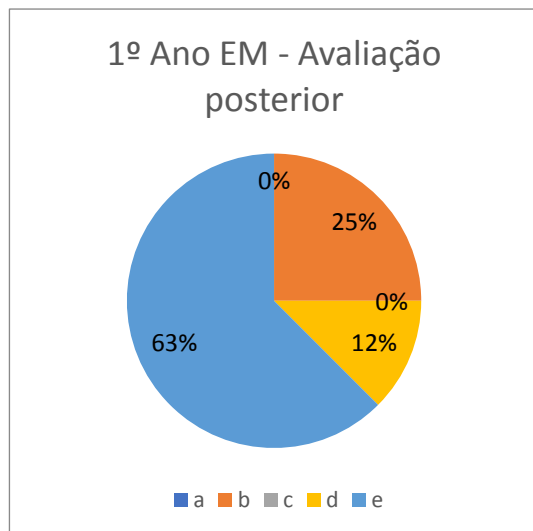
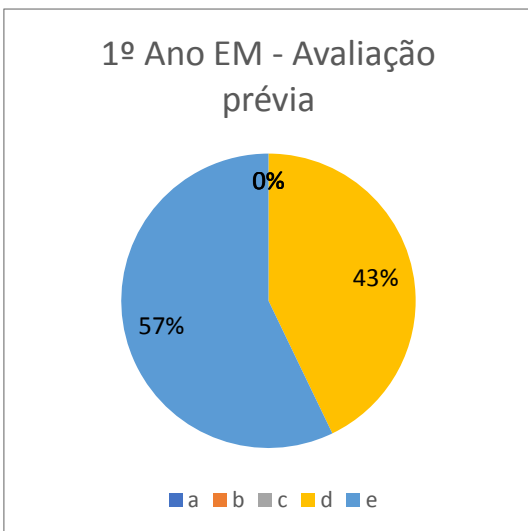
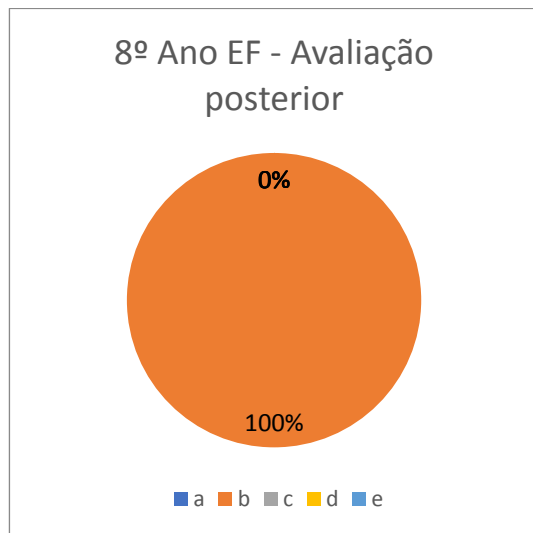
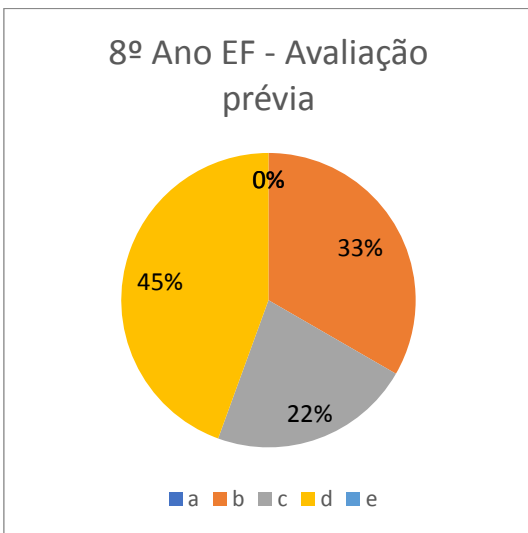
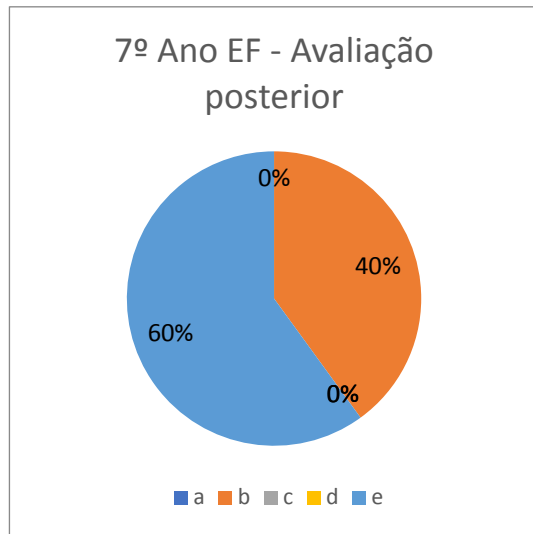
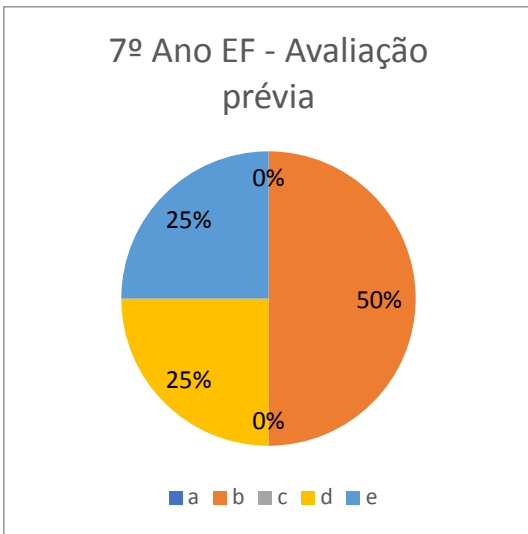


