



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 35

GILVAN CHAVES FILHO

**“PEPPER’S GHOST”: COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA
ATRAVÉS DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA**

PONTA GROSSA/PR

2020

GILVAN CHAVES FILHO

**“PEPPER’S GHOST”: COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA
ATRAVÉS DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UEPG, Polo 35, no Curso de Mestrado 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 Antônio Bastos Bernardes

PONTA GROSSA/PR

2020

Chaves Filho, Gilvan
C512 "Pepper's Ghost": como ensinar/aprender conceitos de física através de uma simples ilusão de óptica / Gilvan Chaves Filho. Ponta Grossa, 2020. 195 f.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física - Área de Concentração: Física na Educação Básica), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes.

1. Fantasma de pepper. 2. Monga. 3. Leis da reflexão. 4. Resistividade. 5. Ausubel. I. Bernardes, Luiz Antônio Bastos. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Física na Educação Básica. III.T.

CDD: 530.1



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

GILVAN CHAVES FILHO

“Pepper’s Ghost”: como ensinar/aprender conceito de física através de uma simples ilusão de óptica.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós Graduação Profissional em Ensino de Física, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 30 de julho de 2020.

Membros da Banca:

Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes - (UEPG) – Presidente

Dr. Marcelo Emilio - (UEPG)

Dr. Mário Jose Van Thienen Silva - (UTFPR)



Documento assinado eletronicamente por **Mário José Van Thienen da Silva, Usuário Externo**, em 30/07/2020, às 15:56, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Emilio, Representante Discente**, em 30/07/2020, às 16:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Maria Sélia Blonski, Usuário Externo**, em 30/07/2020, às 16:12, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Antonio Bastos Bernardes, Professor(a)**, em 30/07/2020, às 19:52, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **0258218** e o código CRC **D7CA3E1E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Claudiani Chaves, por ser a referência de tudo o que é certo desde o início da minha vida e até o final/ por tentar me educar e me portar da melhor forma possível, mesmo que eu não tenha seguido 100% de tudo o que me passou/ por me incentivar a sempre estudar, aprender mais, atingir meus objetivos e buscar sempre realizar todos os meus sonhos/ por literalmente ser ao pé da letra minha mãe!

Agradeço ao professor Luiz Antônio Bastos Bernardes, por sua orientação e conselhos, tanto acadêmicos quanto para a vida, que me influenciaram e influenciarão muito em todas as minhas escolhas.

Agradeço aos meus amigos, a família que eu escolhi, principalmente ao Dair e a Jaqueline, por me ensinarem o real significado de amizade que é estar presente nos bons e maus momentos.

Agradeço aos meus tios e primos, Mariê, Leonardo, Arthur e “Bejaminus”, por me receberem de braços abertos em sua casa, facilitando conseguir todos os requisitos para me matricular como aluno regular nesse programa de mestrado.

Agradeço a todos os meus professores, por me ensinarem da melhor forma que podiam para que eu conseguisse chegar até aqui e até mesmo além.

Agradeço aos meus colegas, por me acompanharem e participarem da minha vida nesses anos de estudo, desde o meu primeiro momento na escola até o final desse mestrado.

Agradeço a todos os membros da minha família, por sempre apoiarem à sua maneira.

Agradeço ao Colégio Agrícola Augusto Ribas, seus funcionários, alunos e ao professor Jose Felipe, por permitirem a aplicação do meu produto educacional em uma de suas turmas de Ensino Médio.

E agradeço a todos com quem já interagi durante a minha vida, que de alguma forma auxiliaram no meu caminho até esse momento.

RESUMO

O uso de uma ilusão de óptica presente em truques de teatro do século XIX pode ser uma excelente ferramenta no ensino de Física. Neste trabalho, temos como objetivo ensinar conteúdos de Física tais como as leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial, resistência e resistividade. Isto é realizado através da montagem e estudo de uma ilusão de óptica conhecida como “Fantasma de Pepper” ou “Monga, a Mulher Macaco”, através de aulas práticas e contextualizadas, contendo experimentos simples, imagens e vídeos. Ao utilizar este processo, desejamos desenvolver, segundo Ausubel e Novak, os subsunçores necessários para que o aluno consiga ter uma aprendizagem significativa dos fenômenos físicos presentes neste aparato. Toda esta proposta de atividades está contida em dois cadernos didáticos: o caderno do professor e o caderno do aluno. Neste material estamos visando não só a aprendizagem de conceitos de Física, mas também a contextualização histórica e cultural envolvendo o surgimento da atual holografia. Os dois cadernos foram aplicados em uma turma de segundo ano do Ensino Médio no Colégio Agrícola Augusto Ribas, localizado na cidade de Ponta Grossa – PR, nos meses de setembro e outubro de 2019. Para a avaliação da aprendizagem dos alunos, foram aplicados questionários e produzidos mapas mentais. A análise qualitativa deste material foi realizada através de nuvens de palavras e gráficos de similitude gerados pelo software IRAMUTEQ.

Palavras-chave: Fantasma de Pepper; Monga; Leis da reflexão; Resistividade; Ausubel.

ABSTRACT

The use of an optical illusion present in 19th century theater tricks can be an excellent tool in the teaching of Physics. In this work, we aim to teach Physics content such as the laws of reflection, electric current, potential difference, resistance and resistivity. This is accomplished through the assembly and study of an optical illusion known as "Pepper's Ghost" or "Monga, the Monkey Woman", through practical and contextualized classes, containing simple experiments, images and videos. When using this process, we wish to develop, according to Ausubel and Novak, the necessary subunits for the student to have a significant learning of the physical phenomena present in this apparatus. This whole proposal of activities is contained in two didactic notebooks: the teacher's notebook and the student's notebook. In this material we are aiming not only at learning Physics concepts, but also at the historical and cultural contextualization involving the emergence of the current holography. The two notebooks were applied to a second-year high school class at Colégio Agrícola Augusto Ribas, located in the city of Ponta Grossa - PR, in the months of September and October 2019. To assess students' learning, questionnaires and mind maps were produced. The qualitative analysis of this material was carried out using word clouds and similarity graphics generated by the IRAMUTEQ software.

Key words: Pepper's Ghost; Monga; Reflection laws; Resistivity; Ausubel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de mapa conceitual do tema REFLEXÃO.....	23
Figura 2: Exemplo de mapa mental do tema REFLEXÃO.	23
Figura 3: Menor caminho percorrido por um raio de luz entre os pontos A-E-B.	25
Figura 4: Ilustração da lei da reflexão.	25
Figura 5: (A) Objeto e observador na frente de um espelho plano. (B) Formação de imagem em um espelho plano, apresentando raios incidentes, raios refletidos e o prolongamento dos raios refletidos.	26
Figura 6: Equação matemática do número de imagens formado em uma associação de dois espelhos planos.	26
Figura 7: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.	27
Figura 8: Relação matemática da Lei de Coulomb.....	27
Figura 9: À esquerda uma ilustração da balança de torção e à direita uma foto de uma balança de torção.	28
Figura 10: Equação do campo elétrico.	28
Figura 11: Linhas de força de cargas pontuais.	28
Figura 12: Campo elétrico tangente à linha de força.	29
Figura 13: Na região A o campo elétrico é mais intenso que na região B, devido à proximidade das linhas de força.	29
Figura 14: Partícula positiva sendo atraída pela placa carregada negativamente.....	30
Figura 15: Relação matemática entre potencial elétrico, energia potencial elétrica e carga.	30
Figura 16: Elétrons livres em movimento aleatório dentro de um fio condutor.....	30
Figura 17: Movimento ordenado das partículas negativas dentro do condutor, devido ao campo que surge da diferença de potencial.	31
Figura 18: Sentido convencional da corrente.	31
Figura 19: Relação matemática que define a resistência R.	32
Figura 20: Relação matemática que define a resistividade de um material.....	32
Figura 21: Relação matemática que define a densidade de corrente elétrica.	32
Figura 22: Relação matemática entre a resistência R de um objeto e as propriedades desse objeto (resistividade ρ , comprimento L e área de seção reta A).....	32
Figura 23: Exemplos de potenciômetro.....	33
Figura 24: (A) Potenciômetro de tinta condutiva de grafite produzido por um dos alunos; (B) Primeiro modelo de potenciômetro, apresentado por H.J. Evans.	33
Figura 25: Relação entre tipos de aprendizagem e métodos de aprendizagem.	34
Figura 26: Fantasma de Pepper de um vídeo de uma entrevista, produzido pelos alunos com o celular e placa de acrílico inclinada.....	37
Figura 27: Outro dos fantasmas de Pepper produzidos pelos alunos com um vídeo no celular e placa de acrílico inclinada. Nessa ilusão de óptica é possível observar um rato pendurado aparentando estar dançando em cima da mesa da sala.	37
Figura 28: Apresentação de um trecho do filme “Lisbela e o Prisioneiro” para os alunos.	37
Figura 29: Alunos montando o primeiro experimento, posicionando o espelho plano no meio do papel quadriculado.....	38

Figura 30: Segundo experimento com os dois espelhos conectados por uma das laterais sobre o transferidor, em um ângulo de 90°.....	39
Figura 31: Primeiro ponto de vista do terceiro experimento onde não se vê nenhum dos reflexos produzidos pelas pilhas.....	39
Figura 32: Segundo ponto de vista do terceiro experimento onde é possível verificar a formação de reflexos no espelho na diagonal.....	40
Figura 33: Alunos pintando circuito com a tinta condutiva em um pedaço de papelão.	40
Figura 34: Alunos testando o circuito de tinta condutiva, verificando a variação de resistência através da variação de luminosidade do LED.....	41
Figura 35: Alunos montando e testando o potenciômetro de tinta condutiva com duas entradas diferentes.	41
Figura 36: “Screenshots” de um vídeo de alunos testando o potenciômetro montado com a tinta condutiva, proposto no capítulo IV.	42
Figura 37: “Screenshots” de um vídeo de alunos testando a “Mini-Monga”.	42
Figura 38: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por quase todos os alunos (alunos W e X não estavam presentes) no primeiro dia de aplicação dos cadernos.....	43
Figura 39: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por todos os alunos no último dia de aplicação dos cadernos.	44
Figura 40: À esquerda, mapa mental prévio produzido pelo aluno F. À direita, mapa mental final produzido pelo aluno F.....	45
Figura 41: À esquerda, mapa mental prévio produzido pelo aluno J. À direita, mapa mental final produzido pelo aluno J.	45
Figura 42: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por quase todos os alunos (alunos W e X não estavam presentes) no primeiro dia de aplicação dos cadernos.	46
Figura 43: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por todos os alunos no último dia de aplicação dos cadernos.	47
Figura 44: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 1 dos cadernos aplicados.	48
Figura 45: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 1 dos cadernos aplicados.	49
Figura 46: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 2 dos cadernos aplicados.	50
Figura 47: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 2 dos cadernos aplicados.	51
Figura 48: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 3 dos cadernos aplicados.	52
Figura 49: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 3 dos cadernos aplicados.	53
Figura 50: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 4 dos cadernos aplicados.	54
Figura 51: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 4 dos cadernos aplicados.	55

Figura 52: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, baseada em todas as anotações presentes nos cadernos.....	56
Figura 53: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, baseado em todas as anotações presentes nos cadernos.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de trabalhos relacionados à Ilusão de Óptica e Ensino.	18
Tabela 2: Palavras que mais apareceram no capítulo 1 e quantas vezes elas apareceram.	48
Tabela 3: Palavras que mais apareceram no capítulo 2 e quantas vezes elas apareceram.	50
Tabela 4: Palavras que mais apareceram no capítulo 3 e quantas vezes elas apareceram.	52
Tabela 5: Palavras que mais apareceram no capítulo 4 e quantas vezes elas apareceram.	54
Tabela 6: Palavras que mais apareceram no caderno do aluno e quantas vezes elas apareceram.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNEF - Simpósio Nacional em Ensino de Física

CBEF - Caderno Brasileiro de Ensino de Física

FnE - Física na Escola

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

RBEF - Revista Brasileira de Ensino de Física

SINECT - Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SPF - Sociedade Portuguesa de Física

EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física

ERMNPEF - Encontro Regional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

EDUCERE - Congresso Nacional de Educação

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	13
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.3.1 Problemas	15
1.3.2 Hipóteses	16
1.4 JUSTIFICATIVA	16
1.5 OBJETIVOS	16
1.5.1 Geral	16
1.5.2 Específicos.....	17
1.6 CAMPO DE EXPERIMENTAÇÃO DO PRODUTO	17
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.2 REVISÃO METODOLÓGICA.....	20
2.2.1 Conhecimentos prévios & Subsúncios.	20
2.2.2 Organizadores prévios.	21
2.2.3 Aprendizagem Correta & Aprendizagem Incorreta.....	21
2.2.4 Aprendizagem Significativa & Aprendizagem Mecânica.	21
2.2.5 Aprendizagem por Recepção & Aprendizagem por Descoberta.....	22
2.2.6 Mapas Conceituais & Mapas Mentais.	22
CAPÍTULO 3 – A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER.....	24
3.1 ÓPTICA.....	24
3.1.1 Reflexão.....	24
3.1.2 O princípio do mínimo tempo de Fermat	24
3.1.3 Lei da reflexão	25
3.1.4 Imagem real e imagem virtual	25
3.1.5 Espelhos planos	25
3.1.6 Associação de espelhos planos	26
3.2 ELETRODINÂMICA	27
3.2.1 Carga Elétrica	27
3.2.2 Lei de Coulomb e força elétrica	27
3.2.3 Campo elétrico.....	28
3.2.4 Variação de energia potencial elétrica & energia potencial elétrica.....	29
3.2.5 Potencial elétrico e diferença de potencial (ddp, tensão ou voltagem)	30
3.2.6 Fluxo de carga e corrente elétrica.....	30
3.2.7 Resistência elétrica - Definição e relação entre resistência e resistividade	31
3.2.8 Leitura Suplementar - O funcionamento do potenciômetro utilizado na montagem do Fantasma de Pepper durante as aulas.	33
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA.....	34
3.1 INTRODUÇÃO.....	34
3.2 PRODUTO DIDÁTICO	34

3.3 APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	35
3.3.1 Primeira-aula & Segunda-aula (20/09/2019) - Produção de mapas mentais & Aplicação dos capítulos I e II.	36
3.3.2 Terceira-aula & Quarta-aula (27/09/2019) - Aplicação do capítulo III.....	38
3.3.3 Quinta-aula & Sexta-aula (04/10/2019) - Aplicação do capítulo IV.....	40
3.3.4 Sétima-aula & Oitava-aula (11/10/2019) - Aplicação do capítulo V, Produção de mapas mentais & Montagem da “Mini-Monga”.	42
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL – CADERNO DO PROFESSOR.....	62
APÊNDICE B: PRODUTO EDUCACIONAL – CADERNO DO ALUNO	111
APÊNDICE C: PRODUTO EDUCACIONAL – KIT EXPERIMENTAL	165
APÊNDICE D: PRODUTO EDUCACIONAL – MÍDIA EM CD COM OS MATERIAIS PARA AS AULAS PROPOSTAS	166
APÊNDICE E: MAPAS MENTAIS PRÉVIOS.....	167
APÊNDICE F: MAPAS MENTAIS FINAIS	179
APÊNDICE G: APRESENTAÇÃO NO “ENCONTRO REGIONAL SUL DO MNPEF – 2019”	192
APÊNDICE H: APRESENTAÇÃO NA “VI ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA”	193
APÊNDICE I: APRESENTAÇÃO NA “XXII SEMANA DA FÍSICA DA TERRA À LUA 50 ANOS DE UM SONHO”.....	194
APÊNDICE J: SUBMISSÃO DE TRABALHO NO “XVIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA”	195

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

O tema holografia é muito discutido na mídia atual e bastante presente em shows e jogos eletrônicos. Um fato curioso é que uma ilusão de óptica, muito semelhante a um holograma, é mencionada desde o século XVI, porém apenas no século XIX ela foi adaptada e melhorada, tendo a sua utilização registrada em peças de teatro.

O uso didático de ilusões de óptica despertou o interesse de diversos pesquisadores, em Menegazzo (2011) atividades práticas relacionadas com ilusões de óptica são utilizadas para facilitar o entendimento da formação de imagens no olho humano e em espelhos, para uma turma de alunos da 8ª série do Ensino Fundamental.

Verificamos em Ramos e Souza (2003) que:

Ilusões de ótica geram na maioria das vezes um interesse muito grande nos alunos. De uma maneira geral, há um certo desconforto e ao mesmo tempo um fascínio ao observar algo e não conseguir distinguir claramente o que realmente está acontecendo; algumas ilusões de ótica estão associadas com o efeito da persistência da visão.

Em seu trabalho, Ramos e Souza (2003), com o auxílio de um monitor de computador e um disco de cartolina, mostraram como podem ser observados vários efeitos interessantes relacionados com a persistência da visão, os quais raramente são discutidos em livros textos do Ensino Médio do GREF (1998) e de Ferraro e Soares (1998). Sendo assim, podemos usar o interesse natural do ser humano em entender o funcionamento de ilusões de óptica para motivar o ensino dos conceitos de Física necessários à sua compreensão. Com base nesses e outros autores, foi escolhido o tema holografia no trabalho que será apresentado.

Antes de seguir para a delimitação do tema desta dissertação, é importante ressaltar a diferença entre uma ilusão de óptica e a holografia. O processo utilizado para gerar um holograma é conhecido como holografia. Esses termos foram cunhados em 1948 pelo físico húngaro Dennis Gabor (NOBEL, 2018). Em seus trabalhos, utilizando uma luz branca normal, ele conseguiu desenvolver uma forma de fotografia que colhia uma grande quantidade de informações, como textura e relevo de um material, através da captura de padrões de interferência criados pela técnica. Em 1962, a técnica desenvolvida por Gabor foi aperfeiçoada por Emmett Leith e Juris Upatnieks (FERREIRA; LOPES, 2019).

O termo “holograma” também pode ser utilizado para descrever ilusões de óptica que aparentam ter características tridimensionais, mesmo sendo obtidas através da projeção de imagens bidimensionais. Essa projeção de imagens bidimensionais pode ocorrer com as ilusões de óptica que produzem no observador a sensação de que um objeto está na sua frente; quando, na verdade, é

apenas uma projeção de um objeto que aparenta estar na frente do observador. As primeiras observações desse tipo de ilusão de óptica datam do século XVI e foram registradas pelo filósofo natural italiano Giambattista Della Porta em seu livro *Magia Naturalis* (DELLA PORTA, 1714). Durante o século XIX os ingleses John Henry Pepper (SECCOMBE, 1901) e Henry Dircks (SUTTON, 1885-1900), usaram como inspiração os registros de Della Porta para a criação de um aparato nomeado “Pepper’s Ghost” (Fantasma de Pepper) que realizava ilusões de óptica fantasmagóricas na frente do público, ganhando renome mundial.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Em Medeiros (2006) verificamos que desde a década de 70 são feitos estudos sobre uso de ilusões de óptica no ensino de Física, e que as mesmas ilusões podem ser úteis no desenvolvimento dos alunos em caráter de observação, formulação de hipóteses, coleta e interpretação de dados.

Considerando essas características também é possível se apropriar da ilusão de óptica em questões envolvendo suas várias versões e montagens distintas, não apenas dando importância para o efeito óptico. Um exemplo disso é explorar por completo um aparato conhecido como Pepper’s Ghost (Fantasma de Pepper) em uma de suas versões mais recentes - Monga, a Mulher Macaco - que utiliza um potenciômetro para fazer variações de luminosidade, criando ilusões na frente do público. A montagem desse aparato exige um bom conhecimento de óptica e de eletrodinâmica. O efeito apresentado pelo Fantasma de Pepper é muito semelhante ao da atual holografia. De acordo com Medeiros (2006), a holografia chama muito a atenção, mesmo daqueles que já a conhecem. Sendo assim, podemos usar o interesse natural do ser humano em entender o seu funcionamento para motivar o ensino dos conceitos de Física necessários à sua compreensão.

Desse modo, este trabalho terá enfoque no desenvolvimento de uma metodologia de ensino para desencadear a aprendizagem significativa de alunos do Ensino Médio. Essa aprendizagem terá enfoque em alguns dos temas de Física necessários à compreensão da montagem e funcionamento do aparato mencionado, associando-o à holografia atual. Os principais temas que podem ser trabalhados com esse aparato são: a reflexão da luz em espelhos e vidros; conceitos de corrente, resistência, potencial elétrico e resistividade.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

1.3.1 Problemas

Dos empecilhos presente no ensino da Física no Ensino Médio, três nos chamaram atenção. O primeiro deles é relatado por Menegazzo (2011):

Outro empecilho encontrado ao ensinar Ciências constitui no número reduzido de aulas semanais e no número elevado de conteúdos. Fato este que impede o aprofundamento teórico, apenas em um ano letivo, nos conteúdos de química e física. Desta forma, é importante que o professor do ensino fundamental interaja com os educandos para despertar neles o interesse pelas Ciências.

É possível notar que nas aulas de Ciências do Ensino Fundamental que a quantidade de conteúdos propostos para os anos finais é demasiadamente densa, mesmo em alguns casos não havendo a necessidade do professor utilizar cálculos e fórmulas durante as aulas. Para professores do Ensino Médio que ensinam Ciências, sendo a carga de estudo dividida entre aulas de Biologia, Física e Química, a quantidade de conteúdos a serem trabalhados continua muito grande, tendo agora ênfase no uso de cálculos e fórmulas. Por esse motivo, tentando cumprir a proposta realizada, alguns professores não se preocupam com o real processo de ensino-aprendizagem, fazendo com que apenas informações e ideias sejam passadas durante as aulas, ficando armazenadas, tornando esse um processo mecânico de memorização.

Essa dificuldade no ensino de Física, mencionada no parágrafo anterior, desenvolve um segundo empecilho que é a falta de interesse dos alunos nas aulas, como relatado por Mendes; Costa e Souza (2012): *“Esse tipo de ensino baseado em aulas expositivas pode, entre outras coisas não desejáveis, gerar desinteresse em aprender ciências. Uma provável consequência disso é um nível de aprendizagem baixo e uma taxa de repetência elevada”*.

Em muitos casos também há temas que são simplesmente apresentados rapidamente pelo professor ou sugeridos pelo livro didático durante a aula, sendo que tais temas não condizem com a realidade em que os alunos estão inseridos, ou ainda, simplesmente não são contextualizados para tornar sua aprendizagem interessante.

E o terceiro empecilho está relacionado com a dificuldade de assimilação dos conceitos físicos apresentados. Alguns desses conceitos estão associados às áreas de eletrodinâmica e óptica. Desse modo, torna-se necessário que sejam desenvolvidas novas maneiras de ensinar esses temas no Ensino Médio.

1.3.2 Hipóteses

Neste trabalho, fazemos a hipótese de que uma forma de facilitar a aprendizagem dos temas citados é:

- O professor levar para sala de aula temas e problematizações que sejam interessantes aos alunos e/ou façam parte da realidade em que eles estão inseridos
- Propondo aulas com contextualizações históricas e situações cotidianas
- Realizar atividades e experimentos simples durante a aula, de tal modo que o aluno participe ativamente da aula.