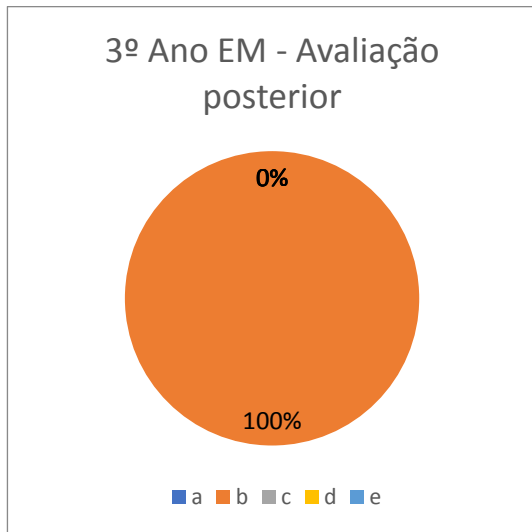
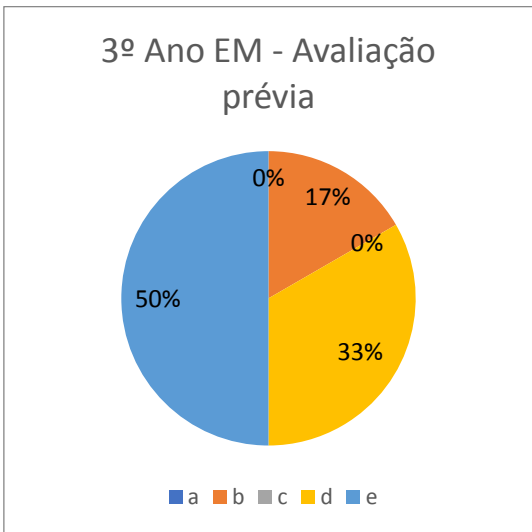
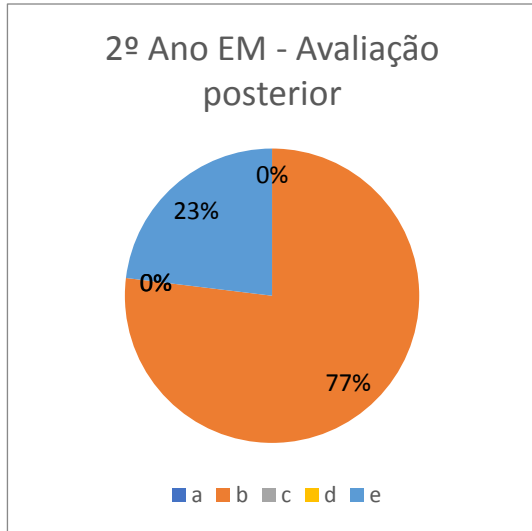
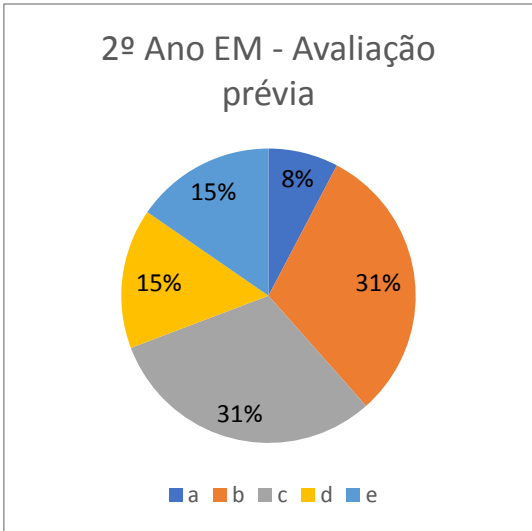
6.3.7 – Questão 7:



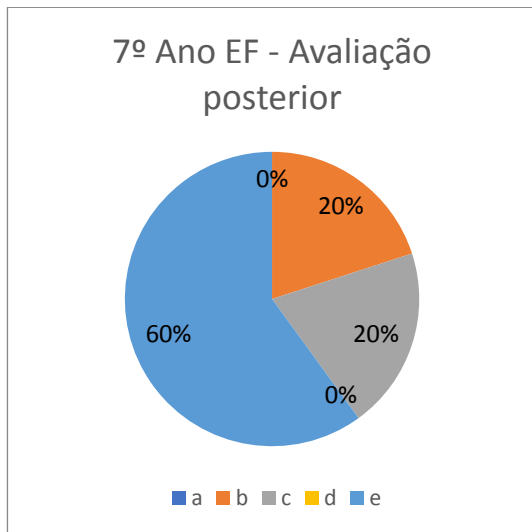
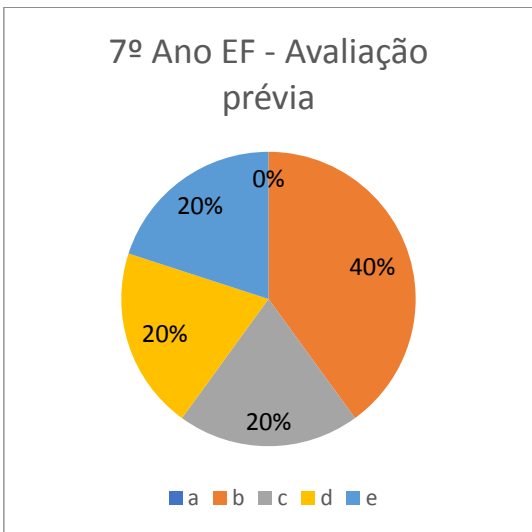


6.3.8 – Questão 8:

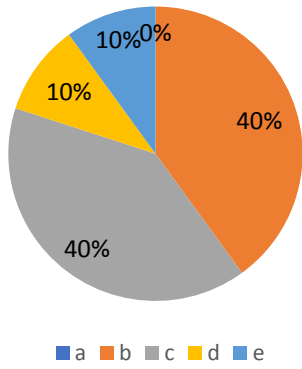




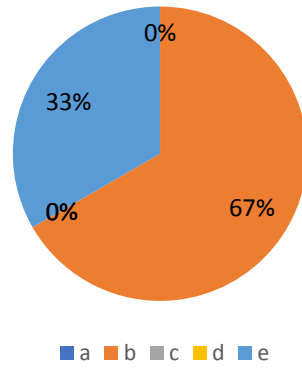
6.3.9 – Questão 9:



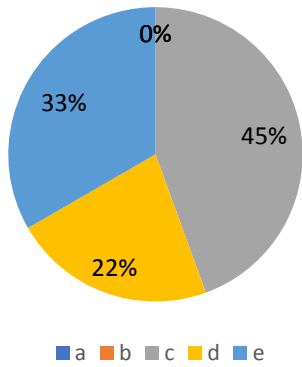
8º Ano EF - Avaliação prévia



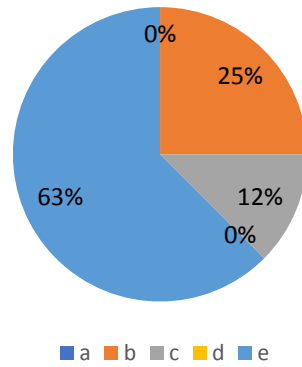
8º Ano EF - Avaliação posterior



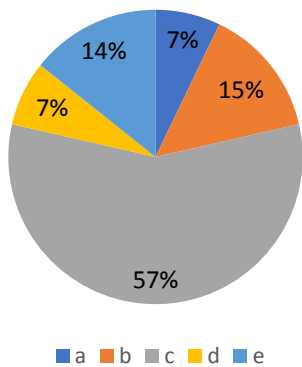
1º Ano EM - Avaliação prévia



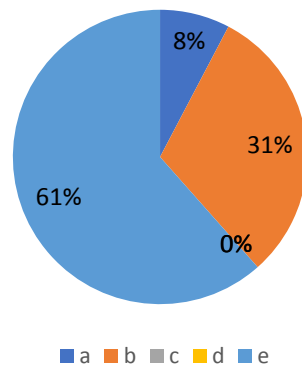
1º Ano EM - Avaliação posterior

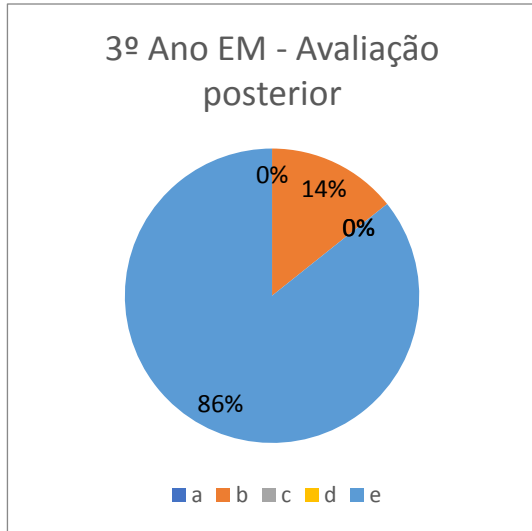
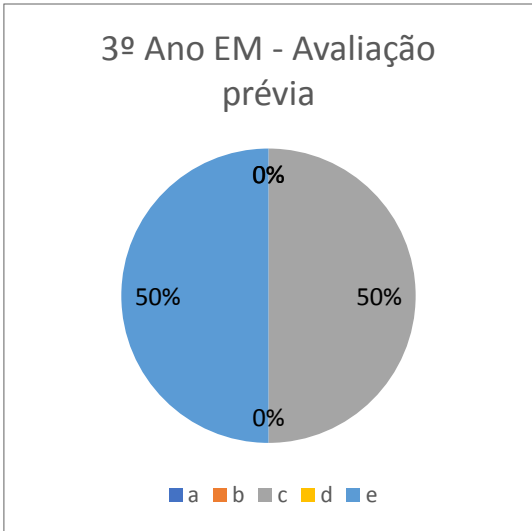


2º Ano EM - Avaliação prévia

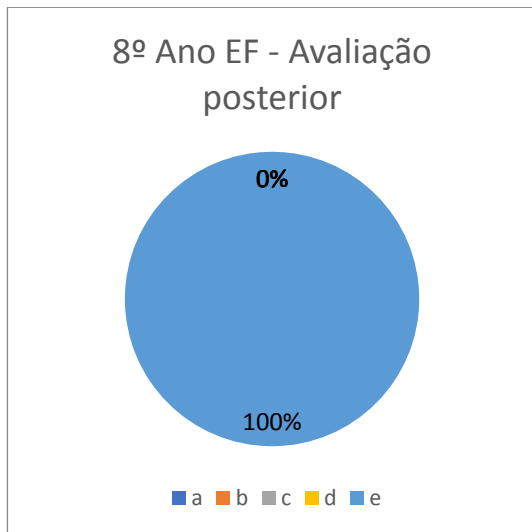
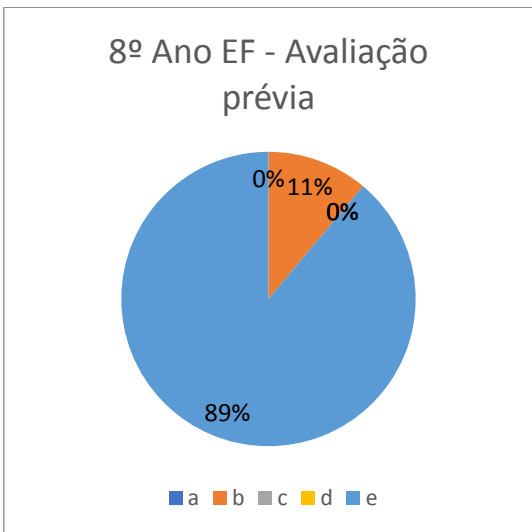
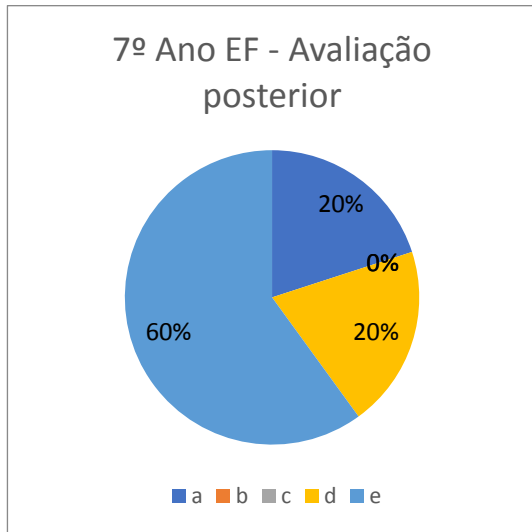
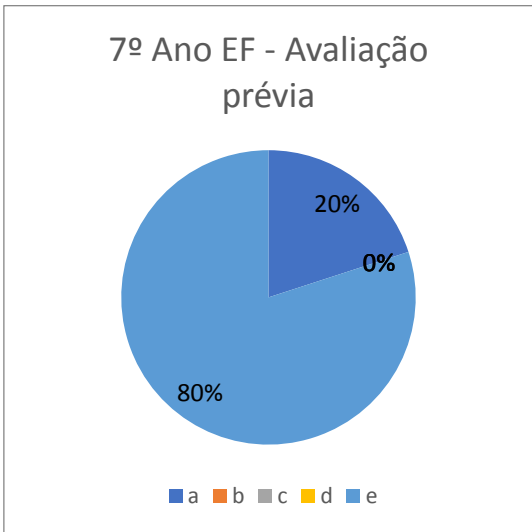


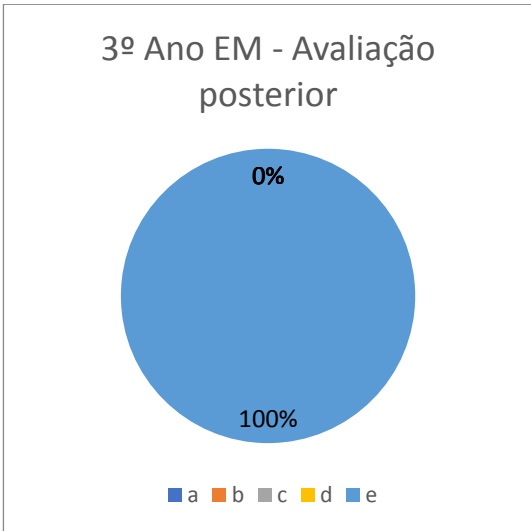
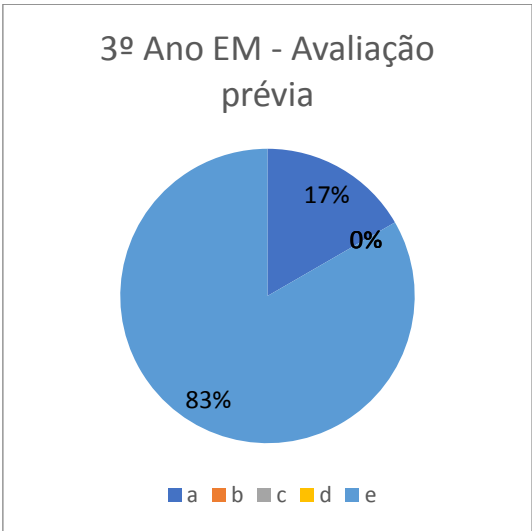
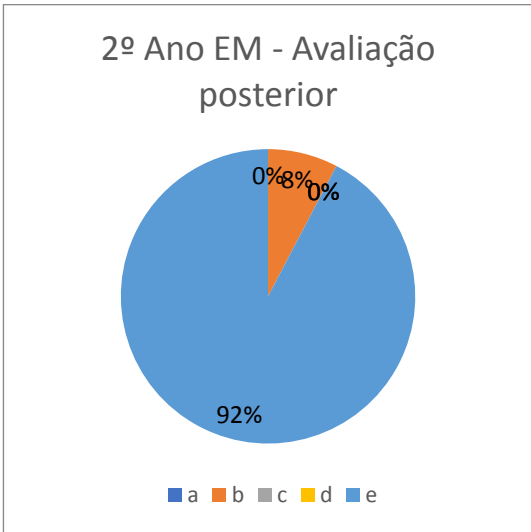
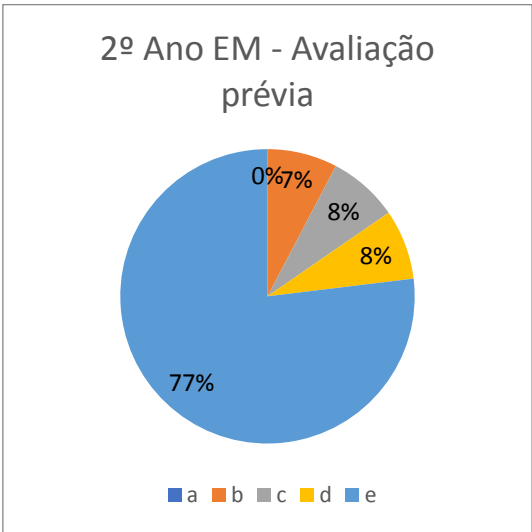
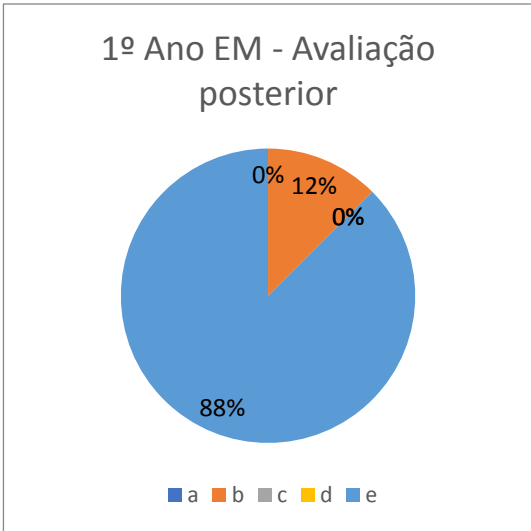
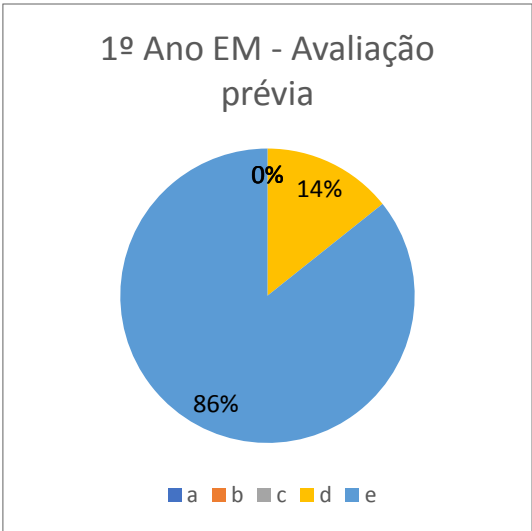
2º Ano EM - Avaliação posterior





6.3.10 – Questão 10:





6.4 - Avaliação por turma

A avaliação por turma, teremos uma maior explanação dos dados recebidos nos questionários aplicados.

6.4.1 – 7º Ano do ensino fundamental;

Nos alunos do 7º ano do ensino fundamental destacamos o fato que observamos aprendizagem nas questões 7 e 8, nas demais questões não foi observada um padrão de respostas ou de mudanças daquelas que seriam os subsunçores dos alunos, observados no questionário de avaliação prévia.

6.4.2 – 8º Ano do ensino fundamental;

Nos alunos do 8º ano do ensino fundamental observamos um notório aprendizado nas questões 1, 2, 5, 6, 8, 9 e 10, tendo nas questões 1, 2, 8 e 10 um acerto de todos os alunos.

6.4.3 – 1º Ano do ensino médio;

Nos alunos do 1º ano do ensino médio, nesta turma a aplicação do experimento não foi conclusiva.

6.4.4 – 2º Ano do ensino médio;

Nos alunos do 2º ano do ensino médio, os padrões de respostas se mantiveram, sendo mais acentuada nas questões 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 10.

6.4.5 – 3º Ano do ensino médio;

Nos alunos do 3º ano do ensino médio, mantiveram os padrões de resposta, sendo acentuada em todas as questões.

Capítulo 7 - Conclusão

A aplicação do produto caixa de cores com a utilização do Arduino foi eficaz na compreensão da formação de cores a partir das cores de luz primárias vermelho, verde e azul, e na percepção das cores pelo ser humano de objetos iluminados pela luz branca, que seria a luz ambiente e estes mesmos objetos iluminado pelas cores de luz primárias vermelho, verde e azul.

Por ser uma atividade lúdica e com tecnologia de acordo com a vivência pelos alunos em seu cotidiano como jogos eletrônicos, computadores e aparelhos com interação, os alunos puderam ter uma aula mais atrativa fazendo o aluno ser protagonista do processo de ensino-aprendizagem tornando a aprendizagem significativa.

Este experimento demonstrou notória aprendizagem dos alunos do 8º ano do ensino fundamental e com afirmação dos subsunçores adquiridos pelos alunos do 2º e 3º ano do ensino médio. O experimento não teve caráter quantitativo e sim qualitativo, para que os alunos do 2º e 3º ano do ensino médio possam visualizar aquilo que aprenderam em sala de aula, e uma nova forma de aprender para os alunos do 7º e 8º anos do ensino fundamental com o experimento e não de forma somente teórica no quadro e giz como normalmente os professores fazem atualmente.