1.4 JUSTIFICATIVA

A importância do uso e criação de hologramas ultrapassa os conceitos de óptica da Física do Ensino Médio. A correta compreensão desse interessante fenômeno físico, segundo Medeiros (2006), exige que os alunos desenvolvam habilidades próprias do “pensar e agir cientificamente”, tais como:

- Observar detalhadamente um fenômeno natural, uma situação no cotidiano ou um experimento de laboratório;
- Fazer perguntas e elaborar hipóteses que contribuam para a correta compreensão do que foi observado;
- Montar modelos físicos e matemáticos que expliquem os fatos observados; e comprovar experimentalmente estes modelos, argumentando através de uma linguagem científica.

O desenvolvimento dessas habilidades no aluno justifica a presente dissertação.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Geral

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver uma proposta de ensino que propicie a aprendizagem significativa de conceitos físicos relacionados à compreensão de como se forma uma ilusão de óptica semelhante a um holograma.

1.5.2 Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Elaborar um caderno didático pedagógico para auxiliar as aulas do professor;
- Desenvolver um caderno do aluno com textos complementares, atividades práticas e questionários;
- Comprovar o desenvolvimento de subsunçores e a aprendizagem significativa dos conceitos físicos presentes na ilusão de óptica conhecida como Fantasma de Pepper, por meio de mapas conceituais e questionários.

1.6 CAMPO DE EXPERIMENTAÇÃO DO PRODUTO

O produto deste trabalho foi aplicado entre os dias 20 de setembro e 11 de outubro de 2019, em uma turma do segundo ano do Ensino Médio no Colégio Agrícola Augusto Ribas (CAAR). O CAAR compartilha terreno com a Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), e ambos ficam no bairro de Uvaranas na cidade de Ponta Grossa – PR. A turma em que o produto foi aplicado é formada por 32 alunos registrados, sendo que 24 alunos frequentando regularmente, com idades entre 15 e 18 anos.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para fundamentar bem este trabalho, foi feito um levantamento bibliográfico envolvendo o uso de ilusões de óptica para o ensino de conceitos de Física. Os trabalhos encontrados e analisados são apresentados na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Relação de trabalhos relacionados à Ilusão de Óptica e Ensino.

TÍTULO	AUTOR(ES)	ANO	TRABALHO	LOCAL
A COMPREENSÃO DA HOLOGRAFIA E AS CONCEPÇÕES SOBRE LUZ E VISÃO	MATOS & PACCA	2005	ARTIGO	XVI SNEF
A HISTÓRIA E A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER	MEDEIROS	2006	ARTIGO	CBEF
CIÊNCIA E ARTE NA FEIRA: UM RELATO DA EXPERIÊNCIA COM ILUSÕES DE ÓPTICA	LIMA, MACEDO & GERMANO.	2009	ARTIGO	XVIII SNEF
CRIANDO ILUSÕES DE ÓPTICA USANDO UM MONITOR DE COMPUTADOR	RAMOS & SOUZA	2003	ARTIGO	FnE
DESVENDANDO OS HOLOGRAMAS	GOMES	2010	TCC de Graduação	UFRJ
EL HOLOGRAMA Y SU UTILIZACION COMO UN MÉDIO DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EN INGENIERIA	TOLEDO, CRUZ, ZALDO, LUNAZZI & MAGALHÃES.	2009	ARTIGO	RBEF
ENSINAR FÍSICA A PARTIR DE ILUSÕES DE ÓPTICA: REFLEXÃO TOTAL, DISPERSÃO, REFRAÇÃO E REFLEXÃO.	PARISOTO	2010	ARTIGO	II SINECT
ESTUDO DAS AFFORDANCES PARA APRENDIZAGEM DOS CONCEITOS DE PERSPECTIVA HOLOGRÁFICA, EM ÓPTICA FÍSICA, POR MEIO DE UM SIMULADOR DE HOLOGRAMAS, PARA O ENSINO MÉDIO	VERGENNES	2017	TCC de Especialização	UTFPR
EXPERIOMENTOS DESENVOLVIDOS PELO PIBID/UFRJ E DINÂMICA EM SALA DE AULA: ILUSÕES DE ÓPTICA	SOARES, SOUSA & VIANA	2015	OFICINA	XXI SNEF
FÍSICA: DA ILUSÃO À ÓPTICA	BIÉGAS, DECHANDT & NASCIMENTO.	2010	ARTIGO	II SINECT
HACIENDO HOLOGRAMAS EN LA ESCUELA Y EN LA CASA	TOLEDO, YERAS, MAGALHÃES, MURAMATSU & LEMUS	2010	ARTIGO	RBEF
HOLOGRAFIA: UM PROJECTO PARA O ENSINO SECUNDÁRIO	SILVA	2011	ARTIGO	SPF
ILUSÕES VIRTUAIS SOBRE O USO DE OBJETOS DE APRENDIZAGEM PARA A EXPLORAÇÃO DE ILUSÕES DE ÓPTICA EM UM MUSEU	BEVILAQUA, ARAÚJO, SOUZA, SILVA & COLONESE.	2010	ARTIGO	XII EPEF
O FANTASMA DE PEPPER E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA	ABREU & SOUSA	2019	ARTIGO	I ERMNPEF Centro-Oeste/Norte
O SENTIDO DA VISÃO E A ILUSÃO DE ÓPTICA: ATIVIDADES COMPLEMENTARES	MENEGAZZO	2011	ARTIGO	X EDUCERE
PIRÂMIDE "HOLOGRÁFICA": ERROS CONCEITUAIS E POTENCIAL DIDÁTICO	SCHIVANI, SOUZA & PEREIRA	2013	ARTIGO	RBEF

Fonte: Autor.

Os trabalhos apresentados na tabela acima foram organizados alfabeticamente, mas, para analisá-los, serão colocados em quatro grupos: trabalhos usando hologramas no ensino de Física; trabalhos usando ilusões de óptica no ensino de Física; trabalhos usando exposições com ilusões de óptica para o ensino de Física; e trabalhos usando o fantasma de Pepper para o ensino de Física.

Vemos que Matos e Pacca (2005) parte do pressuposto que os alunos possuem concepções prévias sobre luz e visão. Os autores tentam corrigir concepções erradas sobre esses conceitos utilizando o tema holografia como um agente problematizador. Procuram explicar como funciona e

como se forma um holograma, por meio da geração de novas hipóteses a cada novo conceito aprendido.

Já Gomes (2010) prefere explorar a curiosidade dos alunos pelo tema holograma com filmes, softwares e experimentos de baixo custo, como uma forma dinâmica e qualitativa de ensinar os conceitos por trás da interferência e difração da luz.

A construção de um simulador de holograma de baixo custo engloba o desenvolvimento de propostas inovadoras no ensino da óptica na escola, segundo Vergennes (2017).

O mesmo relata Toledo et.al (2010) em uma proposta inovadora que utiliza diodos laser para a produção de hologramas em salas de aula, facilitando o ensino-aprendizagem da física envolvida.

Pelos relatos de Silva (2011) é possível produzir hologramas no Ensino Médio com bons retornos em relação ao ensino-aprendizagem de diversos conceitos de Física, mesmo tendo altos investimentos financeiros nos equipamentos envolvidos.

Mas Schivani; Souza; Pereira (2018) alerta sobre os cuidados que o professor deve ter ao associar holograma com alguma ilusão de óptica, pois, o holograma é uma importante técnica de fotografia e registro de informações em 3D, que utiliza padrões de interferência; já a ilusão de óptica é um efeito que produz imagens 2D a partir da reflexão da luz. Erros assim podem ser muito prejudiciais para o desenvolvimento dos alunos.

Foi constatado por PARISOTO (2010) o potencial das ilusões de óptica, associadas a atividades experimentais, jogos, tirinhas e problematizações, como estratégia facilitadora no ensino de conceitos de Física como reflexão total, dispersão, refração e reflexão.

Em Biégas, Dechandt e Nascimento (2010), quando o professor propõe diversas atividades experimentais simples e de baixo custo, que englobam ilusões de óptica, um grande interesse dos educandos é despertado.

É proposto por Soares; Sousa e Viana (2015) algumas atividades, em formato de oficina, com ilusões de óptica sendo usadas como facilitadoras no ensino de conceitos de Física.

É relatado em Lima; Macedo e Germano (2009) que a interação livre e a reação de um público a painéis de ilusões de óptica, expostos em espaços livres, ocasionaram grande repercussão, permitindo construir conhecimentos conjuntos desse público com os professores e estudantes envolvidos no projeto.

Para Toledo et.al (2009), com o surgimento dos hologramas reconstruídos a partir da luz branca é possível elaborar uma exposição didática de holografia para cursos de engenharia, aproveitando as características distintas de um holograma que o tornam um meio de ensinar conceitos de Física.

Bevilaqua et.al (2010) verifica as possibilidades do uso de ilusões de óptica como objetos de aprendizagem em uma exposição no Museu, gerando ambientes multidisciplinares com alto grau na manipulação e desconstrução dessas ilusões de óptica.

Em Abreu e Sousa (2019) foi utilizado o fantasma de Pepper para despertar o interesse de alunos do ensino médio na aprendizagem de óptica geométrica, partindo da curiosidade natural pelas ilusões de óptica como motivador.

Todos os trabalhos apresentados nessa pesquisa bibliográfica apresentam pesquisas voltadas unicamente ao ensino de conceitos de óptica por meio de ilusões de óptica. Nesta dissertação pretendemos ensinar alguns conceitos de óptica e eletrodinâmica utilizando a produção de uma ilusão de óptica, incentivando assim a investigação mais aprofundada desses temas pouco usuais que abrangem os mais diversos conceitos de Física.

2.2 REVISÃO METODOLÓGICA

A metodologia de ensino explorada neste trabalho é baseada na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel. A teoria de aprendizagem significativa é bem atual, trazendo a ideia de atribuir significado a novos conhecimentos adquiridos pelo uso de conhecimentos prévios relevantes.

2.2.1 Conhecimentos prévios & Subsunçores

É salientado por MOREIRA (2012) que:

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-litera e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.

O conhecimento prévio exposto no trecho acima também é chamado de subsunçor, e este pode ser qualquer “coisa” presente no subconsciente do indivíduo: um objeto, uma situação, uma representação, uma ideia ou um conceito. Ao longo do ensino-aprendizagem, este subsunçor é utilizado como base, tornando-se mais forte e com uma maior quantidade de significados, criando ramificações do conhecimento e possíveis novos subsunçores. Este conhecimento prévio é a variável mais importante para desenvolver uma aprendizagem significativa. Ele pode ser um facilitador ou um bloqueador, dependendo do material utilizado e da predisposição do aprendiz a aprender.

2.2.2 Organizadores prévios

Um organizador prévio tem como função interligar os subsunçores do aprendiz com o conhecimento significativo que ele deve adquirir. É dito em Moreira (2008) que:

Os organizadores prévios podem tanto fornecer 'idéias âncora' relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre idéias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem (...)

Utilizando organizadores prévios, tais como textos, imagens e vídeos, após a discussão de alguns temas com o intuito de verificar os subsunçores dos aprendizes, é possível criar certas linhas de raciocínio que podem facilitar o desenvolvimento da sua estrutura cognitiva.

2.2.3 Aprendizagem Correta & Aprendizagem Incorreta

Outro equívoco está em relacionar a aprendizagem significativa a um conhecimento correto e a aprendizagem mecânica a um conhecimento errado. Naturalmente é possível aprender algo incorreto de forma significativa, como, por exemplo: o Sol é uma grande bola de fogo. Cabe ao professor organizar e corrigir esses possíveis erros significativos nos alunos. Caso não existam subsunçores, o uso de organizadores prévios durante as aulas se faz necessário.

2.2.4 Aprendizagem Significativa & Aprendizagem Mecânica

Existe um equívoco quando tentam explicar a diferença entre uma aprendizagem mecânica e uma aprendizagem significativa, sendo geralmente que: em uma você aprende e esquece (mecânica); e na outra você aprende e não esquece (significativa). Na realidade aprendido pode ser esquecido, mas, quando ele é significativo, o reaprender se torna muito mais fácil e simplificado, pois a estrutura cognitiva do indivíduo já está organizada e apresenta a necessidade de relembrar alguns dos significados já estabelecidos. Quando uma aprendizagem é mecânica, não existem significados pré-existentes na estrutura cognitiva para auxiliar na reaprendizagem. A aprendizagem significativa ocorre na interação não-arbitrária (que segue princípios lógicos, dependendo de regras e normas) e não-literal (que não precisa ficar explícita) de conhecimentos novos com conhecimentos prévios.

Outro equívoco está em relacionar a aprendizagem significativa a um conhecimento correto e a aprendizagem mecânica a um conhecimento errado. Naturalmente é possível aprender algo incorreto de forma significativa, como, por exemplo: o Sol é uma grande bola de fogo. Cabe ao

professor organizar e corrigir esses possíveis erros significativos nos alunos. Caso não existam subsunçores, o uso de organizadores prévios durante as aulas se faz necessário.

2.2.5 Aprendizagem por Recepção & Aprendizagem por Descoberta

Existe duas formas significativas de um aprendiz adquirir conhecimento: uma é por recepção e outra é por descoberta.

Na aprendizagem por recepção o aprendiz recebe um conhecimento na sua forma final, por meio de aulas tradicionais, livros, experimentos, vídeos, simulações, etc. O trabalho do aprendiz é adquirir esse conhecimento em sua estrutura cognitiva, relacionando-o com seus conhecimentos prévios e então aplicar este novo conhecimento em diferentes situações propostas. Na aprendizagem por descoberta o aprendiz deve primeiramente descobrir um conhecimento novo, associá-lo aos seus subsunçores e então incorporá-lo a sua estrutura cognitiva.

Em ambas as formas o aprendiz participa ativamente do processo de aprendizagem, e ambas as formas podem gerar uma aprendizagem significativa. Algo que deve ser levado em consideração é a dificuldade e viabilidade em adquirir todos os conhecimentos possíveis por meio de descoberta, evidenciando a importância do uso e associação destas duas formas de aprendizagem.

2.2.6 Mapas Conceituais & Mapas Mentais

Uma forma de verificar a aprendizagem significativa de um indivíduo é através da produção de mapas conceituais e de mapas mentais sobre o tema trabalhado. Temos em MOREIRA (2005) que:

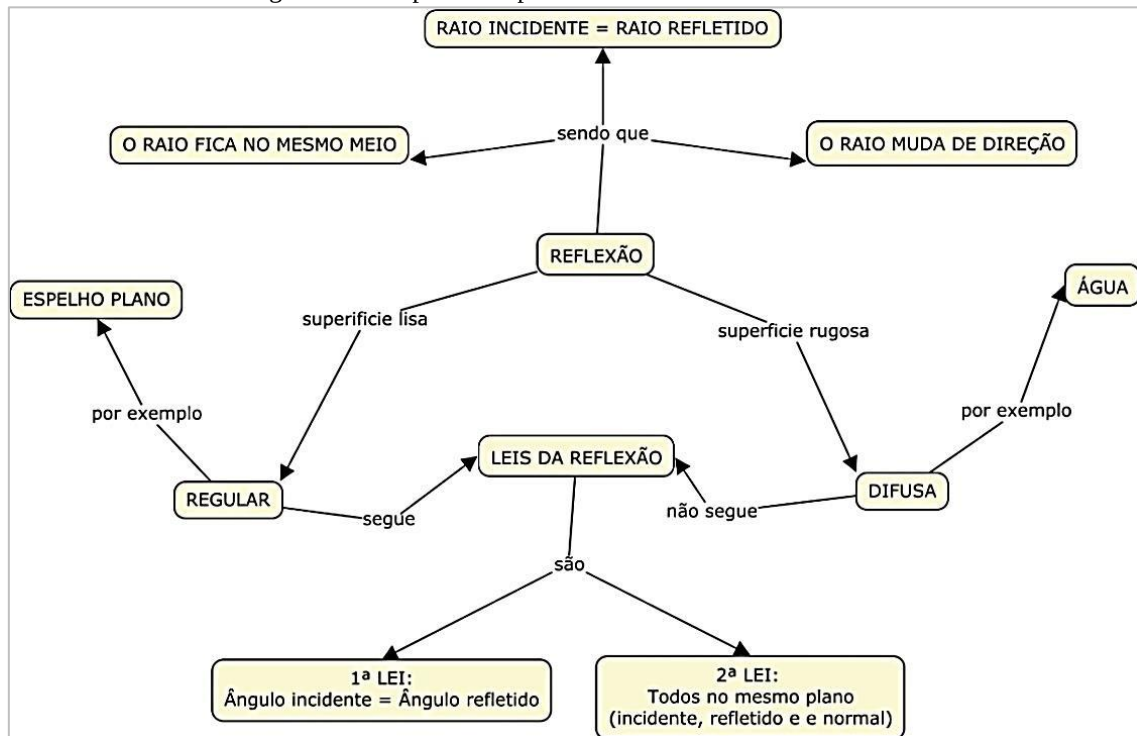
Mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais, se for o caso. Isso também os diferencia das redes semânticas que não necessariamente se organizam por níveis hierárquicos e não obrigatoriamente incluem apenas conceitos. Mapas conceituais também não devem ser confundidos com mapas mentais que são livres, associacionistas, não se ocupam de relações entre conceitos, incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente.

Um mapa conceitual é um diagrama de significados que se limita a apresentar, de forma hierárquica, conceitos e suas relações, sem necessidade de ordem sequencial ou cronológica, tendo como objetivo relacionar conceitos e hierarquizá-los em grau de abrangência.

Já um mapa mental é mais inclusivo, podendo ter associações entre objetos, ideias, conceitos, situações e eventos, sem a necessidade de apresentar uma relação entre os conceitos ou uma organização hierárquica.

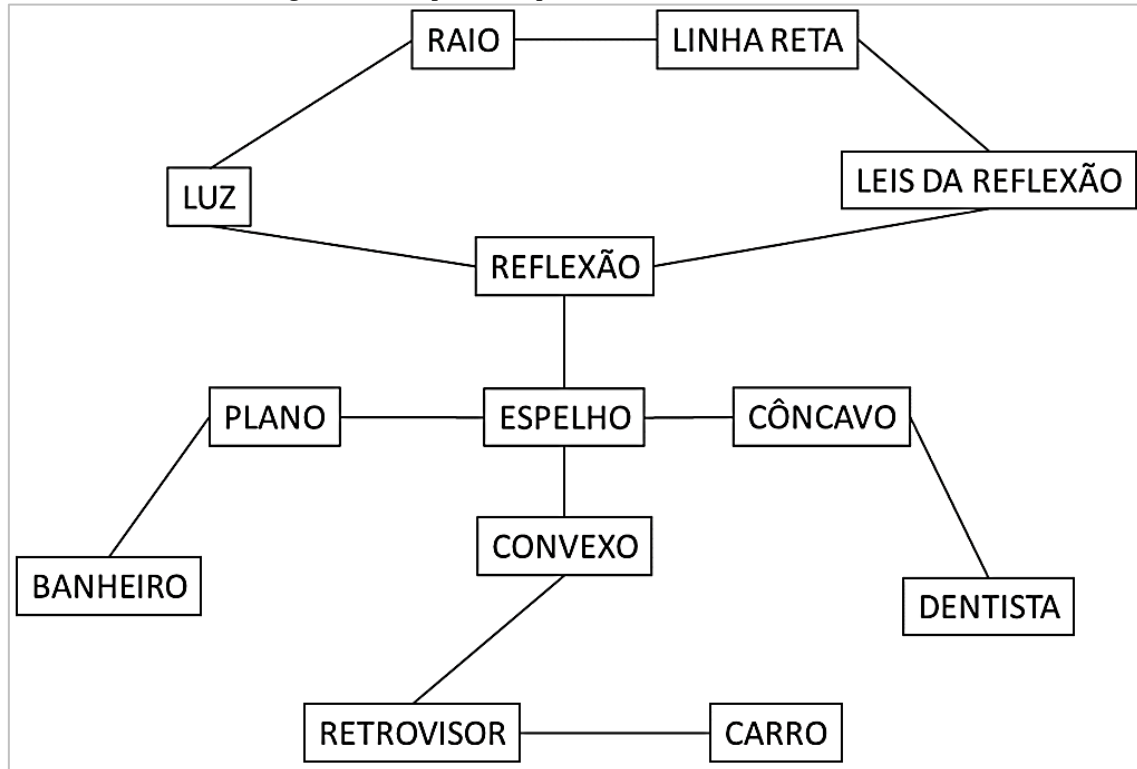
A seguir, na Figura 1 e Figura 2, apresentamos exemplos de um mapa mental e um mapa conceitual, respectivamente.

Figura 1: Exemplo de mapa conceitual do tema REFLEXÃO.



Fonte: Autor.

Figura 2: Exemplo de mapa mental do tema REFLEXÃO.



Fonte: Autor.

CAPÍTULO 3 – A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER

3.1 ÓPTICA

A introdução teórica a seguir foi baseada no capítulo 28 do livro “FÍSICA CONCEITUAL” de Paul G. Hewitt e no capítulo 34 do livro “FUNDAMENTOS DE FÍSICA” de Halliday, Resnick e Walker.

3.1.1 Reflexão

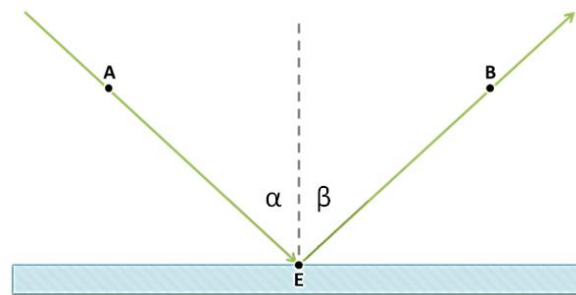
A visão humana só é capaz de captar e interpretar uma pequena faixa do espectro de radiação eletromagnética, denominada espectro visível. A luz visível pode chegar aos olhos de forma primária, através de uma fonte de luz, ou de forma secundária, através do fenômeno físico conhecido como reflexão. Através da reflexão, a luz emitida por uma fonte primária, o Sol, por exemplo, é refletida por uma determinada superfície e se adapta às características da matéria presente nela. Nesta adaptação, parte desta luz é absorvida pelo material da superfície e outra parte é refletida, sendo então direcionada aos olhos do observador e dando as características visuais percebidas como cores e formas (HEWITT, 2011).

Algumas superfícies são capazes de refletir quase toda a luz, de uma fonte primária ou secundária, que incide sobre elas. Esse tipo de superfície é chamada de espelho.

3.1.2 O princípio do mínimo tempo de Fermat

De acordo com o matemático francês Pierre de Fermat (HEWITT, 2011), dentre todos os possíveis caminhos que a luz pode percorrer entre dois pontos, ela percorrerá aquele que requer o menor intervalo de tempo. Um raio de luz que parte de um ponto A, passa por um ponto E localizado na superfície de um espelho plano e chega a um ponto B, sempre percorrerá o menor caminho possível entre os pontos A-E-B. Na prática, é possível verificar que o menor caminho entre esses três pontos A-E-B é aquele em que o ângulo α formado pelo segmento de reta A-E e a normal ao plano é igual ao ângulo β formado pelo segmento de reta E-B e a normal ao plano, como mostrado na Figura 3, abaixo.

Figura 3: Menor caminho percorrido por um raio de luz entre os pontos A-E-B.