Capítulo 8 - Considerações finais

Os professores iniciantes na plataforma Arduino devem ter experimentos de fácil construção, para que suas aulas sejam mais lúdicas e produtivas tornando o aprendizado do aluno mais atualizado com as tecnologias que os alunos utilizam no seu dia a dia. Avançar com experimentos mais complexos e que demandam mais tempo e envolvimento dos alunos na sua elaboração e construção, desempenhando um trabalho em grupo de acordo com as necessidades profissionais dos dias atuais.

Esses experimentos auxiliam na aprendizagem do aluno, pois torna a aula mais lúdica e próxima do cotidiano do aluno, com essas novas tecnologias utilizadas na aprendizagem, o professor deve penetrar neste mundo para conseguir ter uma aula mais atrativa para o aluno, aproximando o aluno da experimentação e de como a física foi construída e confirmada com os inúmeros experimentos realizados pelos grandes físicos na história da humanidade.

Os professores podem utilizar e modificar o experimento de acordo com suas necessidades. Sendo que o conhecimento da plataforma Arduino dá oportunidade de o professor desenvolver e realizar outros experimentos para os alunos e compartilhar com outros professores, de forma que, essa mudança na abordagem da construção do conhecimento, usando experimentos, uma maneira necessária para a nossa prática diária nas escolas do Brasil.

A utilização da caixa de cores em diversos públicos tornaria mais eficaz o estudo desta metodologia e sua aplicação em sala de aula, podendo realizar extensões e complementos deste experimento e outros, seus erros e acertos, para a sua melhoria ou modificação, assim a utilização do Arduino em sala de aula seria mais abrangente, atualizando o ensino como ferramentas tecnológicas.

Referências Bibliográficas

- TEORIAS DE APRENDIZAGEM

[Moreira, Marco Antônio] Editora EPU. 2ª Edição 2011.

- PENSAMENTO E LINGUAGEM

[Vygotsky, Lev S.]

Edição eletrônica: Ed Ridendo Castigat Mores

<http://www.ebooksbrasil.org/adobeebook/vigo.pdf>, Acesso em novembro de 2018.

- APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: UM CONCEITO SUBJACENTE

<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em Novembro de 2018.

- [Pelizzari 2002] TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL

[Adriana Pelizzari, Maria de Lurdes Kriegl, Márcia Pirih Baron, Nelcy Teresinha Lubi Finck, Solange Inês Dorocinski]

<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>. Acesso em novembro de 2018.

- [Moreira, 2011] O PAPEL DOCENTE NA SELEÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO

[MOREIRA, Ana Elisa da Costa]

<http://www.uel.br/eventos/semanaeducacao/pages/arquivos/ANAIS/ARTIGO/SABERES%20E%20PRATICAS/O%20PAPEL%20DOCENTE%20NA%20SELECAO%20DAS%20ESTRATEGIAS%20DE%20ENSINO.pdf>. Acesso em novembro de 2018.

- [McRoberts 2011] M. McRoberts, *Arduino Básico*, Novatec Editora Ltda, 2011.

[Arduino 2017] *Arduino, página na internet oficial*. Disponível em <<http://www.arduino.cc>>. Acesso em maio de 2017.

- Biografia de Isaac Newton

<http://www.biografiaisaacnewton.com.br/2013/12/Experimentos-de-Isaac-Newton-estudos-com-a-Optica.html>. Acesso em novembro de 2018

- Dualidade Onda-corpúsculo

https://pt.wikipedia.org/wiki/Dualidade_onda-corp%C3%BAsculo. Acesso em novembro de 2018

- Absorbância

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Absorb%C3%A2ncia>, Acesso em novembro de 2018

- [physics-eletromagnetic 2018] Os espectros eletromagnéticos e visíveis.

<https://www.physicsclassroom.com/class/light/Lesson-2/The-Electromagnetic-and-Visible-Spectra>, Acesso em março de 2019.

- [Halliday, 2009] *Fundamentos da Física – Volume 4 - Óptica e Física Moderna*. HALLIDAY, RESNICK. - Ed. LTC – 8ª Edição

- [Nussenzveig 2008] *Curso de Física básica – Vol. 3 – Eletromagnetismo* H. MOYSÉS NUSSENZVEIG - Ed. Blücher – 1ª Edição

- Teoria Eletromagnética – Parte clássica –
JOÃO BARCELOS NETO – Ed. Livraria da Física – 1ª Edição
- O Princípio de Huygens

https://wp.ufpel.edu.br/diehl/files/2017/08/artigo_Arthur.pdf, Acesso março de 2019.

- Polarização e espalhamento de ondas eletromagnéticas; Princípio de Huygens

http://www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalogo/15163416022012Fisica_C_Aula_9.pdf, Acesso março de 2019.

- Efeito fotoelétrico

<https://medium.com/@eltonwade/cap%C3%ADtulo-3-efeito-fotoel%C3%A9trico-3de7f9fd9416>, Acesso em abril de 2019.

- Polarização da luz

https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Ilustracao-da-propagacao-de-uma-onda-eleto-magnetica-Tudo-parecia-fantastico_fig2_307677701, Acesso em maio de 2019.

- Luz Polarizada

http://www.geocities.ws/rodrigo_hjort/fis/exp-polarizacao_luz.pdf, Acesso em maio de 2019.

- Luz não polarizada

<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/luz-polarizada-nao-polarizada.html>, Acesso em maio de 2019.

- Polarização da luz

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/cinco-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-ondas.htm>, Acesso em maio de 2019.

- Difração da luz

<http://www.if.ufrgs.br/tex/fisica-4/lab3>, Acesso em maio de 2019.

- Experimento de Young

<https://sites.google.com/site/afisicamodernadoensinomedio/topicos-de-fisica-moderna-e-contemporanea/a-dualidade-onda-particula-da-luz/a-difracao-e-interferencia-da-luz>, Acesso em maio de 2019, Halliday e Resnick, 8ª Ed. p. 82

- Modelos Atômicos

<https://apps.univesp.br/evolucao-do-modelo-atomico/>, Acesso em maio de 2019.

- [PCN, 2018] Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino médio)

<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>, Acesso em maio de 2019.

Apêndices

Apêndice 1 - Questionário Prévio

Abaixo temos um questionário para avaliar os conhecimentos dos alunos anterior a aula utilizando a caixa de cores, para posteriormente aplicar o mesmo questionário e comparar os conhecimentos adquiridos ou não, após a aula. O questionário é livre sem nenhuma orientação para o seu preenchimento.



Questionário de avaliação prévia:

Nome: _____ Turma: _____

Instituição: _____ Data: _____

1) A luz é uma:

- Partícula
- Feixe
- Onda mecânica
- Onda eletromagnética
- Cor

2) Por que enxergamos os objetos?