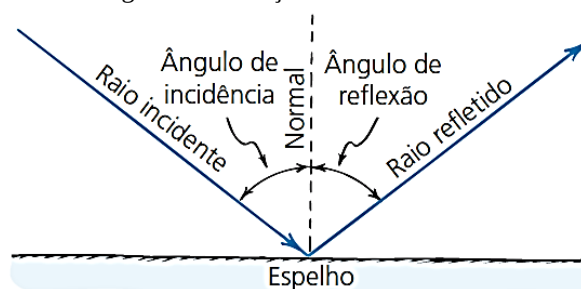


Fonte: Autor.

3.1.3 Lei da reflexão

É possível compreender as leis da reflexão utilizando o princípio do mínimo tempo. Na Figura 4, podemos observar que o ângulo entre o raio incidente e a normal (linha imaginária perpendicular à superfície do espelho plano), nomeado de ângulo de incidência, e o ângulo entre o raio refletido e a normal, nomeado de ângulo de reflexão, têm o mesmo valor. Também é possível notar que o raio incidente, o raio refletido e a normal pertencem ao mesmo plano.

Figura 4: Ilustração da lei da reflexão.



Fonte: HEWITT (2011).

3.1.4 Imagem real e imagem virtual

Temos em HALLIDAY (2010) a explicação simplificada da diferença entre uma imagem real e uma imagem virtual, sendo que:

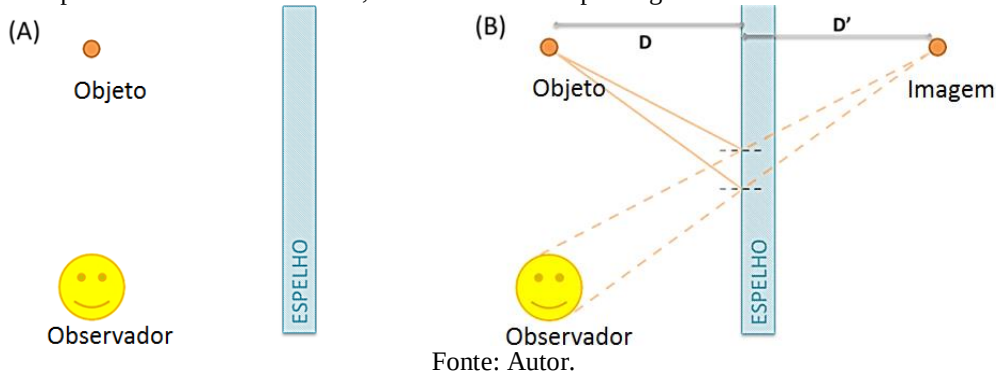
Uma imagem é uma representação de um objeto através da luz. Uma imagem formada por raios luminosos que convergem para uma superfície é chamada de imagem real; uma imagem formada pelo prolongamento para trás dos raios luminosos divergentes é chamada de imagem virtual.

3.1.5 Espelhos planos

Ao colocarmos um objeto macroscópico na frente de um espelho plano e olharmos para o reflexo deste objeto, podemos afirmar que o observador vai receber alguns dos raios de luz emitidos por este objeto e que foram refletidos pelo espelho (Figura 5-A). Ao prolongarmos alguns dos raios

de luz refletidos que saem do espelho, é possível notar que a intercessão desses raios prolongados para a parte interna do espelho estará localizada em um ponto a mesma distância que o corpo está do espelho. Os infinitos raios emitidos pelo corpo e refletidos pelo espelho fazem com que o observador verifique a formação de uma imagem virtual na parte interna do espelho (Figura 5-B).

Figura 5: (A) Objeto e observador na frente de um espelho plano. (B) Formação de imagem em um espelho plano, apresentando raios incidentes, raios refletidos e o prolongamento dos raios refletidos.



A imagem formada é exatamente igual ao objeto, mas invertida, e tem as mesmas proporções do objeto colocado na frente do espelho. A distância D entre o objeto e o espelho é a mesma distância D' entre o espelho e o ponto em que a imagem do objeto se forma.

3.1.6 Associação de espelhos planos

A associação de espelhos planos é bem trabalhada e explorada por (RIBEIRO, 2014), mas a equação matemática que define quantas imagens aparecem em uma determinada associação de dois espelhos planos pode obtida experimentalmente. Esta equação segue abaixo, na Figura 6.

Figura 6: Equação matemática do número de imagens formado em uma associação de dois espelhos planos.

$$n = \frac{360}{\theta} - 1$$

Em que: n é o numero de imagens produzidas na associação de dois espelhos planos; e θ representa o ângulo de abertura entre os dois espelhos associados.

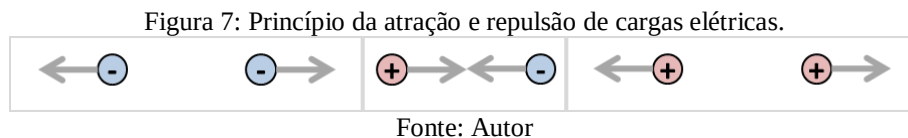
3.2 ELETRODINÂMICA

A introdução teórica a seguir foi baseada nos capítulos 22 e 23 do livro “FÍSICA CONCEITUAL” de Paul G. Hewitt e nos capítulos 21, 22, 23, 24 e 26 do livro “FUNDAMENTOS DE FÍSICA” de Halliday, Resnick e Walker.

3.2.1 Carga Elétrica

As partículas fundamentais que constituem a matéria comum são o elétron, o próton e o nêutron. Uma das características mais importantes das partículas fundamentais é a sua carga elétrica, sendo que sem ela é impossível estudar qualquer tipo de fenômeno elétrico. Denominamos de “negativa” a carga do elétron, de “positiva” a carga do próton e de “neutra” a carga do nêutron (partícula sem carga elétrica).

As cargas do elétron e do próton são equivalentes, tendo valores unitários e indivisíveis. Quando temos mais de uma carga é possível observar certos fenômenos de interação. Na Figura 7 temos três momentos distintos: no primeiro verificamos um movimento de repulsão entre cargas positivas; no segundo verificamos um movimento de repulsão entre cargas negativas; e no terceiro verificamos um movimento de atração entre uma carga positiva e uma carga negativa. Portanto, podemos concluir que existe a seguinte propriedade básica: cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.



3.2.2 Lei de Coulomb e força elétrica

A interação de atração e repulsão observada entre as cargas elétricas pode ser denominada de “força elétrica”, cuja expressão matemática esta mostrada na Figura 8.

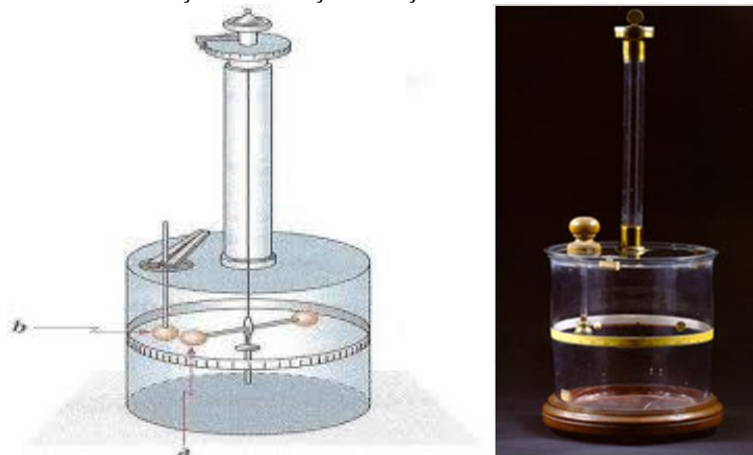
Figura 8: Relação matemática da Lei de Coulomb.

$$F = K. \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

A lei que determina as características da força elétrica entre cargas em repouso foi obtida no século XVIII por Charles Coulomb, através de uma balança de torção, mostrada na Figura 9. No experimento feito com essa balança surgem dois torques: o primeiro torque é devido à força elétrica entre duas cargas em repouso; o segundo torque, que se opõe ao primeiro, é devido ao fio ligado à barra da balança de torção. Quando esses dois torques atingem o mesmo valor, a barra da balança

de torção para de girar, entrando em equilíbrio. Igualando-se os valores dos torques na situação de equilíbrio, é possível obter uma expressão para a constante de proporcionalidade K.

Figura 9: À esquerda uma ilustração da balança de torção e à direita uma foto de uma balança de torção.



Fonte: SILVA e MONTEIRO (2015) & SILVA (2019)

3.2.3 Campo elétrico

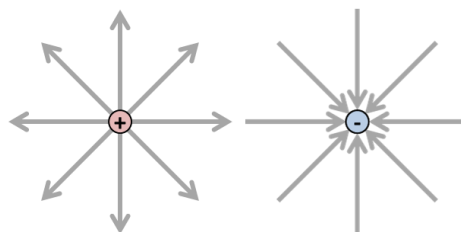
Quando um corpo está carregado eletricamente, na região do espaço entorno dele atua uma força elétrica F que pode ser atrativa ou repulsiva. Se uma carga de prova q se aproximar da região em que se encontra esse corpo, ela sofrerá a ação da força F . Denomina-se campo elétrico a grandeza física calculada através da equação apresentada na Figura 10.

Figura 10: Equação do campo elétrico.

$$E = \frac{F}{q}$$

Para se visualizar a ação do campo elétrico em uma região do espaço entorno de um corpo carregado eletricamente, utilizam-se “linhas de força”, que foram introduzidas por Michael Faraday, na primeira metade do século XIX. Na Figura 11 são mostradas as linhas de força de cargas pontuais, positiva e negativa.

Figura 11: Linhas de força de cargas pontuais.



Fonte: Autor

Pode-se verificar pela Figura 11, que, no caso da carga pontual positiva, as linhas de força radiais apontam em um sentido para fora da carga; enquanto que no caso da carga pontual negativa, as linhas de força radiais apontam em um sentido voltado para a carga. Através das linhas de força relacionadas a um corpo carregado eletricamente, podem-se obter as características do campo

elétrico gerado por este corpo, que são descritas a seguir. Primeira característica: o campo elétrico em um determinado ponto P é dado por um vetor tangente à linha de força que passa por este ponto P, como indicado na Figura 12 (VETOR CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PONTUAL NO PONTO P). Segunda característica: na região em que as linhas de força radiais estão mais próximas entre si, o campo elétrico é mais intenso; enquanto que na região em que as linhas de campo radiais estão mais afastadas entre si, o campo elétrico é menos intenso, Figura 13.

Figura 12: Campo elétrico tangente à linha de força.

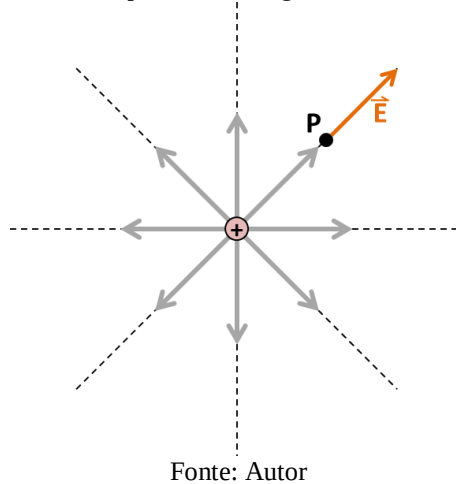
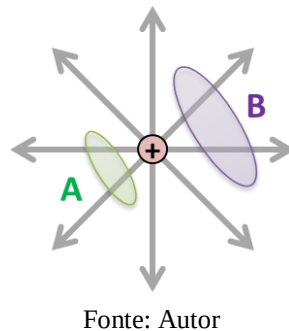


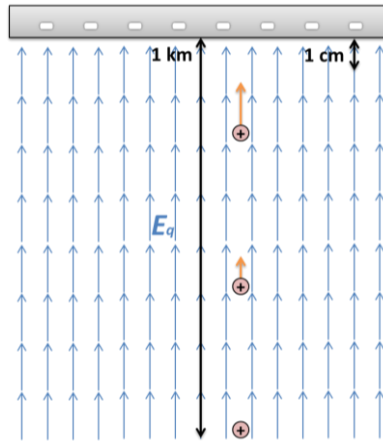
Figura 13: Na região A o campo elétrico é mais intenso que na região B, devido à proximidade das linhas de força.



3.2.4 Variação de energia potencial elétrica & energia potencial elétrica

É chamada de “energia potencial elétrica” a energia devida à localização de uma partícula carregada. Ao se alterar a posição desta partícula, será realizado sobre ela um trabalho e, deste modo, a partícula acumulará uma energia potencial elétrica. Na Figura 14, a partícula com carga positiva está em uma posição inicial muito distante da placa carregada negativamente. A partícula será atraída para uma posição final bem próxima da placa. Para que ocorra essa mudança de posição da partícula, a força elétrica (relacionada com o campo elétrico da placa) realiza um trabalho sobre a partícula. Esse trabalho é transformado em energia potencial elétrica da partícula.

Figura 14: Partícula positiva sendo atraída pela placa carregada negativamente.



Fonte: Autor

3.2.5 Potencial elétrico e diferença de potencial (ddp, tensão ou voltagem)

O conceito de energia potencial elétrica por unidade de carga é conhecido como potencial elétrico. É possível expressar uma relação matemática, mostrada na Figura 15, entre a energia potencial elétrica e o potencial elétrico. A unidade mais comum para o potencial elétrico é o volt (V), sendo que 1 V é igual a 1 joule (J) de energia por 1 Coulomb (C) de carga. Pela equação da Figura 13 pode-se concluir que: se a energia potencial elétrica for multiplicada por uma determinada constante K e, ao mesmo tempo, a carga for multiplicada pela mesma constante, o valor do potencial elétrico permanecerá constante.

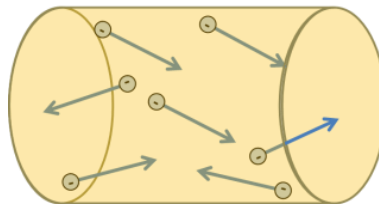
Figura 15: Relação matemática entre potencial elétrico, energia potencial elétrica e carga.

$$\text{Potencial Elétrico (V)} = \frac{\text{Energia Potencial Elétrica (J)}}{\text{Carga (C)}}$$

3.2.6 Fluxo de carga e corrente elétrica

Considere que os elétrons livres de condução em um tubo cilíndrico de material condutor como, por exemplo, o cobre, estejam se movimentando aleatoriamente, como indicado na Figura 16. Nesse caso, o fluxo resultante de cargas através da seção reta do tubo é nulo.

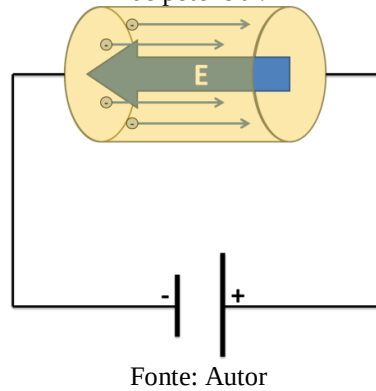
Figura 16: Elétrons livres em movimento aleatório dentro de um fio condutor.



Fonte: Autor

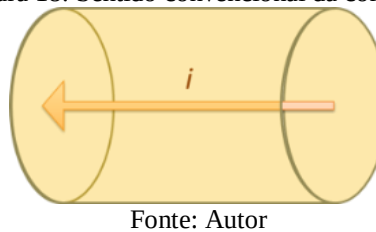
Agora, ligue o tubo cilíndrico de cobre a uma bateria, como indicado na Figura 17.

Figura 17: Movimento ordenado das partículas negativas dentro do condutor, devido ao campo que surge da diferença de potencial.



Quando a bateria está ligada, uma diferença de potencial V se estabelece entre as extremidades do tubo. Desse modo, um campo elétrico E atuará sobre os elétrons de condução do cobre atraindo-os em direção ao polo positivo da bateria, o que dá origem a um fluxo resultante de elétrons, da esquerda para a direita. Esse fluxo resultante é definido como uma corrente elétrica. O sentido convencional da corrente elétrica i está indicado na Figura 18.

Figura 18: Sentido convencional da corrente.



Pode-se observar que o sentido convencional da corrente elétrica i é contrário ao do sentido que a corrente de elétrons possui. Isso ocorre porque existe a seguinte convenção internacional: o sentido convencional da corrente elétrica i é dado pelo sentido do movimento de portadores de carga positiva. Se os portadores de carga no tubo cilíndrico fossem positivos, eles seriam atraídos pelo polo negativo da bateria e, portanto, se movimentariam num sentido contrário ao dos elétrons de condução.

3.2.7 Resistência elétrica - Definição e relação entre resistência e resistividade

Para a produção de uma corrente elétrica é necessário o uso de uma bateria ou um gerador. A quantidade de corrente depende não apenas da tensão, mas também da resistência elétrica que o condutor oferece ao fluxo de cargas. Na Figura 19, temos a relação matemática que define a resistência R . Nessa relação, V é a tensão e i é a corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω), em homenagem ao físico Ohm. É importante salientar que a resistência elétrica é uma propriedade do objeto através do qual passa a corrente.

Figura 19: Relação matemática que define a resistência R.

$$R = \frac{V}{i}$$

Existe outra propriedade importante que é característica do material, que é a resistividade ρ . A resistividade de um material é definida pela expressão matemática da Figura 20.

Figura 20: Relação matemática que define a resistividade de um material.

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Nessa relação matemática, E é o campo elétrico e J é a densidade de corrente elétrica, isto é, corrente por unidade de área, como demonstrado na Figura 21.

Figura 21: Relação matemática que define a densidade de corrente elétrica.

$$J = \frac{i}{A}$$

A unidade de resistividade é $\Omega \cdot m$. Pode-se mostrar, matematicamente, que entre a resistência R de um objeto e a resistividade ρ do material existe a seguinte relação dada pela Figura 22.

Figura 22: Relação matemática entre a resistência R de um objeto e as propriedades desse objeto (resistividade ρ , comprimento L e área de seção reta A).

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

3.2.8 Leitura Suplementar - O funcionamento do potenciômetro utilizado na montagem do Fantasma de Pepper durante as aulas

O potenciômetro (Figura 23), que é um componente de circuitos eletrônicos, é uma simples resistência variável. Esta resistência variável se estabelece devido à variação do comprimento do material que a compõe, mas mantém seus valores de resistividade ρ e de área da seção reta A .

Figura 23: Exemplos de potenciômetro.



Fonte: Wikipédia (2019).

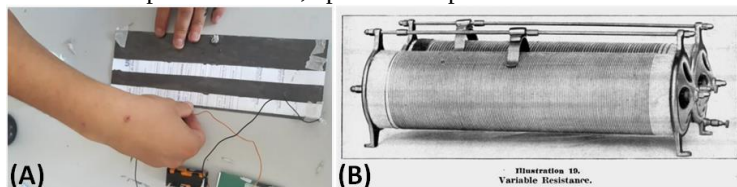
Temos em Martins e Vianna (2010) que:

Os primeiros potenciômetros foram projetados no final do século 19 e eram basicamente compostos de um fio enrolado em um tubo com um contato deslizante, a partir do qual era possível ajustar o valor de resistência desejado. Embora o registro de patente dos potenciômetros tenha sido obtido em 1907 por H. P. MacLagan, somente em 1952 Marlan E. Bourns desenvolveu uma tecnologia para a fabricação de potenciômetros de precisão em miniatura e em escala industrial.

Uma das propostas deste trabalho foi montar com os alunos um potenciômetro semelhante ao mencionado na citação acima (Figura 24-A). As alterações didáticas realizadas para o experimento envolveram o uso de tinta condutiva de grafite no lugar do fio condutor enrolado em um tubo (Figura 24-B). Essa alteração permitiu demonstrar de forma simplificada como a alteração do comprimento e da área de seção reta A podem influenciar na variação da resistência de potenciômetro.

Este componente recebeu o nome de “potenciômetro” devido a sua função de regular a quantidade de potencial elétrico entre dois pontos diferentes, através de uma resistência elétrica que converte parte do potencial indesejado em calor (efeito Joule).

Figura 24: (A) Potenciômetro de tinta condutiva de grafite produzido por um dos alunos; (B) Primeiro modelo de potenciômetro, apresentado por H.J. Evans.



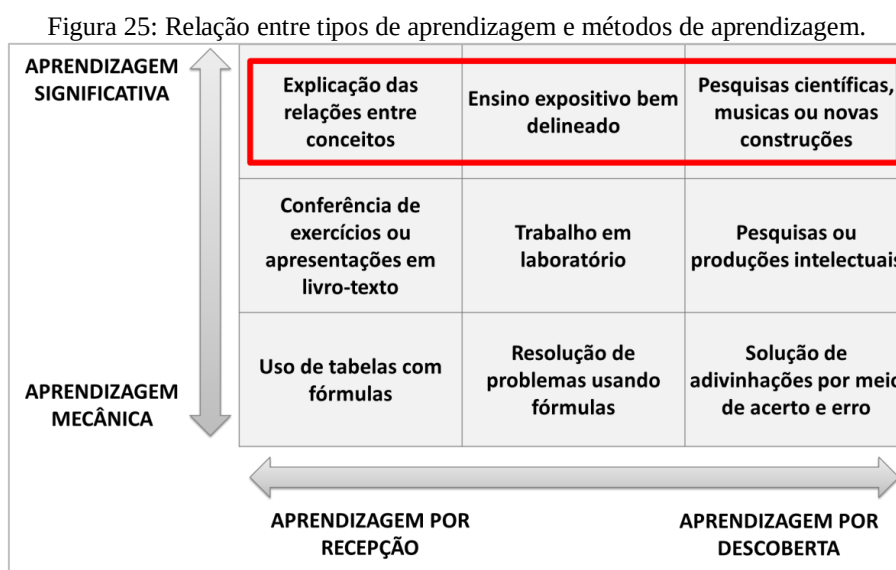
Fonte: Autor & Evans (1914).

CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Na confecção dos cadernos didáticos e das aulas previstas, utilizamos a teoria de aprendizagem significativa proposta por David Ausubel. Segundo uma análise feita por Chaves Filho; Bernardes e Da Silva (2017) sobre essa teoria, ao ministrar uma aula podemos desenvolver no aluno uma aprendizagem. Essa indução pode ser feita de duas formas: por recepção (o professor ensina um novo conceito e os alunos devem usá-lo e desenvolvê-lo) ou por descoberta (ao analisar situações e experimentos, o aluno tira suas próprias conclusões com a orientação do professor). Já a aprendizagem pode ser considerada mecânica (curta duração) ou significativa (longa duração). Ao lecionar, um professor sempre busca induzir em seus alunos uma aprendizagem significativa, tanto por recepção quanto por descoberta.

Abaixo, na Figura 25, é possível perceber as características que uma aula deve conter para facilitar a indução de uma aprendizagem significativa sobre qualquer tema proposto, além dos conceitos necessários para compreendê-lo.



Fonte: Adaptado de Novak; Gowin e Valadares (1996).

Indo de acordo com o objetivo de induzir uma aprendizagem significativa em alunos da 2ª série do Ensino Médio, desenvolvemos um caderno com atividades potencialmente significativas que seguem as ações presentes na parte superior do quadro acima.