- Reflexão da luz nos objetos
- Refração da luz nos objetos
- Difração da luz nos objetos
- Interferência da luz nos objetos
- Polarização da luz nos objetos

3) Quais são as cores de luz primárias?

- Branco
- Amarelo
- Azul
- Preto
- verde

4) Qual cor abaixo é policromática?

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

5) A união da luz vermelha com a luz verde nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

6) A união da luz vermelha com a luz azul nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

7) A união da luz verde com a luz azul nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

8) Um objeto azul iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

9) Um objeto verde iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

10) Um objeto vermelho iluminado com cor branca, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

Apêndice 2 - Roteiro Experimental

Abaixo temos o roteiro experimental, para a aula com a caixa de cores, com instruções de funcionamento e ilustrações para o melhor entendimento.



Nome: _____ Colégio: _____

Turma: _____

ROTEIRO EXPERIMENTAL - CAIXA DE CORES

Neste experimento os alunos irão visualizar alguns objetos de cores variadas, sendo iluminados por cores monocromáticas e policromáticas.

Entender a reflexão difusa e o conceito de absorção da luz.

Este experimento é qualitativo.

OBJETIVOS:

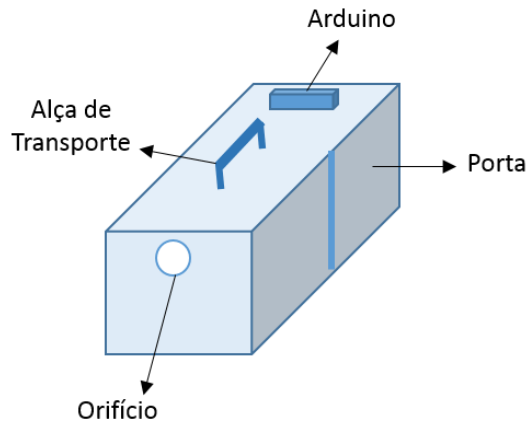
1. Observar objetos iluminados com cores monocromáticas.
2. Observar objetos iluminados com cores policromáticas.

MATERIAIS:

1. Caixa de cores;
2. Fonte 9V;
3. Objetos de diversas cores;
4. Lápis e borracha;

PREPARAÇÃO:

Conhecendo a caixa de cores:



- A caixa possui o Arduino conectado a **placa de aprendizagem** para ligar e desligar o LED RGB, este responsável para iluminar na parte interior da caixa de cores, o LED RGB, está no interior da caixa de cores;
- Possui uma porta que abre para cima para colocar os objetos a serem visualizados em seu interior;
- Possui um orifício para visualização dos objetos no seu interior;
- Possui uma alça de transporte.

Arduino



<https://www.robotistan.com/arduino-uno-r3-clone-with-usb-cable-usb-chip-ch340>

O Arduino possui diversas entradas/saídas analógicas e digitais, uma conexão USB e uma conexão da fonte (bateria 9V);

Placa de Aprendizagem



https://www.dx.com/pt/p/multifunctional-fundamental-learning-expansion-board-kit-for-arduino-451226?tc=BRL&ta=BR&gclid=Cj0KCQjwi8fdBRCVARIsAEkDvnLE9LiM4cku8kYxfUnCczVrMVg58S1D_8dW0gD4J2NqBJYAreP5UJ8aAkDUEALw_wcB#.W7J-tntKiUk

A placa de aprendizagem possui dentre outros, 3 botões que foram utilizadas para ligar os LEDs e um botão de reset, para recomeçar o experimento.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

1. Conecte a bateria ao Arduino;
2. Verifique se acendeu o leitor na placa de aprendizagem;

Verificando as cores do Led.

Aperte o botão 1;

Qual a cor do led RGB? Vermelho Verde Azul

Aperte reset para recomeçar.

Aperte o botão 2;

Qual a cor do led RGB? Vermelho Verde Azul

Aperte reset para recomeçar.

Aperte o botão 3;

Qual a cor do led RGB? Vermelho Verde Azul

Aperte reset para recomeçar.

Para os itens a seguir vá respondendo o questionário, um bloco para cada experimento.

1. Abra a porta lateral e coloque um objeto em seu interior;
2. Acenda uma luz com os botões 1, 2 ou 3;
3. Verifique a cor do objeto;
4. Acenda outra cor de luz;
5. Repita o processo quantas vezes achar necessário.

QUESTIONÁRIO:

BLOCO 1

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 2

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 3

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 4

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 5

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 6

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 7

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 8

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 9

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

BLOCO 10

1 - Qual a cor do objeto a luz ambiente? (Pode ser mais de uma cor)

R: _____

2 - Qual a composição do objeto? (Plástico, metal, etc)

R: _____

3 - O objeto é fosco ou brilhante?

R: _____

4 - Qual o led aceso?

R: _____

5 - Qual a cor do objeto dentro caixa de cores?

R: _____

Apêndice 3 - Roteiro Experimental – Complemento

Abaixo temos um complemento do roteiro experimental, para os alunos verificarem a composição de duas ou mais cores.



Nome: _____ Colégio: _____

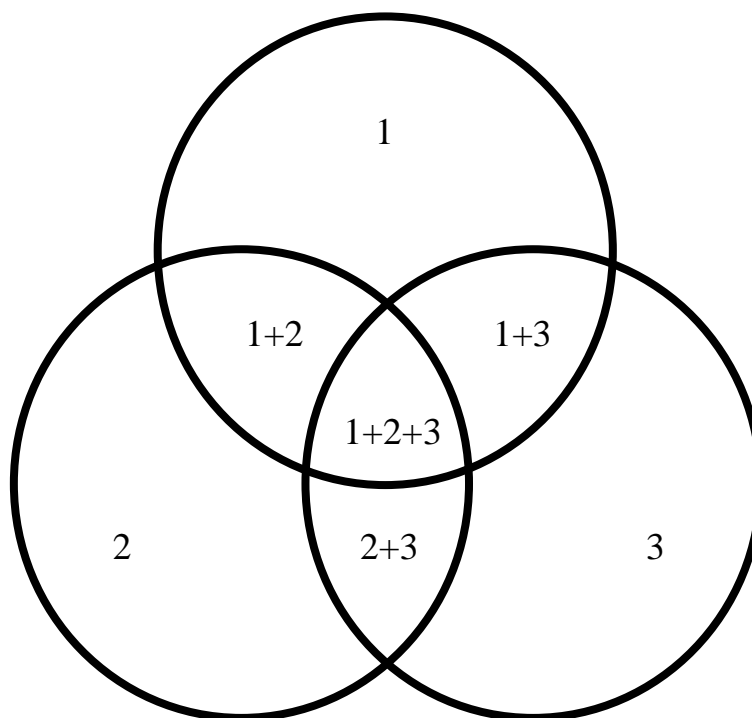
Turma: _____

ROTEIRO EXPERIMENTAL - CAIXA DE CORES COMPLEMENTO

Determine as cores em cada região.

Pinte ou escreva cada cor.

Os números correspondem aos botões apertados na placa de aprendizagem.



Apêndice 4 - Questionário de avaliação posterior

Utilizamos o mesmo questionário de avaliação para avaliar o aprendizado dos alunos neste experimento.



Questionário de avaliação posterior:

Nome: _____ Turma: _____

Instituição: _____ Data: _____

1) A luz é uma:

- Partícula
- Feixe
- Onda mecânica
- Onda eletromagnética
- Cor

2) Por que enxergamos os objetos?

- Reflexão da luz nos objetos
- Refração da luz nos objetos
- Difração da luz nos objetos
- Interferência da luz nos objetos
- Polarização da luz nos objetos

3) Quais são as cores de luz primárias?

- Branco
- Amarelo
- Azul
- Preto
- verde

4) Qual cor abaixo é policromática?

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

5) A união da luz vermelha com a luz verde nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

6) A união da luz vermelha com a luz azul nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

7) A união da luz verde com a luz azul nos fornece a luz:

- Amarela
- Ciano
- Magenta
- Branca
- Azul

8) Um objeto azul iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

9) Um objeto verde iluminado com cor vermelha, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

10) Um objeto vermelho iluminado com cor branca, será visto com a cor:

- Branco
- Preto
- Azul
- Verde
- Vermelho

Apêndice 5 – Programação da caixa de cores

Neste capítulo temos a programação completa do projeto caixa de cores na IDE Arduino, onde após duas barras temos um comentário até o fim da linha, nesta programação temos diversos comentários para facilitar a compreensão de cada linha do programa escrito e para futura alteração caso seja necessário. Elaboramos a programação em blocos para facilitar a sua escrita explicar sobre cada bloco.

- **BLOCO 1:**

Bloco de identificação do programa, com o nome do projeto, a instituição a que o mestrando está cursando e seu orientador.

- **BLOCO 2:**

Bloco de mapeamento do hardware utilizado na placa multifunção, tais ligações são preexistentes nesta placa, onde se encontra a ligação do buzzer, dos leds, botões e outras conexões de entrada e saída.

- **BLOCO 3:**

Bloco de controle das funções matemáticas que serão utilizadas no controle do display e leitura dos botões.

- **BLOCO 4:**

Bloco de controle de variáveis que serão utilizadas no programa e/ou mostradas no display.

- **BLOCO 5:**

Bloco de rotina de interrupções para controlar e atualizar o que o display mostrará a cada botão apertado.

- **BLOCO 6:**

Configurações iniciais para definir os pinos de entrada e de saída, assim como iniciar alguns componentes da placa multifunção.

- **BLOCO 7:**
Bloco de variáveis globais, que fazem a leitura do botão.
- **BLOCO 8:**
Bloco de controle de registro de deslocamento, para a entrada e atualização de dados.
- **BLOCO 9:**
Bloco de controle do display, controla as portas a serem utilizadas pelo display.
- **BLOCO 10:**
Neste bloco temos o funcionamento propriamente dito do programa, para acender um led, acionar o buzzer e mostrar no display da placa multifunção, a partir de um botão pressionado.


```

// BLOCO 1 =====

// PROJETO: CAIXA DE CORES
// MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)
// PÓLO: UNIRIO
// MESTRANDO: MARCO ANTONIO SOARES COELHO
// ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ PAULO COLATTO

// BLOCO 2 =====
// --- Mapeamento de Hardware ---
#define buzzer 3 //Buzzer (ativo em LOW)
#define red 5 //vermelho
#define green 6 //verde
#define blue 9 //azul
#define store 7 //Registrador de armazenamento (shift register)
#define data 8 //Entrada de dados (shift register)
#define shift 4 //Registrador de deslocamento (shift register)
#define botao1 15 //botão 1
#define botao2 16 //botão 2
#define botao3 17 //botão 3

// BLOCO 3 =====
// --- Protótipo das Funções ---
void my_register(byte value); //Função para controle dos registradores de
deslocamento
byte display_seg(byte num, boolean dp); //Função para controle do display
void readButtons(); //Função para leitura dos botões

// BLOCO 4 =====
// --- Variáveis Globais ---
byte counter, control_U2;//bytes de controle dos registradores de deslocamento

short control = 1; //Variável de controle (para saber qual display está ativo)

```

```

int mil, cen, dez, uni;           //Variáveis auxiliares para dados nos displays

boolean dig_mil = 0x00,          //flag do display dos milhares
    dig_cen,                      //flag do display das centenas
    dig_dez,                      //flag do display das dezenas
    dig_uni,                      //flag do display das unidades
    f_botao1 = 0x00,             //flag aux para botão de decremento
    f_botao2 = 0x00,             //flag aux para botão de acionamento
    f_botao3 = 0x00;            //flag aux para botão de incremento

int disp_number = 0;            //valor a ser exibido no display

// BLOCO 5 =====//
// --- Rotina de Interrupção ---
ISR(TIMER2_OVF_vect)    // Trata Overflow do Timer2
{
    TCNT2 = 196;        // Reinicializa o registrador do Timer2

    if(!dig_mil && control == 1)    //Dígito dos milhares desligado?
    {
        //Variável de controle igual a 1?
        control = 0x02;            //Sim, control recebe o valor 2
        dig_uni = 0x00;           //Apaga o dígito das unidades
        dig_dez = 0x00;          //Apaga o dígito das dezenas
        dig_cen = 0x00;          //Apaga o dígito das centenas
        control_U2 = 0x80;        //Carrega valor para o registrador U2 (dig_1)
        mil = disp_number/1000;   //Calcula o dígito dos milhares
        dig_mil = 0x01;          //Ativa dígito dos milhares
        counter = display_seg(mil, 0); //Recebe o valor retornado do display

        digitalWrite(shift, LOW); //Atualiza display
        my_register(counter);
        my_register(control_U2);
        digitalWrite(shift, HIGH);
    }
}