3.2 PRODUTO DIDÁTICO

Os dois primeiros produtos educacionais desta dissertação são dois cadernos didáticos, com propostas diferentes, que estão de acordo com a teoria de aprendizagem significativa: o

caderno do professor, no APÊNDICE A, visa a auxiliar em sala de aula com a aprendizagem significativa por recepção; e o caderno do aluno, no APÊNDICE B, visa a auxiliar em sala de aula com a aprendizagem significativa por descoberta.

Acompanhando esses cadernos, no APÊNDICE C, temos fotos de um kit-experimental, listando e ilustrando todos os materiais necessários para execução dos experimentos propostos em todos os capítulos. O APÊNDICE D é uma mídia em CD com todos os arquivos utilizados (cadernos, vídeos, imagens, textos e programas), estando em um link para download.

Estes cadernos estão divididos em cinco capítulos:

- No primeiro, definimos o que é um holograma, levando em consideração relações históricas;
- No segundo, realizamos a montagem de um Fantasma de Pepper simplificado e relatamos eventos do século XX e XXI que ainda se apropriam dele;
- No terceiro, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da óptica envolvida no Fantasma de Pepper;
- No quarto, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da eletrodinâmica envolvida no Fantasma de Pepper;
- No quinto, são abordadas outras técnicas de holografia mais atuais, além disso, é proposta a criação de mapas mentais, com o intuito de verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos no final do processo.

A diferença entre os cadernos está na proposta de aprendizagem, sendo que: o caderno didático do professor segue uma linha de aprendizagem por recepção, sugerindo uma organização de aulas expositivas com atividades e experimentos, realizados pelo professor com o auxílio dos alunos; e o caderno didático do aluno segue uma linha de aprendizagem por descoberta, sugerindo aulas práticas em que os alunos realizam os experimentos e atividades. O ritmo de execução das atividades deve ser determinado pelo professor, o qual dá suporte aos alunos quanto a dificuldades e dúvidas.

Na avaliação final, o aluno deverá montar e analisar uma versão do Fantasma de Pepper, também conhecido como Monga, além de associar em seu mapa mental/conceitual os conceitos apresentados durante as aulas anteriores e o funcionamento deste aparato.

3.3 APLICAÇÃO DO PRODUTO

As aulas utilizadas para a aplicação dos cadernos didáticos ocorreram nos dias 20/09/2019, 28/09/2019, 04/10/2019 e 11/10/2019, sendo que tínhamos à disposição, em cada dia, duas aulas geminadas de 50 minutos cada.

3.3.1 Primeira-aula & Segunda-aula (20/09/2019) - Produção de mapas mentais & Aplicação dos capítulos I e II

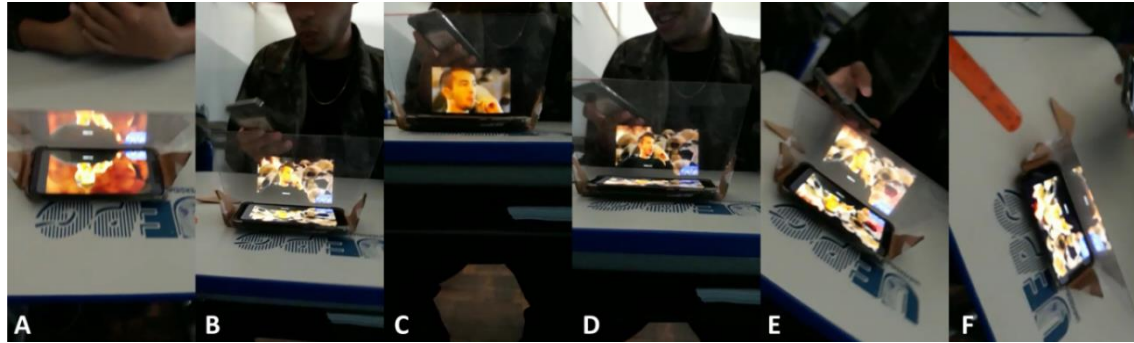
No dia 20 de setembro de 2019, os alunos da segunda série do Ensino Médio foram preparados para o início da aplicação dos cadernos didáticos. Para isso, o tema HOLOGRAMA foi introduzido, por meio de perguntas como “O que é um holograma?” e “Como funciona um holograma?”, para dar início a uma discussão e, em seguida, foi proposta a produção de alguns mapas mentais sobre o tema, com o intuito de verificar os conhecimentos prévios dos alunos. Os alunos não sabiam fazer mapas conceituais, como proposto na fundamentação teórica, mas conseguiram produzir mapas mentais do tema HOLOGRAMA, que são expostos no APÊNDICE E. Em seguida, foi realizada uma introdução histórica sobre Dennis Gabor e o desenvolvimento de uma técnica de fotografia conhecida como “holografia”. Logo após, através de uma atividade prática, a percepção dos alunos foi testada em relação ao fenômeno da “paralaxe” e a sua importância na percepção da ilusão de óptica encontrada em um holograma de Gabor.

Os alunos entraram em discussão novamente sobre o que estava sendo considerado um holograma. Devido a isso, uma nova contextualização histórica permitiu demonstrar que desde o século XV existem técnicas de ilusão de óptica que trazem os mesmos efeitos do que, na concepção dos alunos, era um holograma. Outra atividade foi proposta com algumas fotografias de cenas cotidianas, permitindo alterar algumas das considerações sobre hologramas feitas até o momento.

A partir desse instante, percebeu-se que o holograma, que sempre é mencionado na mídia como uma evolução tecnológica, na realidade é uma simples ilusão de óptica que faz aparentar a presença de uma pessoa ou objeto em um determinado local mesmo que ele não esteja realmente lá. Levando isso em conta, uma nova contextualização histórica foi feita, mas dessa vez com uma técnica de ilusão de óptica mais trabalhada e com efeitos realmente semelhantes aos hologramas tão mencionados. Essa técnica é conhecida como “Pepper’s Ghost” (Fantasma de Pepper) e surgiu no século XIX, fazendo sucesso em diversas peças de teatro da época. Com os alunos instigados, foi proposta a recriação de um fantasma de Pepper em sala de aula utilizando um pedaço de vidro/acrílico e um celular.

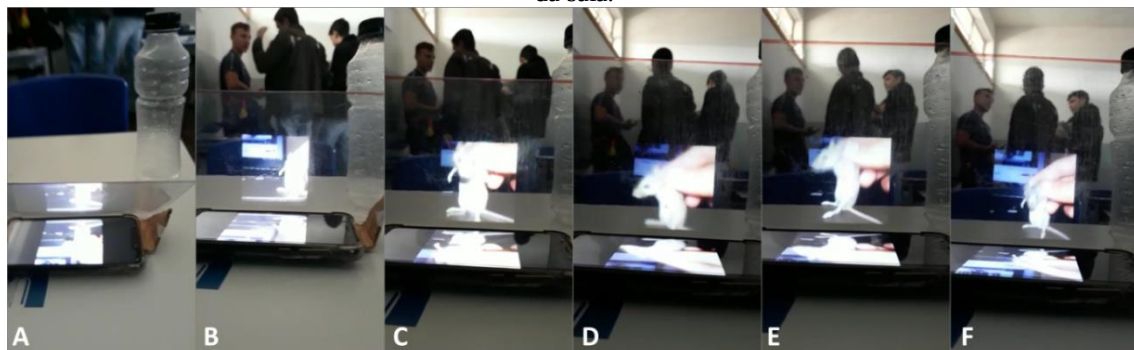
Essa atividade demonstra de forma prática a técnica do Fantasma de Pepper. A reflexão da luz produzida por uma imagem ou vídeo de um celular na placa transparente de acrílico, quando observada de um ângulo específico, cria uma ilusão de óptica, como mostrado na Figura 26 e Figura 27 abaixo.

Figura 26: Fantasma de Pepper de um vídeo de uma entrevista, produzido pelos alunos com o celular e placa de acrílico inclinada.



Fonte: Autor.

Figura 27: Outro dos fantasmas de Pepper produzidos pelos alunos com um vídeo no celular e placa de acrílico inclinada. Nessa ilusão de óptica é possível observar um rato pendurado aparentando estar dançando em cima da mesa da sala.



Fonte: Autor.

Após a atividade prática foi apresentado um trecho do filme “Lisbela e o Prisioneiro” (Figura 28), mostrando a cena do show da “Monga, a Mulher Macaco”. Os alunos foram questionados sobre o funcionamento deste show, conseguindo associá-lo ao fantasma de Pepper, mas não conseguiram explicar com um embasamento científico como esse show funcionava. Nos momentos finais dessas duas primeiras aulas foi proposto que na última aula proposta, utilizando os cadernos, todos os alunos iriam montar uma “Mini-Monga”.

Figura 28: Apresentação de um trecho do filme “Lisbela e o Prisioneiro” para os alunos.



Fonte: Próprio autor.

3.3.2 Terceira-aula & Quarta-aula (27/09/2019) - Aplicação do capítulo III

No dia 27 de setembro de 2019, os alunos da segunda série do Ensino Médio iniciaram o uso capítulo III dos cadernos didáticos. Esse capítulo contém diversos textos, atividades, experimentos e questionários, organizados para induzir a aprendizagem de todos os conceitos de óptica necessários para compreensão do funcionamento do show da Monga.

No primeiro experimento os alunos utilizaram um papel quadriculado, um espelho plano e duas pilhas. Inicialmente, eles posicionaram o espelho em pé no meio do papel quadriculado e colocaram uma das pilhas na frente do espelho (Figura 29), observando a formação de uma imagem no espelho. Após responderem algumas das perguntas presentes no caderno, constataram que o número de quadrados entre a pilha e o espelho é o mesmo número de quadrados entre o espelho e a imagem. Com o intuito de fixar isso em suas estruturas cognitivas, outra pilha foi posicionada atrás do espelho a mesma distância (quadrados) que a primeira pilha, e logo em seguida, foi alinhada com a primeira. Ao observar o reflexo da primeira pilha no espelho temos a ilusão do reflexo continuar por cima do espelho, devido à pilha na parte de trás estar na posição que a imagem da primeira é produzida.

Figura 29: Alunos montando o primeiro experimento, posicionando o espelho plano no meio do papel quadriculado.



Fonte: Autor.

Já o segundo experimento utiliza dois espelhos planos conectados por uma das laterais, um transferidor impresso e uma pilha. Posicionando os dois espelhos conectados sobre o transferidor, com a junção no centro dele (Figura 30), e colocando uma pilha entre as partes reflexivas, os alunos perceberam a formação de mais de um reflexo dependendo da posição em que se olha. Outra situação reportada pelos alunos, enquanto respondiam as questões propostas, foi que o número de reflexos aumenta quando o ângulo entre os espelhos diminui.

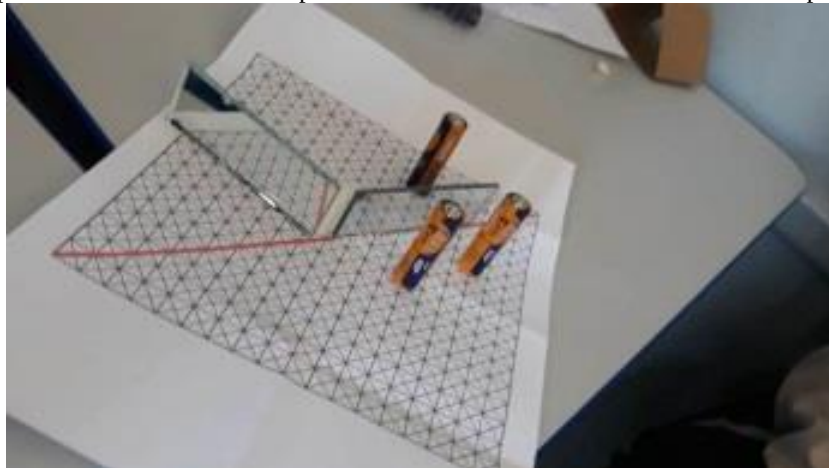
Figura 30: Segundo experimento com os dois espelhos conectados por uma das laterais sobre o transferidor, em um ângulo de 90° .



Fonte: Autor.

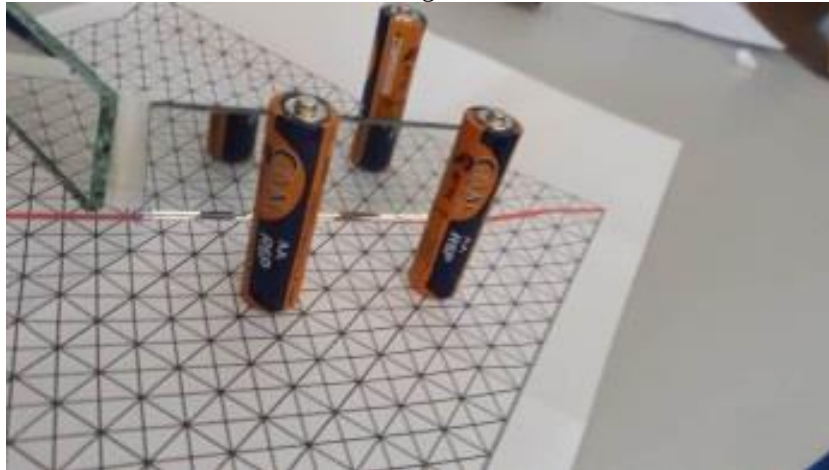
Para o terceiro experimento, utilizamos um espelho plano, uma folha quadriculada com cruzes em todos os quadrados e três pilhas. Logo em seguida, o espelho foi posicionado na diagonal da folha quadriculada e as pilhas foram posicionadas de acordo com cada etapa descrita no caderno. Em cada uma das etapas, foi pedido para os alunos observarem o espelho de diferentes ângulos, como na Figura 31 e Figura 32. Os alunos constataram que em certos arranjos era possível verificar uma ilusão de óptica envolvendo a percepção da existência ou falta de uma pilha atrás do espelho, principalmente ao observar o espelho em um ângulo de 45° (por uma das laterais da folha). Também foi verificado que, nessa posição, o que se entende como reflexo da pilha mais próxima, na verdade é a outra pilha posicionada na frente do espelho, e que também sofre a mesma ilusão de óptica apresentada no primeiro experimento.

Figura 31: Primeiro ponto de vista do terceiro experimento onde não se vê nenhum dos reflexos produzidos pelas pilhas.



Fonte: Autor.

Figura 32: Segundo ponto de vista do terceiro experimento onde é possível verificar a formação de reflexos no espelho na diagonal.



Fonte: Autor.

3.3.3 Quinta-aula & Sexta-aula (04/10/2019) - Aplicação do capítulo IV

No dia 27 de setembro de 2019, os alunos da segunda série do Ensino Médio iniciaram o uso do capítulo IV dos cadernos didáticos. Esse capítulo contém diversos textos, atividades, experimentos e questionários, organizados para induzir a aprendizagem de todos os conceitos de eletrodinâmica necessários para compreensão do funcionamento do show da Monga.

No início da primeira atividade, foi necessário realizar a produção de tinta condutiva e montagem de uma resistência variável. Para isso os alunos pintaram um pedaço de papelão com uma mistura de grafite em pó com base esmalte transparente (tinta condutiva), como mostrado na Figura 33.

Figura 33: Alunos pintando circuito com a tinta condutiva em um pedaço de papelão.



Fonte: Autor.

Na Figura 34, temos um circuito montado pelos alunos utilizando o circuito pintado com tinta condutiva, uma bateria, fios condutores e dois LED, sendo testada a resistência variável. A proposta desta atividade envolve verificar experimentalmente fatores que podem alterar a resistência do circuito criado. Ao decorrer dos questionamentos apresentados e das observações

realizadas pelos alunos, constatou-se que o brilho do LED era alterado em algumas situações: quando o circuito pintado era mais fino o brilho era menor e quando o circuito pintado era mais grosso o brilho era maior; já quando o traço pintado tinha seu comprimento variado, na posição mais curta o brilho era maior e na posição mais longa o brilho era menor. Os alunos sabiam que este acontecimento estava relacionado com a variação da resistência, e passaram a associar o brilho maior como uma baixa resistência e o brilho menor como uma alta resistência.

Figura 34: Alunos testando o circuito de tinta condutiva, verificando a variação de resistência através da variação de luminosidade do LED.



Fonte: Autor.

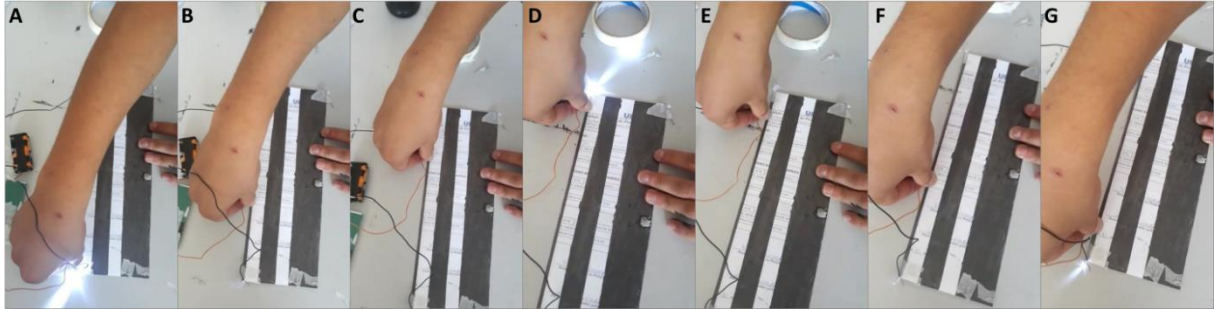
Uma adaptação deste primeiro experimento foi elaborada com os alunos (Figura 35), fixando um LED em cada lateral do circuito pintado e fechando o circuito com um fio deslizante saindo da bateria. Foi colocada a pergunta, pelos alunos, de qual dos LEDs iria acender e todos concordaram que ambos iriam brilhar, mas ao deslizar o fio na pintura condutiva foi possível notar uma variação na luminosidade dos dois LEDs ao mesmo tempo, sendo que o LED mais próximo ao fio deslizante teria um brilho maior. Esta variação de luminosidade pode ser observada nas screenshots de um vídeo feito por um dos alunos, na Figura 36.

Figura 35: Alunos montando e testando o potenciômetro de tinta condutiva com duas entradas diferentes.



Fonte: Autor.

Figura 36: “Screenshots” de um vídeo de alunos testando o potenciômetro montado com a tinta condutiva, proposto no capítulo IV.



Fonte: Autor.

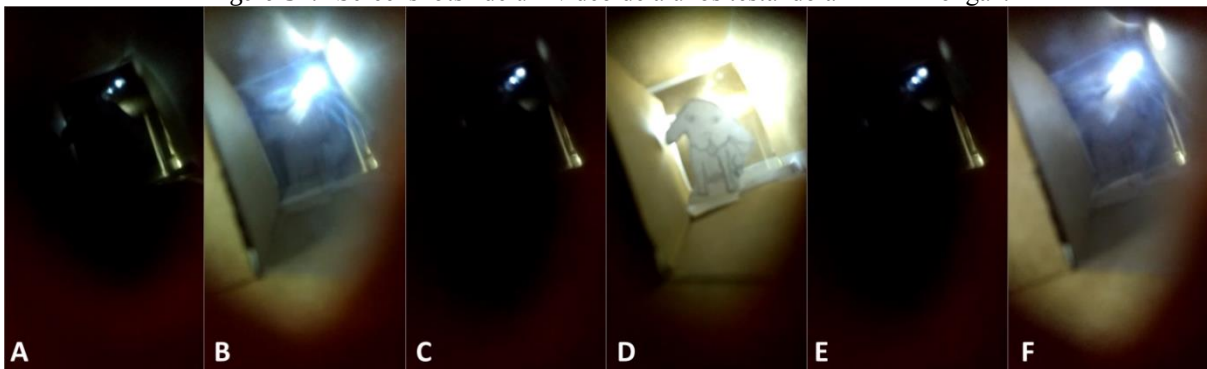
3.3.4 Sétima-aula & Oitava-aula (11/10/2019) - Aplicação do capítulo V, Produção de mapas mentais & Montagem da “Mini-Monga”

Finalizando a aplicação dos cadernos didáticos, no último capítulo, apresentamos através de um vídeo técnicas atuais para a produção de hologramas. Através do vídeo, a maioria dos alunos notou uma semelhança entre essas técnicas e os princípios do fantasma de Pepper, tornando evidente que todos os princípios apresentados nos capítulos anteriores podem ser aplicados em quase todas as técnicas para produzir hologramas.

Como avaliação final, cada um dos alunos produziu um novo mapa mental, que seria analisado e comparado com o mapa produzido no primeiro dia de aplicação dos cadernos didáticos.

Após recolher os mapas mentais produzidos, como última atividade, realizamos a montagem de uma “Mini-Monga” proposta no final do capítulo II do caderno didático. A Figura 37, abaixo, mostra uma dessas “Mini-Mongas” em funcionamento.

Figura 37: “Screenshots” de um vídeo de alunos testando a “Mini-Monga”.



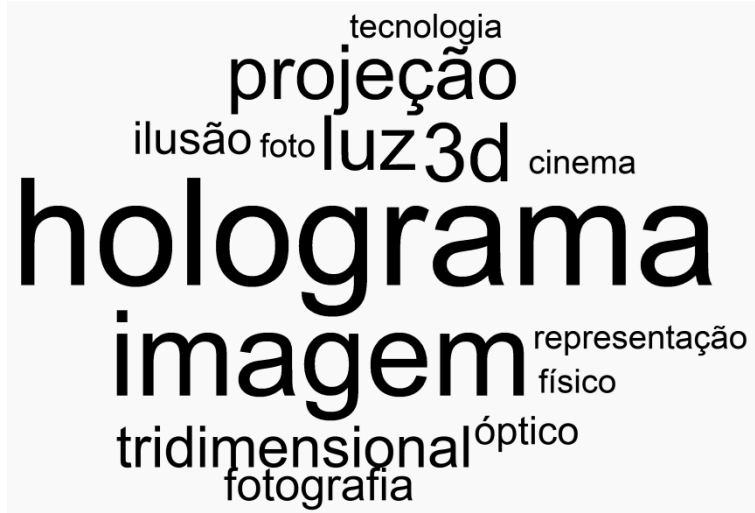
Fonte: Autor.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos mapas mentais produzidos pelos alunos e dos questionários respondidos, durante a aplicação de cada capítulo dos cadernos, foi feita de forma qualitativa utilizando o software IRAMUTEQ, capaz de analisar a frequência de vezes que uma determinada palavra aparece em um texto, verificando as palavras com maior incidência e então gerando uma análise gráfica dessas palavras. Outra análise que o IRAMUTEQ pode realizar é a de similitude, que relaciona as palavras de maior incidência e as interliga, criando junções e ramificações em que essas palavras tenham algum tipo de conexão e proximidade nos textos analisados, sendo a espessura dessas ramificações a intensidade da relação apresentada entre as palavras. Quanto maior é a espessura entre a ramificação que liga duas palavras, maior foi o número de vezes que essas duas palavras apareceram próximas no texto. Quanto menor é a espessura entre a ramificação que liga duas palavras, menor foi o número de vezes que essas duas palavras apareceram próximas no texto.

Antes de iniciar a aplicação dos cadernos foi proposto aos alunos que todos elaborassem um mapa mental sobre o tema HOLOGRAMA, com o intuito de verificar os seus conhecimentos prévios. Os mapas produzidos, presentes no APÊNDICE E, foram recolhidos e analisados em conjunto pelo software IRAMUTEQ, gerando a nuvem de palavras presente na Figura 38, abaixo:

Figura 38: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por quase todos os alunos (alunos W e X não estavam presentes) no primeiro dia de aplicação dos cadernos.

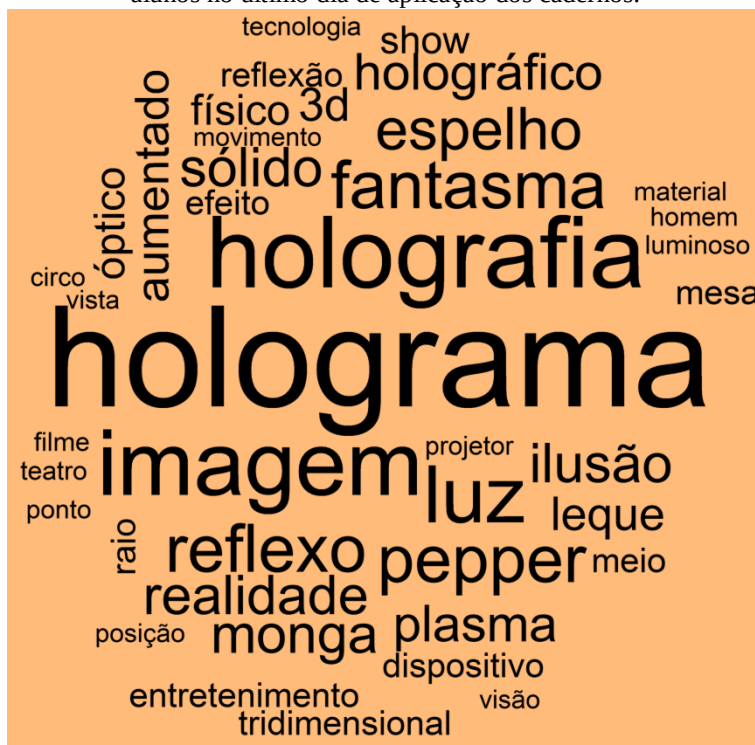


Fonte: Autor.

Podemos notar que a palavra de maior relevância é o tema do mapa, HOLOGRAMA. Outras palavras que também ganham destaque são IMAGEM, PROJEÇÃO, 3D, LUZ e TRIDIMENSIONAL. Também apareceram palavras como ÓPTICO, ILUSÃO, FOTOGRAFIA, TÉCNOLOGIA e CINEMA, com menos destaque do que as anteriores.

Em comparação, na Figura 39, a nuvem de palavras a seguir foi produzida utilizando os mapas, presentes no APÊNDICE F, produzidos pelos mesmos alunos no último dia de aplicação dos cadernos.

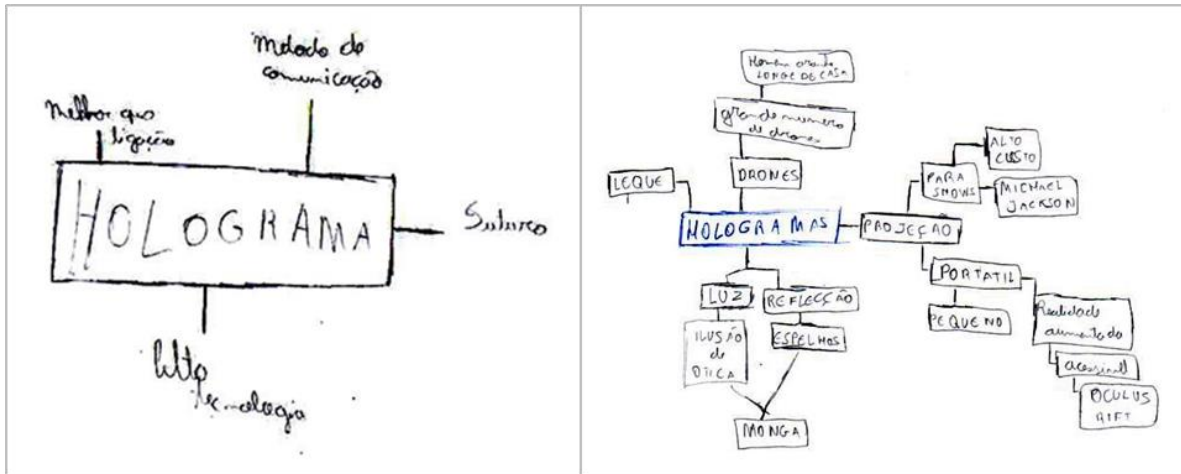
Figura 39: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por todos os alunos no último dia de aplicação dos cadernos.



Fonte: Autor.

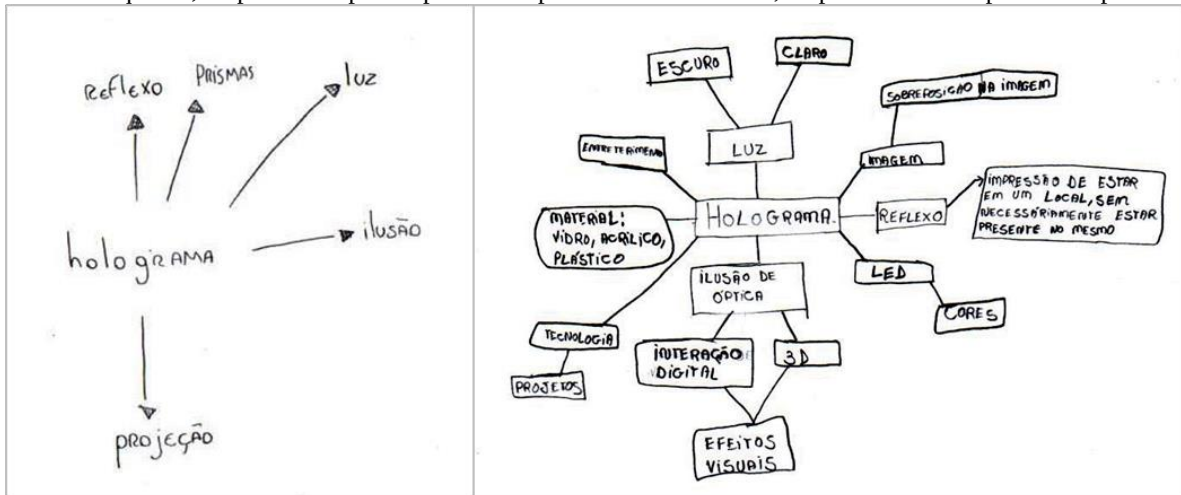
Comparando as duas nuvens de palavras, facilmente notamos um maior número de conceitos relacionados com o tema HOLOGRAMA. O termo HOLOGRAFIA é utilizado como referência às técnicas para produzir um holograma; surgiram palavras como ESPELHO, REFLEXO, FANTASMA DE PEPPER e MONGA, como referência aos experimentos desenvolvidos durante as aplicações e a aparatos precursores ao desenvolvimento de efeitos semelhantes aos dos hologramas da atualidade. Outras palavras que também apareceram englobam características de um holograma (TECNOLOGIA, ÓPTICO, EFEITO, VISÃO, POSIÇÃO, TRIDIMENSIONAL, LUMINOSO e 3D) e locais onde podemos encontrar um holograma (TEATRO, SHOW, CINEMA e CIRCO). É possível verificar, ao comparar os mapas prévios e finais, o surgimento de novos conceitos trabalhados durante a aplicação dos cadernos, tais como: reflexão da luz, formação de imagens, perspectiva, campo de visão e variação de resistência através da resistividade. Isso é um indicio de assimilação de novos conceitos a partir de conhecimentos prévios presentes. Nos alunos F (Figura 40) e J (Figura 41), foi possível notar uma melhora significativa no número de palavras, conceitos e ligações nos mapas mentais comparados. Isso nos dá uma evidência da provável aprendizagem significativa desses alunos.

Figura 40: À esquerda, mapa mental prévio produzido pelo aluno F. À direita, mapa mental final produzido pelo aluno F.



Fonte: Mapa produzido por um dos alunos e fotos tiradas pelo autor.

Figura 41: À esquerda, mapa mental prévio produzido pelo aluno J. À direita, mapa mental final produzido pelo aluno J.

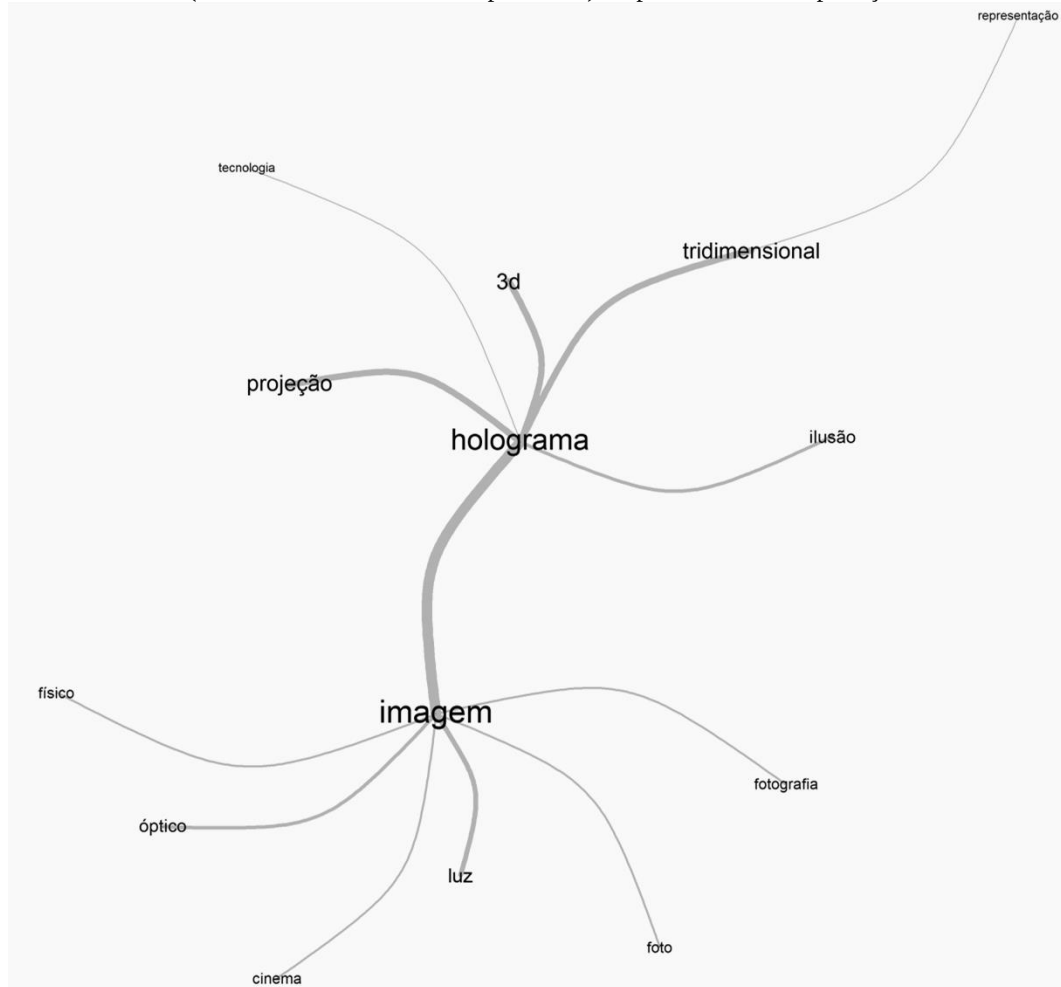


Fonte: Mapa produzido por um dos alunos e fotos tiradas pelo autor.

É perceptível um aumento no número de conceitos apresentados nos mapas mentais feitos ao final da aplicação dos cadernos, auxiliando na validação da metodologia utilizada para induzir a aprendizagem significativa em alunos do Ensino Médio. Outro fator que também reforça esta afirmação foi a melhora no discurso dos alunos perante as discussões e/ou atividades realizadas durante a aplicação dos cadernos, sendo que, no início havia pouca confiança em defender pontos de vista em relação a alguma temática e no final, os mesmos alunos introduziam novos parâmetros para as discussões propostas.

Também foi realizada uma análise de similitude dos mapas iniciais e finais, Figura 42 e Figura 43, respectivamente, a seguir.

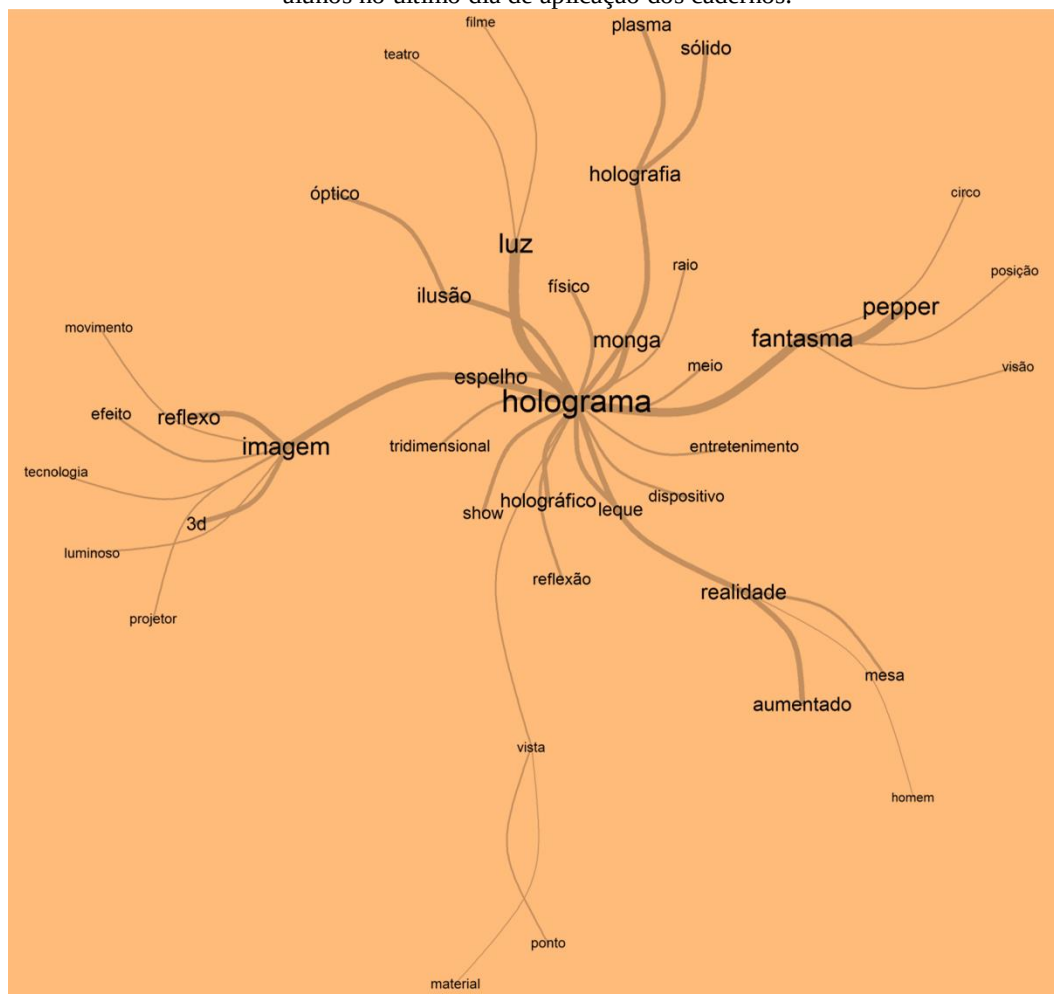
Figura 42: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por quase todos os alunos (alunos W e X não estavam presentes) no primeiro dia de aplicação dos cadernos.



Fonte: Autor.

No primeiro gráfico de similitude notamos uma ligação forte entre as palavras HOLOGRAMA e IMAGEM, pois as relações mais intensas são as realizadas com linhas mais espessas e as menos intensas, com linhas mais finas. Também percebe-se que surgem ramificações para cada uma destas palavras: a palavra HOLOGRAMA está ligada às palavras PROJEÇÃO, 3D, ILUSÃO e TRIDIMENSIONAL, com linhas espessas, e as palavras TECNOLOGIA e REPRESENTAÇÃO, com linhas mais finas. Percebe-se que a palavra IMAGEM está ligada às palavras LUZ, FOTOGRAFIA, FOTO, FÍSICO, ÓPTICO e CINEMA. Portanto, para os alunos, podemos afirmar quais relações são mais intensas e quais são menos intensas.

Figura 43: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, a partir dos mapas mentais produzidos por todos os alunos no último dia de aplicação dos cadernos.



Fonte: Autor.

Este segundo gráfico de similitude está muito melhor que o da Figura 42, e podemos notar um aumento significativo de palavras apresentadas, e das palavras com uma ligação mais espessa a palavra HOLOGRAMA são as palavras IMAGEM, FANTASMA, ILUSÃO, REALIDADE e LUZ.

Ligadas a essas palavras aparecem outras palavras com menos ênfase, mas ainda relacionadas direta ou indiretamente com a palavra HOLOGRAMA e as atividades realizadas durante a aplicação dos cadernos.

A partir desse gráfico percebe-se que os alunos estabeleceram muitas outras ligações, evidenciando uma possível aprendizagem significativa.

Para uma melhor compreensão do material produzido pelos alunos, os cadernos com questionários tiveram as anotações feitas pelos alunos transcritas e, em seguida, analisadas capítulo por capítulo pelo software IRAMUTEQ, produzindo nuvens de palavras e gráficos de similitude de cada etapa.

A seguir, na Figura 44 e Figura 45, temos a nuvem de palavras e o gráfico de similitude referente às anotações dos alunos durante a aplicação capítulo 1 dos cadernos aplicados. Na Tabela 2 temos registrado quantas vezes as palavras mais frequentes aparecem no capítulo 1 do caderno.

Figura 44: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 1 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

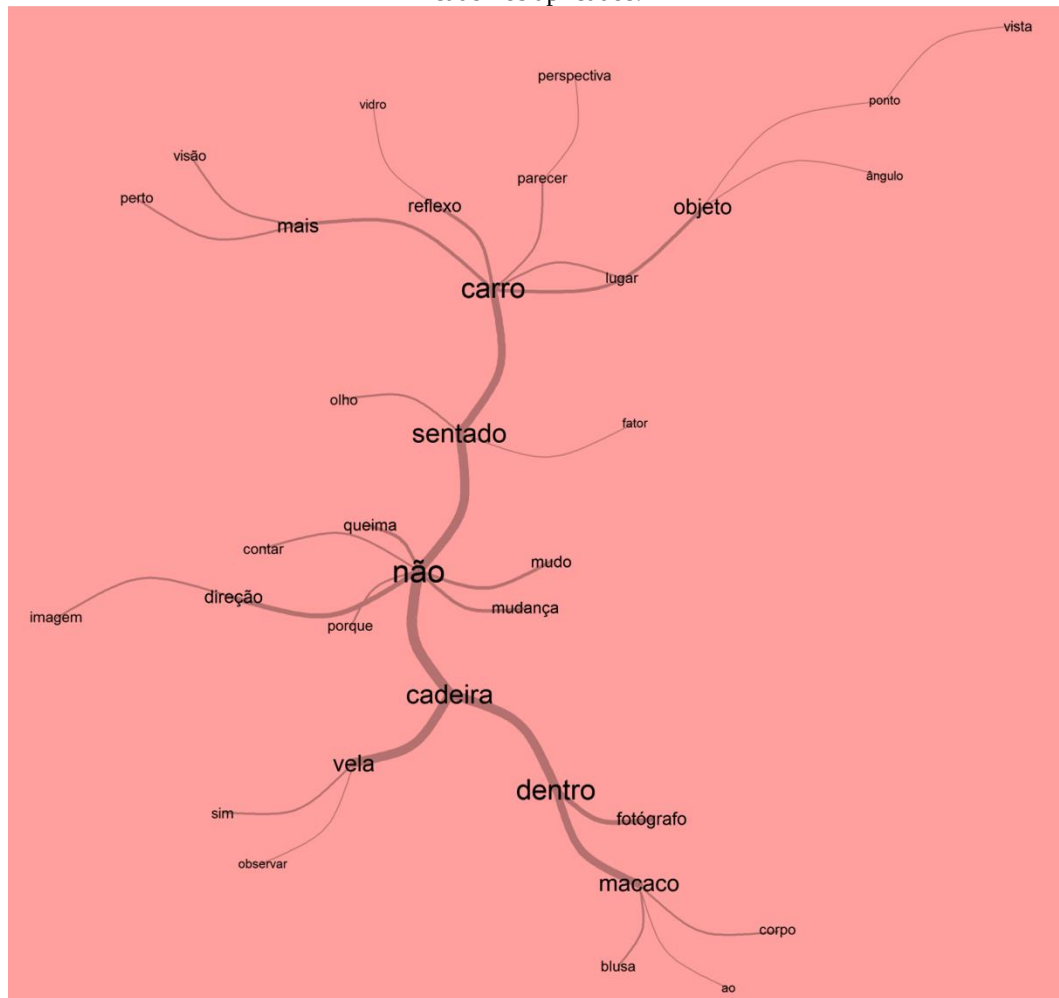
Tabela 2: Palavras que mais apareceram no capítulo 1 e quantas vezes elas apareceram.

PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES
não	24	cadeira	11	reflexo	7
dentro	15	macaco	8	mais	7
carro	14	vela	8	direção	6
sentado	12	objeto	8	fotógrafo	5

Fonte: Autor.

Ao analisar esta nuvem de palavras podemos perceber que houve uma ênfase em palavras relacionadas com a atividade com fotografias, principalmente a imagem em que o homem aparenta estar sentado dentro de um carro (as palavras CARRO, DENTRO, SENTADO, CADEIRA e NÃO). As palavras PERSPECTIVA, VISÃO, PONTO e ÂNGULO também aparecem, fazendo referência à primeira atividade de perspectiva utilizando um lápis.

Figura 45: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 1 dos cadernos aplicados.



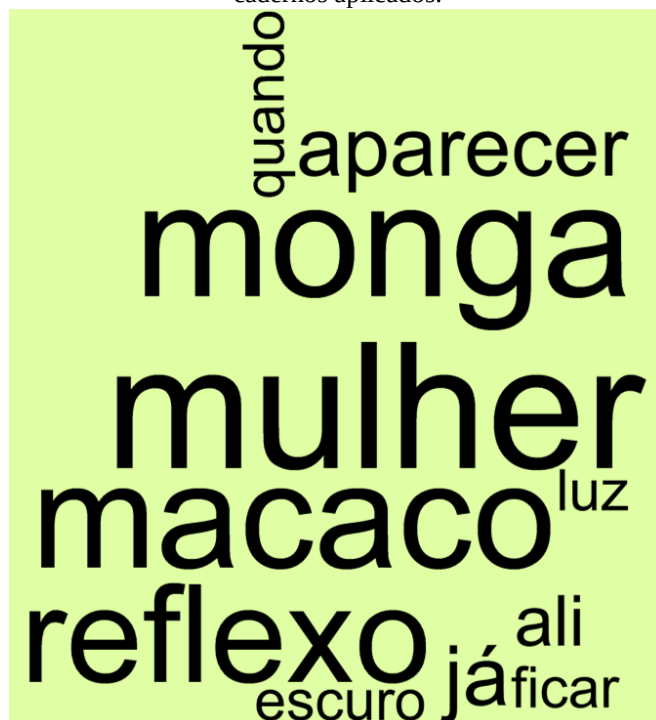
Fonte: Autor.