```

```
} //end if dig_mil
```

```
else if(!dig_cen && control == 2)          //Dígito das centenas desligado?
{
    //Variável de controle igual a 2?
    control = 0x03;                        //Sim, control recebe o valor 3
    dig_uni = 0x00;                        //Apaga o dígito das unidades
    dig_dez = 0x00;                        //Apaga o dígito das dezenas
    dig_mil = 0x00;                        //Apaga o dígito dos milhares
    control_U2 = 0x40;                     //Carrega valor para o registrador U2 (dig_2)
    cen = (disp_number%1000)/100;         //Calcula o dígito das centenas
    dig_cen = 0x01;                        //Ativa dígito das centenas
    counter = display_seg(cen, 0);         //Recebe o valor retornado do display

    digitalWrite(shift, LOW);              //Atualiza display
    my_register(counter);
    my_register(control_U2);
    digitalWrite(shift, HIGH);

} //end if dig_cen
```

```
else if(!dig_dez && control == 3)          //Dígito das dezenas desligado?
{
    //Variável de controle igual a 3?
    control = 0x04;                        //Sim, control recebe o valor 4
    dig_uni = 0x00;                        //Apaga o dígito das unidades
    dig_mil = 0x00;                        //Apaga o dígito dos milhares
    dig_cen = 0x00;                        //Apaga o dígito das centenas
    control_U2 = 0x20;                     //Carrega valor para o registrador U2 (dig_3)
    dez = (disp_number%100)/10;           //Calcula o dígito das dezenas
    dig_dez = 0x01;                        //Ativa dígito das dezenas
    counter = display_seg(dez, 0);         //Recebe o valor retornado do display
```

```

digitalWrite(shift, LOW);          //Atualiza display
my_register(counter);
my_register(control_U2);
digitalWrite(shift, HIGH);

} //end if dig_dez

else if(!dig_uni && control == 4)    //Dígito das unidades desligado?
{
    //Variável de controle igual a 4?
    control = 0x01;                //Sim, control recebe o valor 1
    dig_mil = 0x00;                //Apaga o dígito dos milhares
    dig_dez = 0x00;                //Apaga o dígito das dezenas
    dig_cen = 0x00;                //Apaga o dígito das centenas
    control_U2 = 0x10;             //Carrega valor para o registrador U2 (dig_4)
    uni = disp_number%10;           //Calcula o dígito das unidades
    dig_uni = 0x01;                //Ativa dígito das unidades
    counter = display_seg(uni, 0);  //Recebe o valor retornado do display

    digitalWrite(shift, LOW);      //Atualiza display
    my_register(counter);
    my_register(control_U2);
    digitalWrite(shift, HIGH);

} //end if dig_uni

} //end Timer2 OVF

// BLOCO 6 =====
// --- Configurações Iniciais ---

void setup()

```

```

{
  //Saídas digitais
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(red , OUTPUT);
  pinMode(green , OUTPUT);
  pinMode(blue , OUTPUT);
  pinMode(store, OUTPUT);
  pinMode(data, OUTPUT);
  pinMode(shift, OUTPUT);

  //Entradas digitais
  pinMode(botao1, INPUT);
  pinMode(botao2, INPUT);
  pinMode(botao3, INPUT);

  digitalWrite(buzzer, HIGH); //buzzer inicia desligado

  // -- Configuração do Estouro do Timer 2 --
  TCCR2A = 0x00; //Timer operando em modo normal
  TCCR2B = 0x07; //Prescaler 1:1024
  TCNT2 = 196; //Inicia conteúdo do Timer2 em 196d
  TIMSK2 = 0x01; //Habilita interrupção do Timer2

} //end setup

// BLOCO 7 =====
// --- Variáveis Globais ---
void loop()
{
  readButtons(); //lê botões

```

```
} //end setup
```

```
// BLOCO 8 =====  
// --- Controle dos Registradores de Deslocamento ---
```

```
void my_register(byte value)
```

```
{
```

```
    boolean control;
```

```
    digitalWrite(store, LOW); //deixa o registrador pronto para receber dados
```

```
    digitalWrite(data, LOW);
```

```
    for(int i = 0; i < 8; i++) //deslocamento dos dados
```

```
    {
```

```
        digitalWrite(store, LOW);
```

```
        if(value & (1<<i)) // testa se há dados para atualizar
```

```
        {
```

```
            control = HIGH;
```

```
        }
```

```
        else // Se não houver nenhum dado...
```

```
        {
```

```
            control = LOW;
```

```
        }
```

```
    digitalWrite(data, control); //Habilita a saída de dados conforme condições acima
```

```
    digitalWrite(store, HIGH); // Armazenar os 8 dados enviados
```

```

} //end for

digitalWrite(store, LOW); // Comando para garantir atualização da saída

} //end my_register

// BLOCO 9 =====
// --- Controle do Display ---
byte display_seg(byte num, boolean dp)
{
    byte anode; //armazena código BCD

    //-- Vetor para o código BCD --
    byte SEGMENTO[10]= {0x03, //BCD zero '0'
                        0x9F, //BCD um '1'
                        0x25, //BCD dois '2'
                        0x0D, //BCD três '3'
                        0x99, //BCD quatro '4'
                        0x49, //BCD cinco '5'
                        0x41, //BCD seis '6'
                        0x1F, //BCD sete '7'
                        0x01, //BCD oito '8'
                        0x19 //BCD nove '9'
    };

    if(!dp) anode = SEGMENTO[num]; //se dp igual a zero, retorna sem ponto decimal
    else anode = SEGMENTO[num] - 1; //senão, retorna com ponto decimal

    return(anode); //retorna o número BCD

} //end display

```

```

// BLOCO 10 =====
// --- Leitura dos Botões ---

void readButtons()
{

    if(!digitalRead(botao1))    //botão 1 pressionado?
    {
        //sim
        digitalWrite(buzzer, LOW);    //aciona buzzer
        f_botao1 = 0x01;    //seta flag

    } //end 1 pressionado

    if(!digitalRead(botao2))    //botão 2 pressionado?
    {
        //sim
        digitalWrite(buzzer, LOW);    //aciona buzzer
        f_botao2 = 0x01;    //seta flag

    } //end 2 pressionado

    if(!digitalRead(botao3))    //botão 3 pressionado?
    {
        //sim
        digitalWrite(buzzer, LOW);    //aciona buzzer
        f_botao3 = 0x01;    //seta flag

    } //end 3 pressionado

    if(digitalRead(botao1)&& f_botao1)    //botão 1 solto e flag setada?
    {
        //sim
        digitalWrite(buzzer, HIGH);    // desliga buzzer
        digitalWrite(red,  HIGH);    // liga led vermelho
        f_botao1 = 0x00;    //limpa flag
        disp_number = 1000;    // mostra 1000 no display
    }
}

```



```

} //end botão 1 solto

if(digitalRead(botao2) && f_botao2)    //botão 2 solto e flag setada?
{
    //sim
    digitalWrite(buzzer, HIGH);        //desliga buzzer
    digitalWrite(green, HIGH);        // liga led verde
    f_botao2 = 0x00;                   //limpa flag
    disp_number = 100;                 // mostra 100 no display

} //end botão 2 solto

if(digitalRead(botao3) && f_botao3)    //botão 3 solto e flag setada?
{
    //sim
    digitalWrite(buzzer, HIGH);        //desliga buzzer
    digitalWrite(blue, HIGH);          // liga led azul
    f_botao3 = 0x00;                   //limpa flag
    disp_number=10;                    // mostra 10 no display

} //end botão 3 solto

} //end readButtons

```