A palavra CARRO tem uma ramificação muito espessa com SENTADO, uma ramificação pouco espessa com MAIS, REFLEXO e OBJETO, e uma ramificação fina com LUGAR e PARECER. MAIS tem uma ramificação fina com PERTO e VISÃO. REFLEXO tem uma ramificação fina com VIDRO. OBJETO tem uma ramificação fina com PONTO e ÂNGULO. TEM tem uma ramificação fina com VISTA. PARECER tem uma ramificação fina com PERSPECTIVA. A palavra SENTADO tem uma ramificação muito espessa com NÃO, e uma ramificação fina com OLHO e FATOR. A palavra NÃO tem uma ramificação muito espessa com CADEIRA, uma ramificação pouco espessa com QUEIMA, MUDO (no sentido de MUDAR), MUDANÇA e DIREÇÃO e uma ramificação fina com CONTAR e POR QUE.

DIREÇÃO tem uma ramificação fina com IMAGEM. A palavra CADEIRA tem uma ramificação muito espessa com DENTRO e uma ramificação espessa com VELA. VELA tem uma ramificação muito fina com SIM e OBSERVAR. A palavra DENTRO tem uma ramificação espessa com MACACO e uma ramificação pouco espessa com FOTÓGRAFO. MACACO tem uma ramificação fina com BLUSA, AO e CORPO.

A seguir, na Figura 46 e Figura 47, temos a nuvem de palavras e o gráfico de similitude referentes às anotações dos alunos no capítulo 2 dos cadernos aplicados. Na Tabela 3 temos registrado quantas vezes as palavras mais frequentes aparecem no capítulo 2 do caderno.

Figura 46: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 2 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

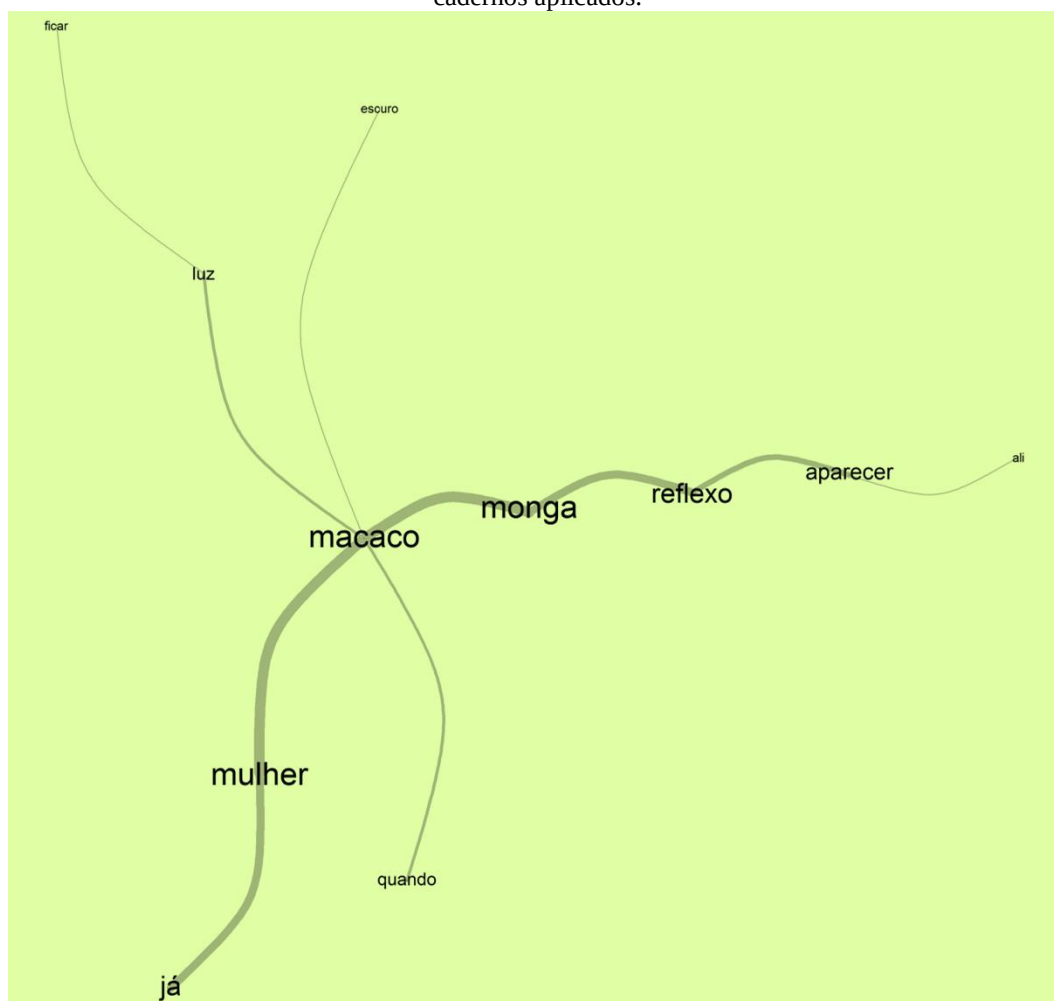
Tabela 3: Palavras que mais apareceram no capítulo 2 e quantas vezes elas apareceram.

PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES
mulher	12	aparecer	5	quando	3
monga	11	já	5	luz	3
macaco	10	ali	4	escuro	3
reflexo	9	ficar	3		

Fonte: Autor.

Analisando a nuvem de palavras criada pelo software IRAMUTEQ, há um grande destaque nas palavras MONGA, MULHER, MACACO e REFLEXO, e entorno dessas palavras temos palavras que englobam conceitos como APARECER, LUZ, FICAR e ESCURO. Através das questões levantadas nesse capítulo constatou-se que os alunos fixaram um interesse sobre o show da Monga, e assimilaram ideias importantes à compreensão dessa ilusão como a reflexão da luz e o escuro (sem luz).

Figura 47: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 2 dos cadernos aplicados.



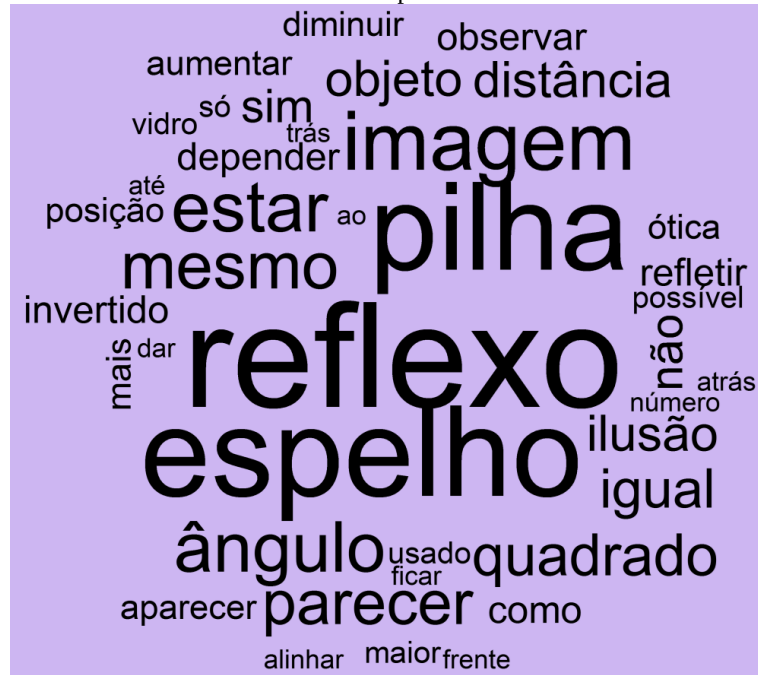
Fonte: Autor.

A palavra MACACO tem uma ramificação muito espessa com MULHER e MONGA, uma ramificação pouco espessa com LUZ e QUANDO, e uma ramificação fina com ESCURO. MULHER tem uma ramificação espessa com JÁ. MONGA tem uma ramificação espessa com REFLEXO. REFLEXO tem uma ramificação pouco espessa com APARECER. APARECER tem uma ramificação fina com ALI. LUZ tem uma ramificação fina com FICAR.

Fica evidente nesse gráfico de similitude a relação entre as palavras MONGA, MULHER, MACACO e REFLEXO. A ramificação envolvendo a palavra MONGA é bem clara quanto ao sentido apresentado: MACACO, MONGA, REFLEXO e APARECER.

A seguir, na Figura 48 e Figura 49, temos a nuvem de palavras e o gráfico de similitude, referentes às anotações dos alunos no capítulo 3 dos cadernos aplicados. Na Tabela 4 temos registrado quantas vezes as palavras mais frequentes aparecem no capítulo 3 do caderno.

Figura 48: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 3 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

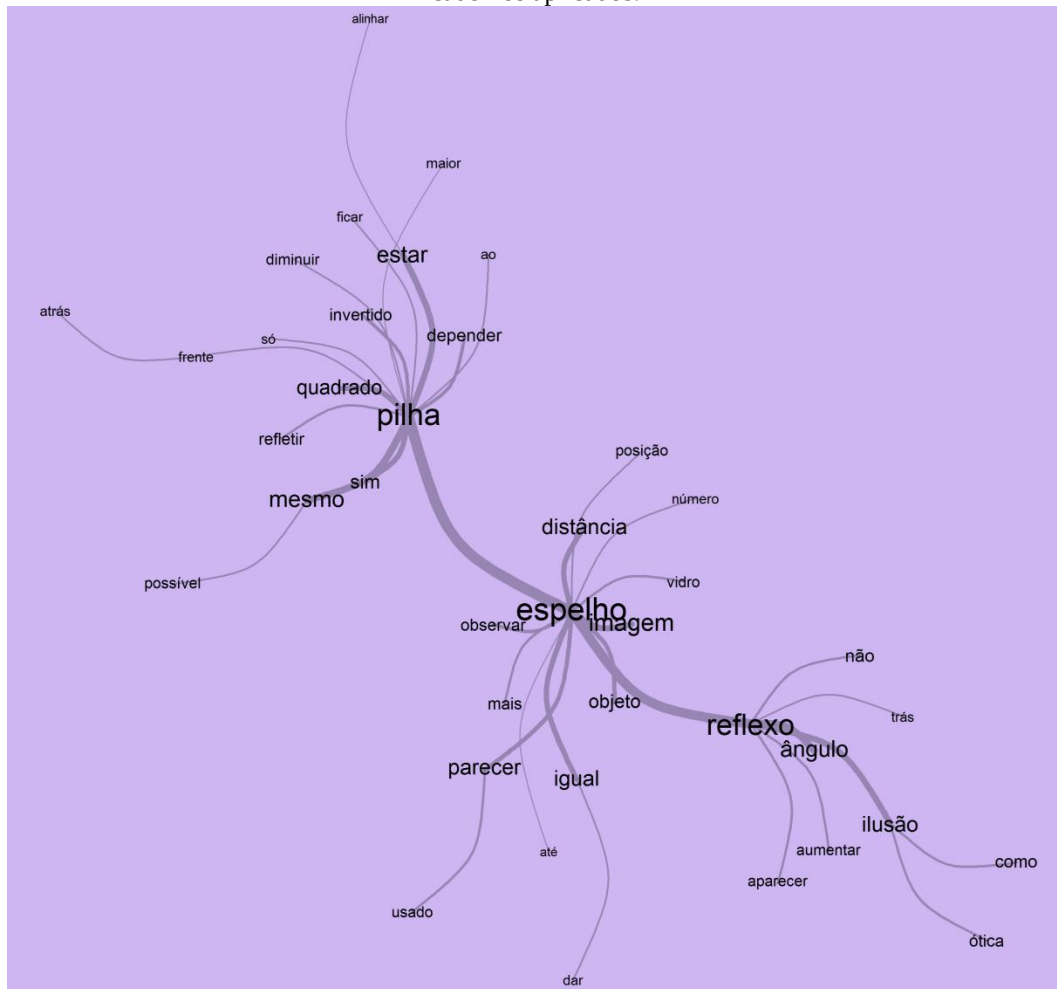
Tabela 4: Palavras que mais apareceram no capítulo 3 e quantas vezes elas apareceram.

PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES
reflexo	33	estar	14	objeto	9
espelho	28	mesmo	13	distância	9
pilha	27	parecer	12	ilusão	9
imagem	17	quadrado	11	não	8
ângulo	14	igual	10	sim	8

Fonte: Autor.

Analisando a nuvem de palavras criada pelo software IRAMUTEQ, há um grande destaque na palavra REFLEXO, e em torno dela as palavras ESPELHO, PILHA, IMAGEM e ÂNGULO. Associando essas e algumas palavras que também aparecem com menos frequência, como POSIÇÃO, OBSERVAR, DISTÂNCIA, ILUSÃO e VIDRO, é possível notar que os subsunçores e conceitos envolvendo a compreensão das leis da reflexão foram criados.

Figura 49: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 3 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

A palavra PILHA tem uma ramificação muito espessa com ESPELHO, uma ramificação espessa com SIM, MESMO, QUADRADO e ESTAR e uma ramificação fina com FRENTE, SÓ, DIMINUIR, FICAR, MAIOR e AO. MESMO tem uma ramificação fina com POSSÍVEL. ESTAR tem uma ramificação fina com ALINHAR. TEM uma ramificação pouco espessa com REFLETIR, INVERTIDO e DEPENDER. FRENTE tem uma ramificação fina com ATRÁS. A palavra ESPELHO tem uma ramificação muito espessa com REFLEXO, uma ramificação espessa com OBJETO, IMAGEM, DISTÂNCIA, PARECER e IGUAL, uma ramificação pouco espessa com OBSERVAR, MAIS e VIDRO, e uma ramificação fina com ATÉ, NÚMERO e POSIÇÃO. PARECER tem uma ramificação pouco espessa com USADO. IGUAL tem uma ramificação fina com DAR. A palavra REFLEXO tem uma ramificação espessa com ÂNGULO e ILUSÃO, uma ramificação pouco espessa com NÃO, APARECER e AUMENTAR, e uma ramificação fina com TRÁS. ILUSÃO tem uma relação pouco espessa com ÓPTICA e COMO. Algumas das palavras com forte ligação são PILHA, ESPELHO e REFLEXO, já que todos os experimentos deste capítulo envolvem esses três itens. As ramificações que partem da palavra PILHA estão relacionadas com a formação de imagens em espelhos planos. Já as ramificações que saem da palavra REFLEXO

envolvem questões ópticas e os ângulos envolvidos. E as ramificações de ESPELHO estão relacionadas ao que o observador percebe.

A seguir, na Figura 50 e na Figura 51, temos a nuvem de palavras e o gráfico de similitude referente às anotações dos alunos no capítulo 4 dos cadernos aplicados. Na Tabela 5 temos registrado quantas vezes as palavras mais frequentes aparecem no capítulo 4 do caderno.

Figura 50: Nuvem de palavras criada no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 4 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

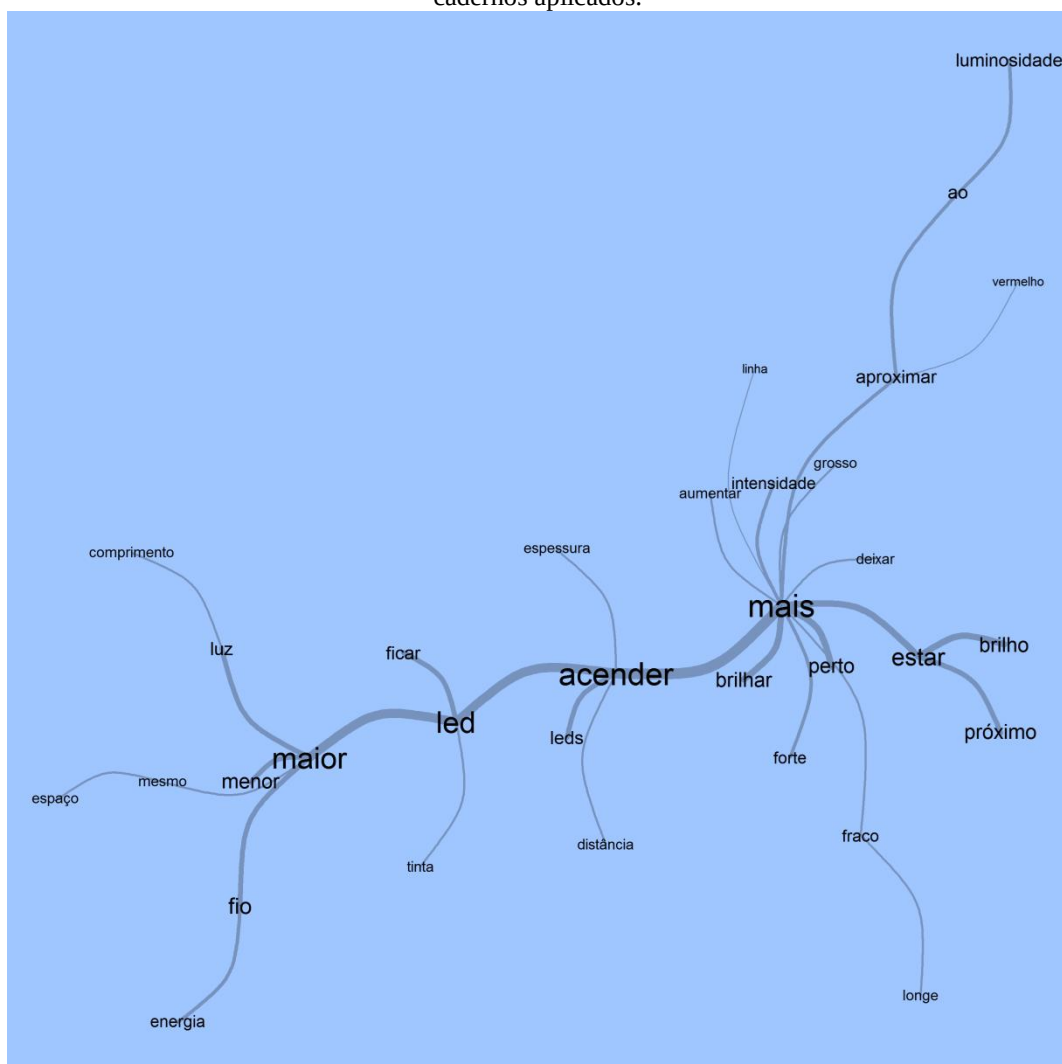
Tabela 5: Palavras que mais apareceram no capítulo 4 e quantas vezes elas apareceram.

PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES	PALAVRA	N. DE VEZES
mais	46	fio	10	ao	7
maior	17	perto	9	próximo	7
acender	14	menor	9	leds	7
led	12	luminosidade	8	intensidade	6
brilhar	11	ficar	8	luz	6
estar	11	brilho	7		

Fonte: Autor.

Ao verificar o material produzido pelos alunos utilizando os cadernos, verificou-se uma dificuldade em realizar anotações sobre os experimentos realizados, o que tornou a nuvem de palavras e o gráfico de similitude do IRAMUTEQ difíceis de analisar. Mas levando em conta as palavras que aparecem e as discussões durante a aula, algumas frases como “MAIOR COMPRIMENTO, BRILHO FRACO”, “MAIS GROSSO, BRILHO FORTE” e “PRÓXIMO O LED BRILHA”, fica claro que conceitos envolvendo as dimensões de um condutor (comprimento e espessura) foram percebidos e captados pelos alunos como subsunçores utilizados na compreensão do funcionamento do show da Monga.

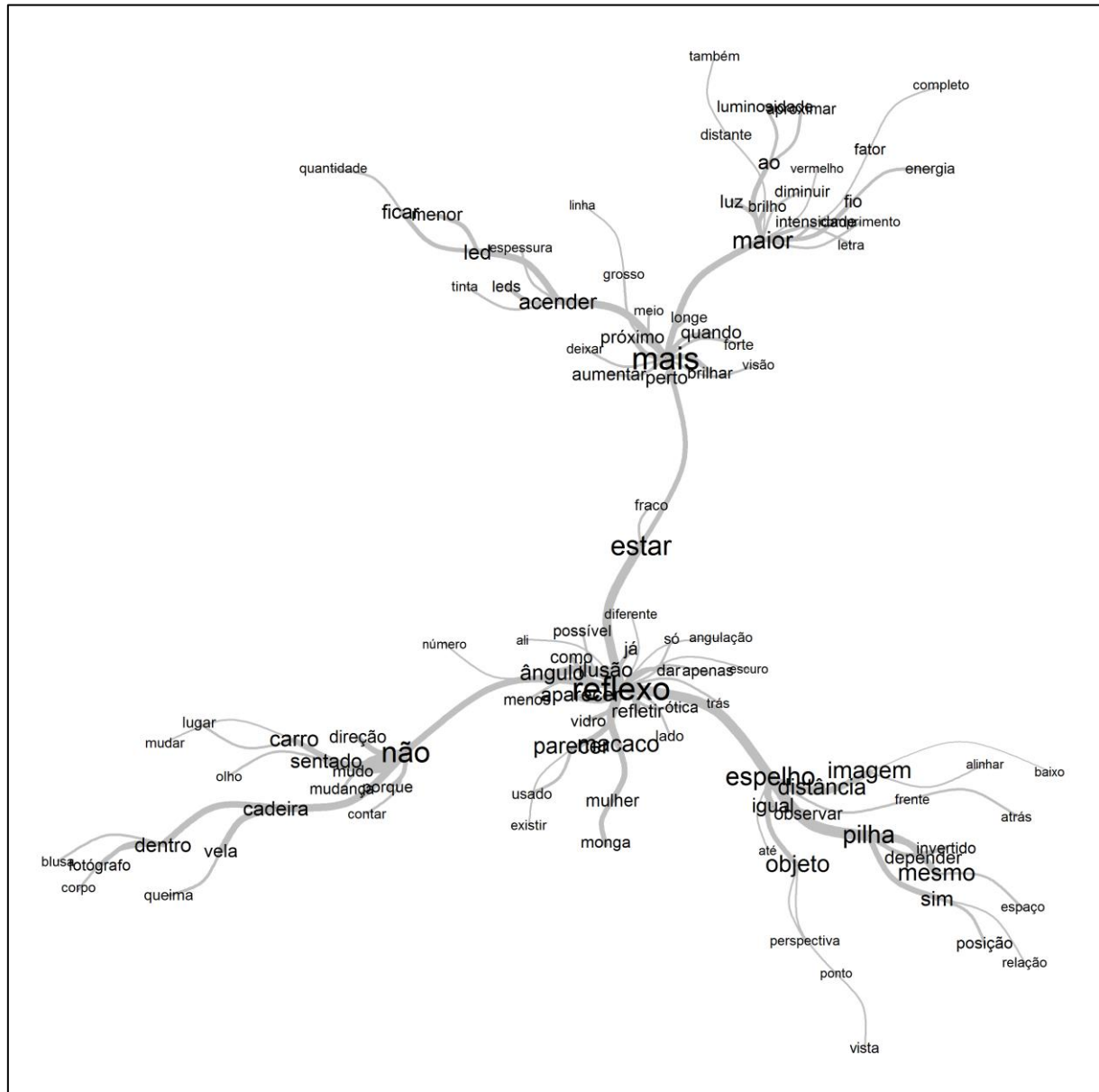
Figura 51: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, referente às anotações dos alunos no capítulo 4 dos cadernos aplicados.



Fonte: Autor.

A palavra **MAIS** tem uma ramificação muito espessa com **ACENDER**, uma ramificação espessa com **BRILHAR**, **PERTO** e **ESTAR**, uma ramificação pouco espessa com **FORTE**, **INTENSIDADE** e **APROXIMAR**, e uma ramificação fina com **AUMENTAR**, **LINHA**, **GROSSO**, **DEIXAR** e **FRACO**. **ESTAR** tem uma ramificação espessa com **BRILHO** e **PRÓXIMO**. **APROXIMAR** tem uma ramificação pouco espessa com **AO**, e **AO** tem uma ramificação pouco espessa com **LUMINOSIDADE**. **APROXIMAR** tem uma ramificação fina com **VERMELHO**. **FRACO** tem uma ramificação fina com **LONGE**. A palavra **ACENDER** tem uma ramificação muito espessa com **LED**, uma ramificação espessa com **LEDS** e uma ramificação pouco espessa com **ESPESSURA** e **DISTÂNCIA**. A palavra **LED** tem uma ramificação muito espessa com **MAIOR**, uma ramificação espessa com **FICAR** e uma ramificação pouco espessa com **TINTA**. A palavra **MAIOR** tem uma ramificação espessa com **LUZ**, **MENOR** e **FIO**, e uma ramificação fina com **MESMO**. **LUZ** tem uma ramificação fina com **COMPRIMENTO**, **FIO** tem uma ramificação fina com **ENERGIA** e **MESMO** tem uma ramificação fina com **ESPAÇO**.

Figura 53: Gráfico de similitude criado no software IRAMUTEQ, baseado em todas as anotações presentes nos cadernos.



Fonte: Autor.

Neste último gráfico de similitude podemos notar que a palavra central que conecta todas as demais é REFLEXO. Nela estão ligadas as palavras NÃO, ESPELHO e ESTAR. As palavras NÃO e ESPELHO estão relacionadas com a óptica das atividades e experimentos que utilizam a reflexão. A palavra ESTAR consegue criar uma conexão entre as palavras REFLEXO e MAIS. Todas as palavras ligadas a partir da palavra MAIS estão relacionadas com a eletrodinâmica das atividades e experimentos que utilizam a variação de resistência pela resistividade.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que a presente dissertação auxilie professores de Física e alunos do Ensino Médio no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos de óptica e eletrodinâmica, tais como, reflexão da luz, corrente, diferença de potencial, resistência e resistividade, relacionados com a montagem e funcionamento de um Fantasma de Pepper. Para desencadear esse processo, seguimos a metodologia já mencionada.

A escolha da metodologia engloba duas linhas de desenvolvimento diferentes, cada uma utilizando apenas um dos cadernos didáticos elaborados. Ao utilizar o caderno do professor a aprendizagem ocorrerá por recepção, em que o professor desenvolve as atividades e os alunos vão participando ativamente da aula. Ao utilizar o caderno do aluno a aprendizagem ocorrerá por descoberta, em que os alunos desenvolvem as atividades no seu ritmo e o professor estará presente para auxiliá-los sempre que necessário.

A maior dificuldade a ser encarada com a turma foi a falta de interesse pelas atividades desenvolvidas em sala de aula, mas, com o uso do produto didático contendo textos, imagens, vídeos, atividades e experimentos, foi possível instigar nos alunos da segunda série do Ensino Médio uma curiosidade natural e uma participação genuína durante as aulas, comprovando a hipótese gerada no início dessa dissertação.

A interação entre professor-alunos e a aplicação de atividades potencialmente significativas, através dos cadernos didáticos, permitiu correções conceituais sobre o que é um holograma, como um holograma é produzido e quais tipos de hologramas existem, além de desenvolver alguns subsunçores em óptica e eletrodinâmica, tais como, reflexão da luz, formação de imagens, perspectiva, campo de visão e variação de resistência através da resistividade, necessários para a compreensão do funcionamento do Fantasma de Pepper.

Podemos considerar que os nossos dois primeiros objetivos, que eram produzir um caderno didático pedagógico para o professor e um para o aluno, foram atingidos sem dificuldades. O nosso último objetivo, que envolve comprovar o desenvolvimento de subsunçores e da aprendizagem significativa, foi parcialmente atingindo. Não é possível confirmar uma aprendizagem significativa correta em todos os alunos envolvidos, devido ao fato de não se verificar o surgimento de novos subsunçores relevantes ao tema holograma, uma hierarquização de conceitos e/ou uma relação entre os conceitos apresentados, no material produzido por alguns dos alunos. Cabe agora ao professor continuar a desenvolver outras atividades potencialmente significativas que se apropriem dos subsunçores desenvolvidos como novos conhecimentos prévios.

Uma mudança percebida por outros professores que lecionam para essa turma foi à cobrança dos alunos por propostas semelhantes à dos cadernos didáticos. Essa reação demonstra

não apenas uma aprendizagem dos alunos na temática proposta, mas também uma mudança no comportamento dos alunos em buscar novos conhecimentos.

A dificuldade dos alunos na produção de mapas mentais, na primeira e na última aula, dificultou a verificação de uma aprendizagem significativa, mas o problema foi solucionado quando associamos esses mapas mentais com todos os questionários e atividades feitas durante as oito aulas, não trazendo prejuízos a este trabalho. O uso do software IRAMUTEQ também foi de grande ajuda para analisar todo esse material produzido pelos alunos.

Tendo em vista a biografia citada neste trabalho, não se encontraram trabalhos que utilizem ilusões de óptica para ensinar temas de eletrodinâmica, tais como corrente, resistência e potencial elétrico.

Ressaltamos que o material produzido e os resultados obtidos com a aplicação dos cadernos possibilitaram a produção, submissão e apresentação de trabalhos em eventos como:

- No “Encontro Regional Sul do MNPEF” em maio de 2019 (APÊNDICE G)
- Na “VI Escola Brasileira em Ensino de Física” em agosto de 2019 (APÊNDICE H)
- Na “XXII Semana da Física Da Terra à Lua 50 anos de um sonho” em novembro de 2019 (APÊNDICE I).
- No “XVIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física” que ocorrerá em novembro de 2020, em Florianópolis-SC.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D.V.R.; SOUSA, A.A. **O fantasma de Pepper e sua contribuição para o ensino de óptica geométrica** Anais do I Encontro Regional do MNPEF Centro-Oeste/Norte. Universidade de Brasília, DF – 11 a 12 de julho de 2019. v. 3, n. especial (2019): Revista do Professor de Física | ISSN 2594-4746.
- BEVILAQUA, D. V. et al. Ilusões virtuais: sobre o uso de objetos de 11820 aprendizagem para a exploração de ilusões de ótica em um museu. In: **ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**, 7., 2010, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia: SBF, 2010. p. 1-20.
- BIÉGAS, P.S.G.; DECHANDT, I.C.J.D.; NASCIMENTO, F.C. **Física: da ilusão à óptica**. II SINECT. 07 a 09 de outubro de 2010. Artigo número: 70. ISBN: 2178-6135. UTFPR – PPGECT. Ponta Grossa, 2010.
- CHAVES FILHO, G.; BERNARDES, L.A.B.; DA SILVA, S.L.R. **Apresentando o efeito Magnus e suas aplicações para alunos do ensino médio**. Vol. 38 (Nº 15) Año 2017. Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015.
- DELLA PORTA, G. **Magia naturalis**. 1714.
- ELETROSTÁTICA** - Lei de Coulomb. Disponível em: <http://www.marco.pro.br/lecb.html> Acesso em 02/06/2019.
- EVANS, H. J. **Progressive electro-dynamics equipment** – Bulletin nº 12. Central Scientific Company, Chicago, IL, USA, 1914. Disponível em <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/trade-literature/scientific-instruments/pdf/sil14-51677.pdf> , Acesso em 02/06/2019.
- FERRARO, N.G.; SOARES, P.A.T. **Física Básica**. Volume Único, Atual, São Paulo (1998).
- FERREIRA,C.; LOPES, D. **Tipos de Hologramas**. Disponível em: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist178691/cav/tipos-de-hologramas/> Acesso em: 20 abr.2019
- GOMES, J.P.N. **Desvendando os Hologramas**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.
- GRAF, Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. **Física 2: Física Térmica e Óptica**. Edusp, São Paulo (1998).
- HALLIDAY, RESNICK, WALKER. **Fundamentals of Physics**. 9ªed. LTC. 2010.
- HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011.
- LIMA, A.A.; MACEDO, J.Q.; GERMANO, M.G. Ciência e Arte na Feira: um relato da experiência com ilusões de Optica. In **SIMPOSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA**, 2009, Vitória. Anais. Sociedade Brasileira e Física, 2009.
- MATOS, W.A.; PACCA, J.L.A. **A COMPREENSÃO DA HOLOGRAFIA E AS CONCEPÇÕES SOBRE LUZ E VISÃO**. XVI SNEF, 2005.

MEDEIROS, A. **A HISTÓRIA E A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 23, n. 3: p. 329-344, dez. 2006.

MENDES, J.F.; COSTA, I.F.; DE SOUSA, C.M.S.G. **O uso do software Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica**. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v.34, n.2, p.1-9, Junho de 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172012000200011&lng=en&nrm=iso . Acessado em 03 de Fevereiro de 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172012000200011>.

MENEGAZZO, R.C.S. **O SENTIDO DA VISÃO E A ILUSÃO DE ÓTICA: ATIVIDADES COMPLEMENTARES**. X EDUCERE: I SIRSE, 2011. Disponível: educere.bruc.com.br/CD2011/pdf/4228_2287.pdf

MOREIRA, M.A. **MAPAS CONCEITUAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**. Revista Chilena de Educación Científica, 4(2): 38-44.

MOREIRA, M.A. **ORGANIZADORES PRÉVIOS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**. Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, Vol. 7, Nº. 2, 2008 , p. 23-30. Revisado em 2012.

NOBEL. **Dennis Gabor** – Facts. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2020. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1971/gabor/facts/> . Acesso em: 20 de setembro de 2020.

NOVAK, J.D. **Teoria y practica de la educación**. 1986. Madrid: Alianza.

PARISOTO, M.F. **Ensinar Física a partir de Ilusões de Óptica: reflexão total, dispersão, refração e reflexão**. II SINECT. 07 a 09 de outubro de 2010. Artigo número: 66. ISBN: 2178-6135. UTFPR – PPGECT. Ponta Grossa, 2010.

RAMOS, P.B.; SOUZA, R.R. **Ilusões de Óptica no Monitor de Computador**. Física na Escola, v. 4, n. 1, 2003.

SCHIVANI, M.; SOUZA, G.F.; PEREIRA, E. **Pirâmide “holográfica”: erros conceituais e potencial didático**. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v.40, n.2, e2506, 2018. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000200607&lng=pt&nrm=iso . Acessos em 02 de fevereiro de 2020. Epub 18-Dez-2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0186>.

SECCOMBE, T. **DICTIONARY OF NATIONAL BIOGRAPHY** - 1901 supplement - Pepper, John Henry. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_\(DNB01\)](https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_(DNB01)) . Acesso em: 20 de setembro de 2020.

SILVA, M. A. **A Balança de Torção de Coulomb**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-balanca-torca-coulomb.htm> . Acesso em 02/06/2019.

SILVA, M. F.; MONTEIRO, M. A. **Abordagens imagético-verbais relacionadas à balança elétrica de Coulomb em livros didáticos de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 32, n. 2, 320 p. 320-350, ago. 2015.

SILVA, M.C. **Holografia: um projecto para o ensino secundário**. Gazeta Ao Laboratório, Vol. 34 -n.1. SPF, 2011.

SOARES, V.; SOUSA, J.J.F.; e VIANA, D.M. **Experimentos desenvolvidos pelo PIBID/UFRJ e dinâmica em sala de aula**. Rio de Janeiro, Instituto de Física–UFRJ, 2015. Oficina 19 do XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, Uberlândia, MG - 26 a 30 de janeiro de 2015.

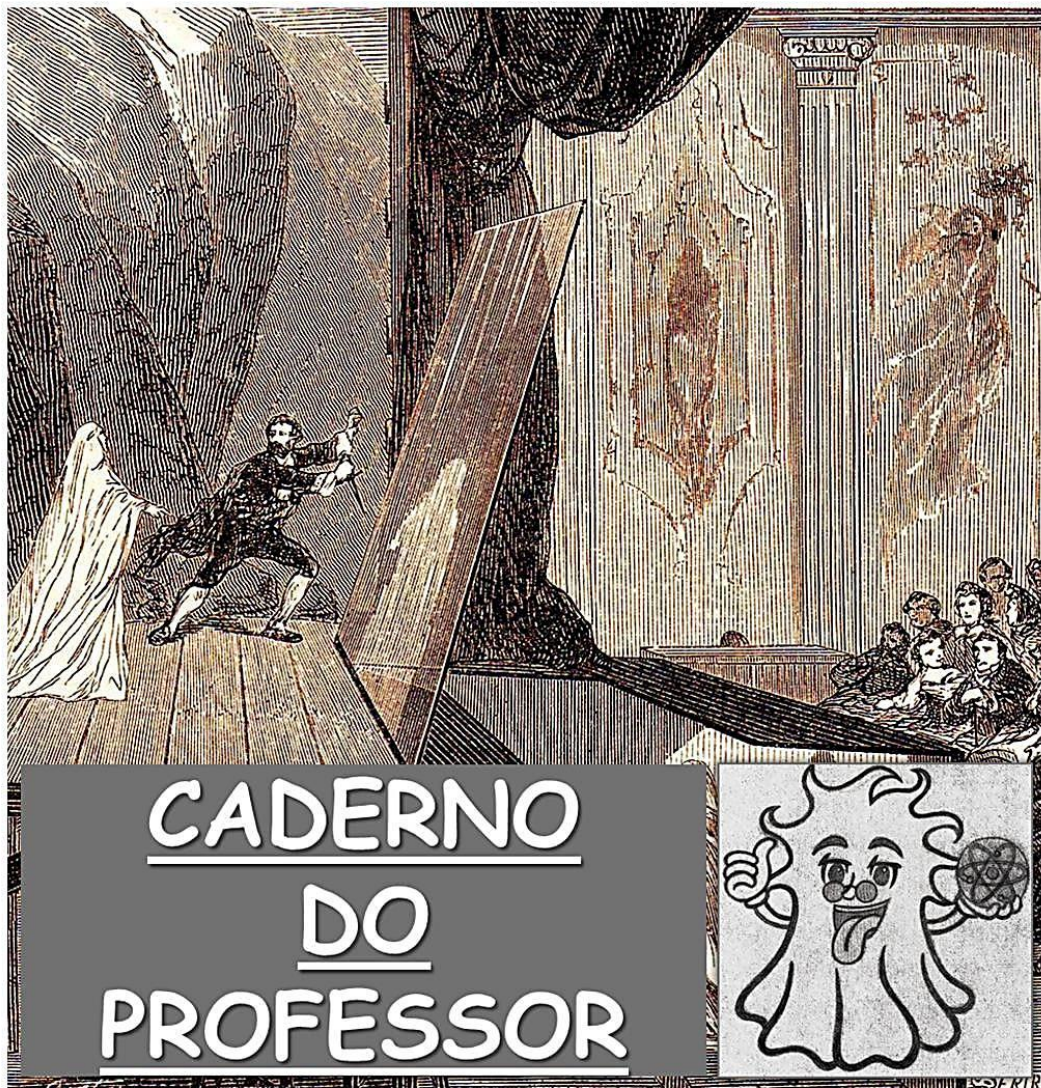
SUTTON, C. W. **DICTIONARY OF NATIONAL BIOGRAPHY - 1885-1900 - Volume 15 - Dircks, Henry**. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_\(DNB00\)](https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_(DNB00)) . Acesso em: 20 de setembro de 2020.

TOLEDO, R.S.; et al . **Haciendo hologramas en la escuela y en la casa**. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v. 32, n. 3, p. 1-7, Sept. 2010. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172010000300014&lng=en&nrm=iso . Acesso em: 20 de setembro de 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172010000300014>.

VERGENNES, D.S. **ESTUDO DAS AFFORDANCES PARA APRENDIZAGEM DOS CONCEITOS DE PERSPECTIVA HOLOGRÁFICA, EM ÓPTICA FÍSICA, POR MEIO DE UM SIMULADOR DE HOLOGRAMAS, PARA O ENSINO MÉDIO**. TCC de Especialização. UFPR – DAMAT. Londrina, 2017

POTENCIÔMETRO. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Potenci%C3%B4metro> . Acesso em: 20 de setembro de 2020.

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL – CADERNO DO PROFESSOR



***"PEPPER'S GHOST": COMO
ENSINAR/APRENDER
CONCEITOS DE FÍSICA
ATRAVÉS DE UMA SIMPLES
ILUSÃO DE ÓPTICA***



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 35
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

GILVAN CHAVES FILHO
LUIZ ANTÔNIO BASTOS BERNARDES

**"PEPPER'S GHOST": COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS
DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA**

Ponta Grossa/PR

2020

APRESENTAÇÃO

Este material é um produto educacional, parte integrante da dissertação realizada junto ao Programa de Pós-Graduação Ensino de Física e ao mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 35, da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Este caderno didático a ser aplicado através de uma sequência didática planejada para abordar, através de atividades e experimentos relacionados com uma ilusão de ótica chamada "Pepper's Ghost" (Fantasma de Pepper), precursora da atual holografia, conteúdos como leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial e resistividade.

Este caderno está dividido em cinco capítulos: no primeiro, definimos o que é um holograma, levando em consideração relações históricas; no segundo, realizamos a montagem de um Fantasma de Pepper simplificado e relataremos eventos do século XX e XXI que ainda se apropriam dele; no terceiro, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da ótica envolvida no Fantasma de Pepper; no quarto, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da eletrodinâmica envolvida no Fantasma de Pepper; no quinto, são abordadas outras técnicas de holografia mais atuais, além disso, é proposta a criação de mapas mentais, com o intuito de verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos no final do processo.

COMO USAR ESTE CADERNO...

Este caderno foi elaborado com o intuito de auxiliar professores do Ensino Médio no ensino-aprendizagem dos conceitos de Física presentes em uma técnica de ilusão de óptica conhecida como "Pepper's Ghost",

A abordagem deste caderno segue a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem como finalidade auxiliá-lo a elaborar algumas de suas aulas, sugerindo algumas atividades e experimentos sobre os conteúdos de leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial, resistência e resistividade.

I

CAPÍTULO I: "O QUE É UM HOLOGRAMA?"

ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema HOLOGRAMA.

- ✓ Elaborar um mapa conceitual, abaixo, partindo do tema HOLOGRAMA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

COMO SE EXPLICA A FORMAÇÃO DE UM HOLOGRAMA

Segundo o dicionário Michaelisⁱ a definição de holograma é:

Fotografia que apresenta uma imagem tridimensional e inclui informação sobre a intensidade e o período de radiação refletida, transmitida pelo objeto fotografado, e que se obtém com o uso de radiação coerente¹ de um laser².

O processo utilizado para gerar um holograma é conhecido como holografia. Esse termo foi cunhado em 1948 pelo físico húngaro Dennis Gaborⁱⁱ. Em seus trabalhos, utilizando luz branca normal, ele conseguiu desenvolver uma forma de fotografia que colhia uma grande quantidade de informações, como textura e relevo de um material. Como a luz branca tinha muitos padrões de interferência, sem coerência, a imagem gerada por Dennis Gabor não era de boa qualidade. A descoberta da holografia fez com que Dennis Gabor ganhasse o prêmio Nobel da Física em 1971. Para melhorar a qualidade da imagem da holografia, um aparato foi montado, por Emmett Leith & Juris Upatnieksⁱⁱⁱ, para gerar padrões de interferência com radiação coerente. Esse aparato era constituído por: um laser, um separador de feixes, duas lentes divergentes, um espelho, uma placa fotográfica e o objeto, como indicado na figura 1 abaixo.

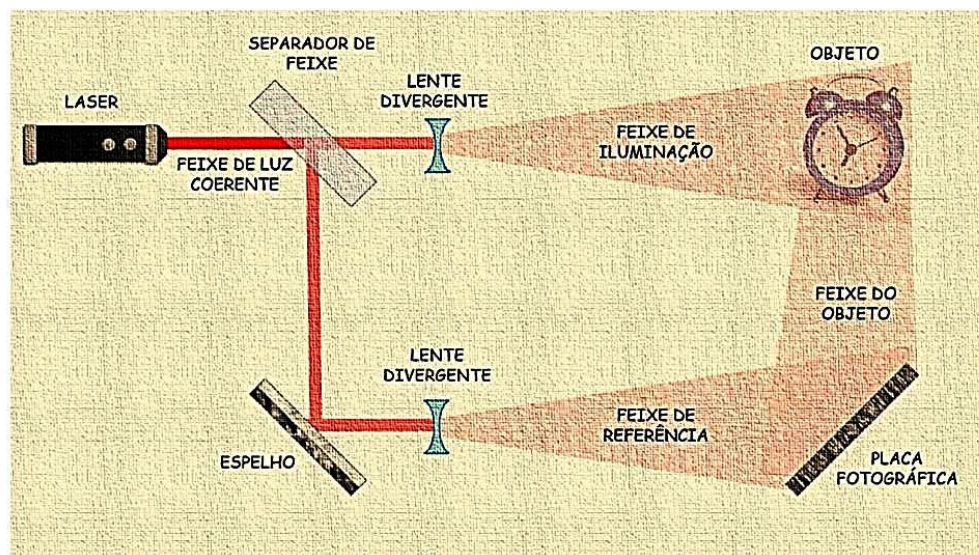
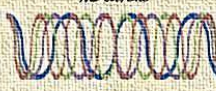


Figura 1: Aparato para gerar os padrões de interferência que podem ser utilizados para formar um holograma.

(1) RADIAÇÃO COERENTE LUZ COERENTE É AQUELA FORMADA POR ONDAS DE MESMA FREQUÊNCIA E DIREÇÃO QUE MANTÊM UMA RELAÇÃO DE FASE CONSTANTE ENTRE SI.	<i>Não coerente</i>  <i>Coerente</i> 	(2) LASER QUALQUER APARELHO QUE PRODUZA RADIAÇÃO ELEIROMAGNÉTICA MONOCROMÁTICA E COERENTE NAS REGIÕES VISÍVEL, INFRAVERMELHO OU ULTRAVIOLETA, POSSUINDO INÚMERAS APLICAÇÕES.	<i>Exemplo de laser</i> 
--	---	--	--

Os padrões de interferência obtidos na figura 1 são utilizados para gerar um feixe reconstruído. Esse feixe, ao ser refletido por uma placa fotográfica, devido aos seus padrões de interferência, gera uma imagem virtual tridimensional, como ilustrado na figura 2:

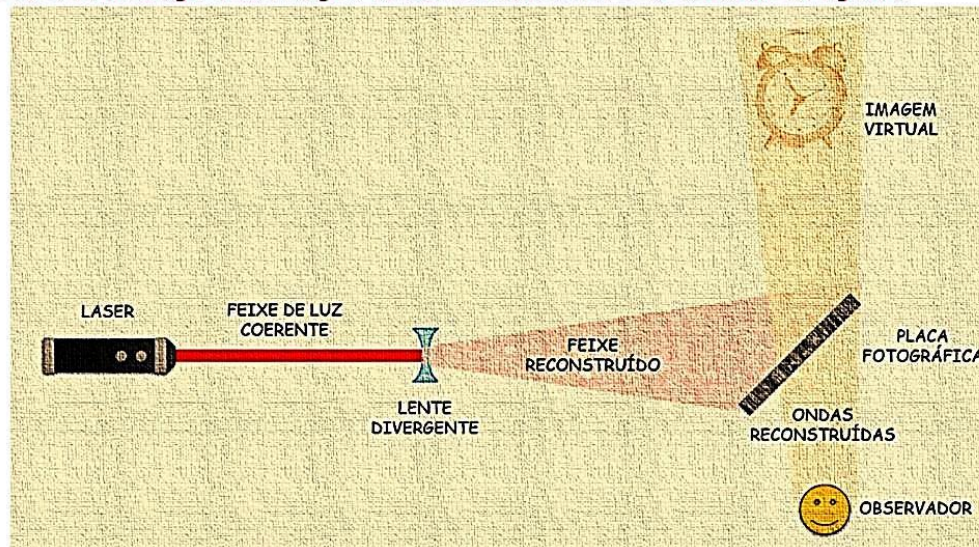


Figura 2: Imagem virtual gerada pela reflexão de um feixe reconstruído.

Quando um observador vê a placa fotográfica onde foi refletido o feixe reconstruído, ele observa uma frente de onda reconstruída. Nessa frente de onda cada ponto é resultante de uma interferência de dois comprimentos de onda diferentes. Desse modo, os dois olhos do observador enxergam comprimentos de onda diferentes para o mesmo ponto. Ou seja, é como se o observador conseguisse enxergar o mesmo ponto a partir de duas posições diferentes, como ocorre no fenômeno da "paralaxe^{3a}". Essa paralaxe dá ao observador a ilusão de que o objeto observado é tridimensional. Esse fenômeno não ocorre na fotografia comum pois, para se obter esta fotografia, não é utilizado um feixe reconstruído a partir de padrões de interferência.



SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar quais subsunçores podem ser desenvolvidos e entendidos com o auxílio de um vídeo que mostra a formação de um holograma.

PARTE A:

- ✓ Assistir o vídeo: "How 3D holograms work".
- ✓ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=Oics3RVSn9w>
- ✓ Listar eventos presentes no vídeo que mais chamam a atenção.
- ✓ Determinar, em cada evento, quais conceitos de Física estão presentes.
- ✓ Elaborar um mapa conceitual, partindo do tema HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

PARTE B:

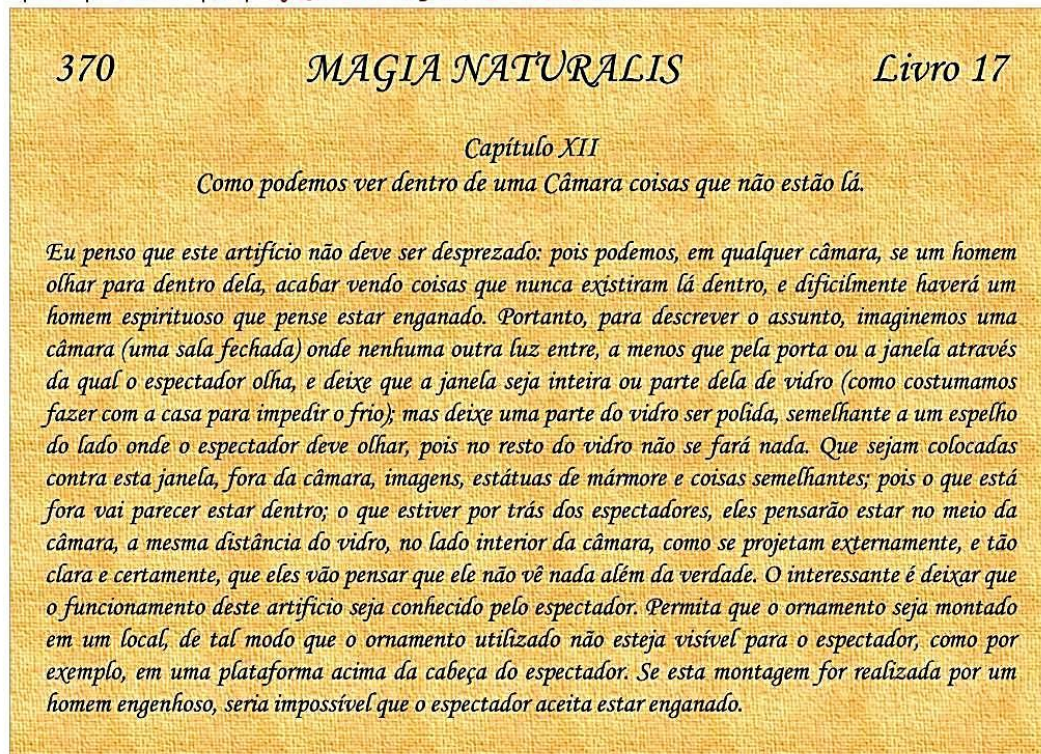
- ✓ Coloque um lápis sobre a mesa e olhe para ele. Primeiramente, olhe apenas com o olho direito (fechando ou tapando com a mão o olho esquerdo). Em seguida, olhe para o lápis apenas com o olho esquerdo. Faça isso várias vezes, ora olhando para o lápis com o olho direito, ora com o olho esquerdo. É importante que, quando você olhar o lápis de maneira alternada, a posição da sua cabeça ou do lápis na mesa não seja modificada. O que você percebe quando observa o lápis com o olho direito? E com o olho esquerdo? Essas observações foram iguais ou diferentes? Se houver diferença entre as observações, qual é esta diferença?
- ✓ Agora, pegue o lápis e fique segurando-o com o braço esticado, na frente do seu rosto. Observe inicialmente o lápis com o olho direito, fechando o esquerdo. Em seguida, com o braço ainda esticado, observe o lápis com o olho esquerdo, fechando o direito. Faça essas observações várias vezes, de maneira alternada. Em seguida, traga o lápis para uma posição mais próxima de seu rosto e observe-o novamente de maneira alternada, ora só com o olho direito, ora só com o olho esquerdo. Aproxime mais uma vez o lápis de seu rosto e repita a observação alternada. Em cada mudança de posição do lápis, a observação dele com o olho direito é diferente da observação dele com o olho esquerdo?

QUESTÕES:

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Qual o principal fenômeno que você percebeu nas observações acima realizadas com o lápis?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Esse fenômeno é o fator principal necessário para o ser humano conseguir visualizar formas de forma tridimensional, como no holograma?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Uma pessoa que enxergue só com um olho conseguiria ver um holograma? Justifique sua resposta.

BREVE HISTÓRIA DO FANTASMA DE PEPPER (PEPPER'S GHOST)

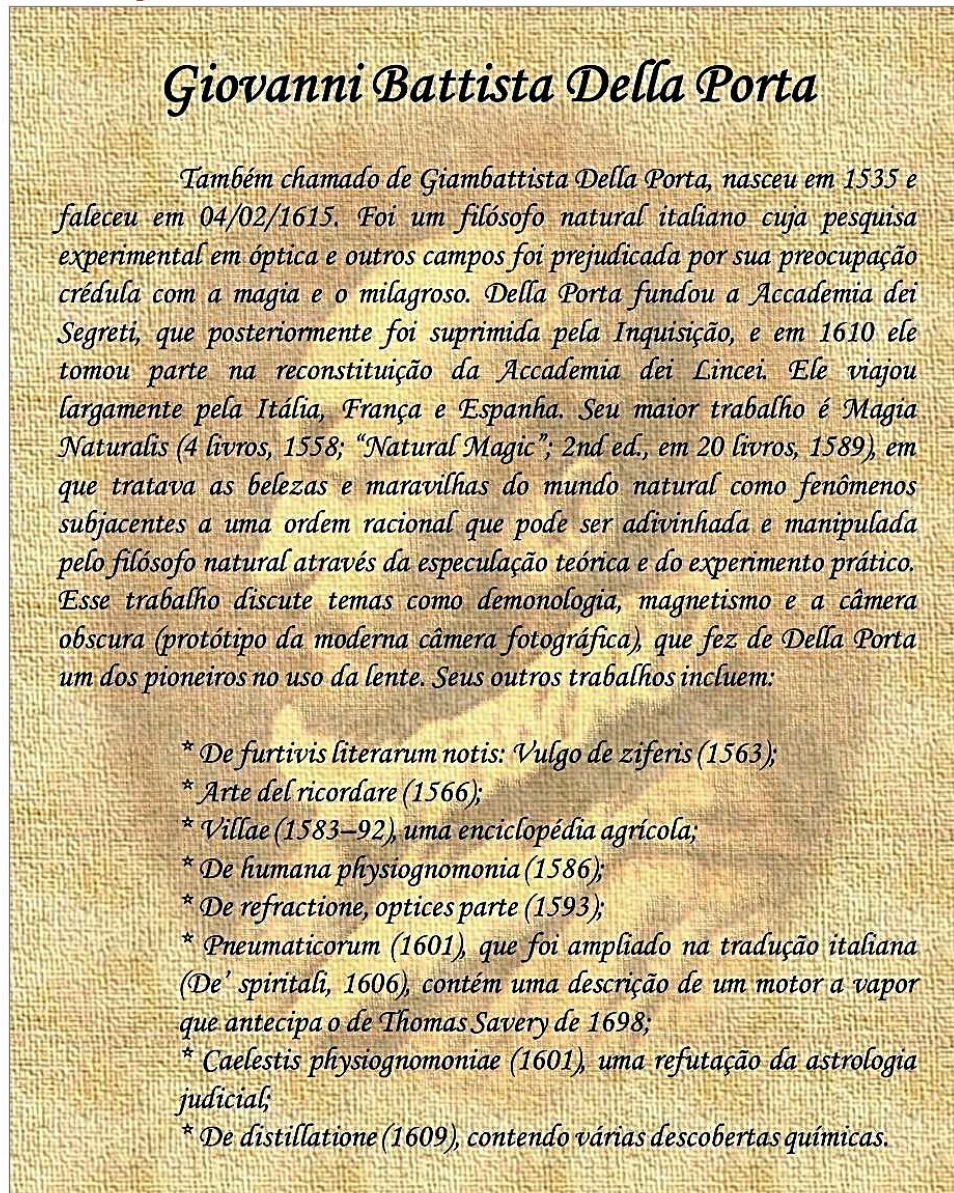
O termo HOLOGRAMA também pode ser utilizado para descrever ilusões de óptica que aparentam ter características tridimensionais, mesmo sendo obtidas através da projeção de imagens bidimensionais. Essa projeção de imagens bidimensionais pode ocorrer com as ilusões de óptica que produzem no observador a sensação de que um objeto está na sua frente; quando, na verdade, é apenas uma projeção de um objeto que aparenta estar na frente do observador. As primeiras observações desse tipo de ilusão de óptica datam do século XVI e foram registradas pelo filósofo natural italiano Giambattista Della Porta ^{iv}em seu livro *Magia Naturalis*. A figura 3 mostra a página 370 do livro citado, na qual se explica a ilusão de óptica produzida por projeção de imagens bidimensionais.



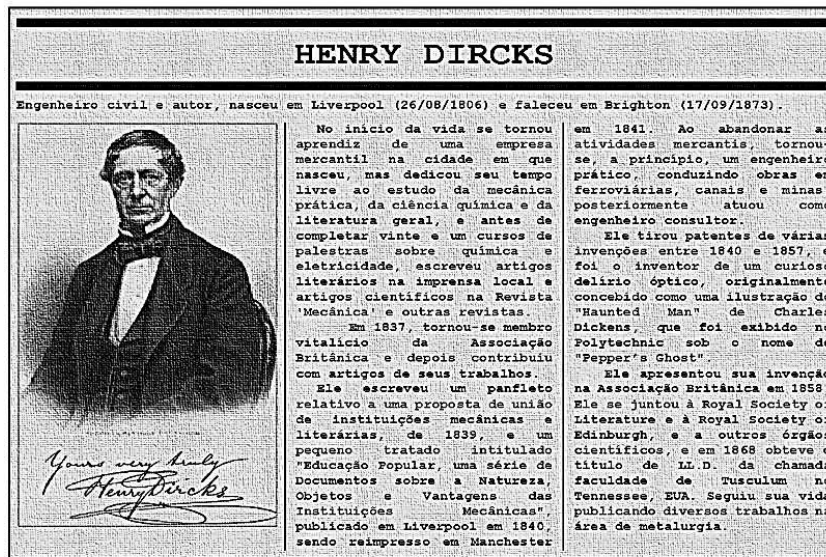
Figura^v 3: Tradução livre e adaptação para o português da página 370 do livro *Magia Naturalis*, realizadas pelo autor deste caderno.

O mesmo artefato, descrito por Della Porta no texto acima, serviu de inspiração para os ingleses John Henry Pepper e Henry Dircks elaborarem alguns aparatos que realizassem ilusões de óptica, chamando muita atenção de toda a Europa, durante o século XIX. O aparato nomeado como Pepper's Ghost (Fantasma de Pepper) foi o mais popular de todos os utilizados pelos dois ingleses para gerar ilusões de óptica.

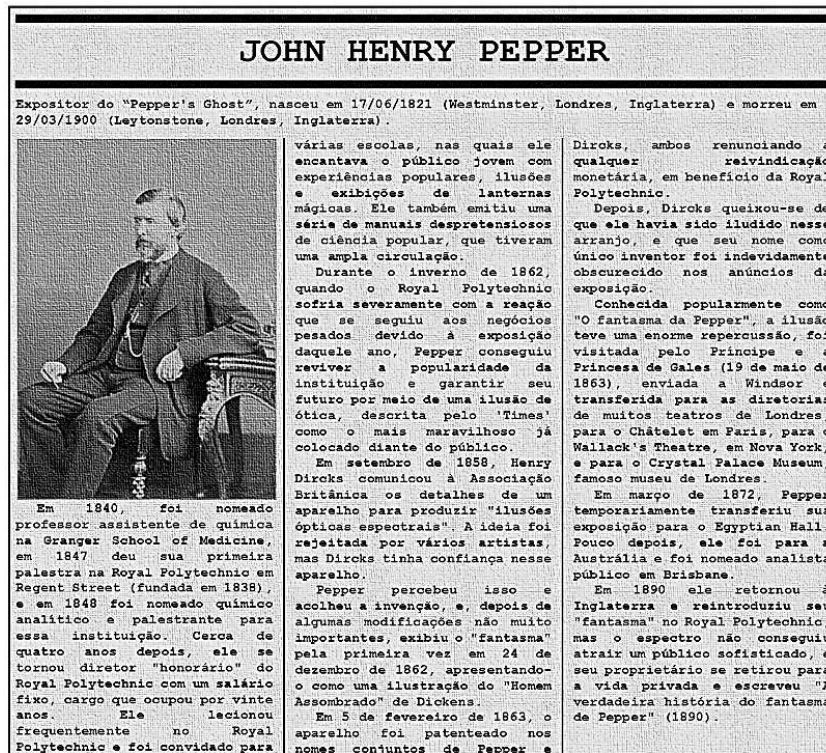
A seguir, apresentamos nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente, biografias de Giambattista Della Porta, Henry Dircks, inventor do aparato citado, e de John Henry Pepper, que o adaptou para gerar ilusões de óptica através da projeção de imagens bidimensionais. A primeira biografia é uma tradução e adaptação, realizadas pelo autor do presente caderno, do texto da Enciclopédia Britânica. As outras duas biografias são traduções e adaptações, também realizadas pelo autor do presente caderno, de textos presentes no Dicionário Nacional de Biografias Britânico.



Figura^{vi} 4: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Giambattista Della Porta



Figura^{viii} 5: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Henry Dircks.



Figura^{viii} 6: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de John Henry Pepper.

O funcionamento e montagem de um Fantasma de Pepper serão abordados no capítulo 2 deste caderno.

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Projeção de uma imagem virtual bidimensional – Exemplificando o funcionamento da câmara escura de Giambattista Della Porta

Observe a figura 7 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^x 7

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 5 está fazendo?
Esse homem está fora ou dentro do carro?

Observe a figura 8 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^x 8

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Qual é a semelhança entre a garota e o macaco?

Observe a figura 9 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xi} 9

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quem está dentro do imóvel: os objetos ou o fotógrafo?

Observe a figura 10 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xiii} 10

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas cadeiras você vê na figura 8?

Elas estão dentro ou fora do consultório?

Observe a figura 11 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).



Figura^{xiii} 11

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas velas aparecem na figura?

O dedo que está sobre uma das velas está sendo queimado?

A figura 12 que já foi analisada é uma parte da figura 10 abaixo.



Figura 12

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 10 está fazendo?

Esse homem está fora ou dentro do carro?

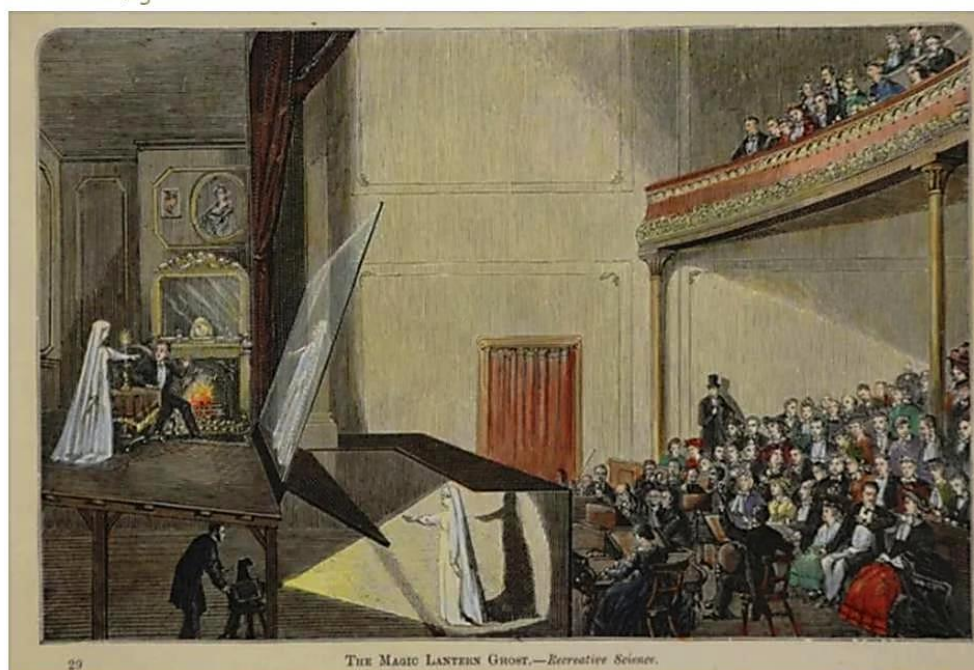
❖ QUESTIONAMENTO 04: Como podemos explicar, de forma sucinta, o efeito que verificamos em todas as figuras acima?

II

CAPÍTULO II: O FANTASMA DE PEPPER

O FUNCIONAMENTO DO FANTASMA DE PEPPER

Como já relatado do capítulo I, o Fantasma de Pepper foi um aparato que fez muito sucesso em apresentações do século XIX. Esse aparato foi utilizado para entreter o público em universidades, escolas técnicas, museus e teatros da Europa. Uma representação do Fantasma de Pepper, da maneira como ele era apresentado em teatros do século XIX, está mostrada na figura 13 abaixo.



Figura^{xiv} 13: Ilustração de uma peça de teatro que utiliza a técnica do Fantasma de Pepper para surpreender a plateia.

A explicação de seu funcionamento pode ser encontrada em um artigo de 2006, "A HISTÓRIA E A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER", escrito por MEDEIROS. Neste trabalho são relatados os projetos de Henry Dircks de um aparato que realizava ilusões de óptica e as modificações propostas por John Henry Pepper para melhorar sua aplicabilidade em outras situações. A situação vivenciada através do aparato é relativamente simples e antiga, observada em eventos cotidianos, como, por exemplo, entrar em um quarto com a luz acesa e olhar para fora da janela do quarto durante a noite. No momento que fazemos essa observação, podemos perceber que objetos iluminados pela luz dentro do quarto podem aparentar estar "flutuando" para fora da janela.

As adaptações feitas por Pepper envolviam utilizar uma grande placa de vidro colocada em um teatro com uma inclinação de 45°, como indicado na figura 13 acima. Com a alteração das iluminações dos ambientes embaixo e em cima do palco, era possível criar ilusões semelhantes a fantasmas na frente do público.

A MONTAGEM SIMPLIFICADA DO FANTASMA DE PEPPER

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Montagem simplificada de um Fantasma de Pepper para mostrar como pode ser produzida essa ilusão de óptica.

Para a montagem simplificada utilizaremos os seguintes materiais:

- Um celular com tela que permita assistir vídeos;
- Uma placa de acrílico (20 cm X 15 cm);
- Uma tira de papelão (30 cm X 5 cm);
- Uma tesoura;
- Um ambiente com baixa iluminação.

Realizando a montagem:

- Cortar da tira de papelão as partes especificadas na figura 14.

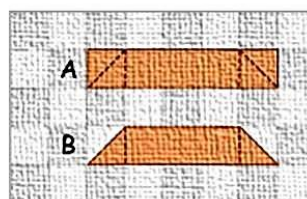


Figura 14: (A) Tira de papelão inteira, mas dobrada diagonalmente nas laterais; (B) Tira de papelão sem as partes superiores das diagonais.

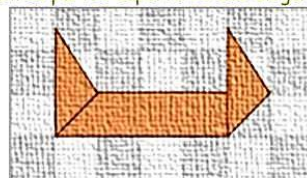


Figura 15: Tira de papelão após ser dobrada.

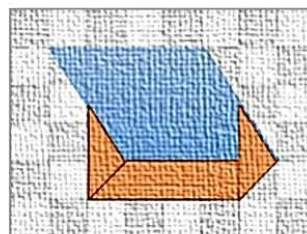


Figura 16: Placa de acrílico anexada à tira de papelão dobrada.

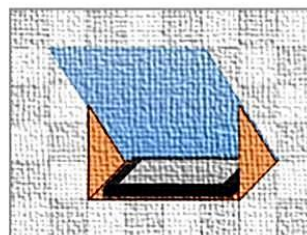


Figura 17: Celular colocado sobre a tira de papelão, mas embaixo da placa de acrílico.

- Aproveitar a marcação das dobras já realizadas e dobrar as pontas da tira de papelão, tornando-as ortogonais à parte central. O arranjo em pé tem a forma apresentada na figura 15.
- Fixar o pedaço de papelão, cortado como no item b, na placa de acrílico com fita adesiva. A fixação deve ser feita do lado em que o papelão foi cortado de maneira diagonal nas suas partes laterais. O novo arranjo, quando visto de frente e de lado, tem o formato apresentado na figura 16.
- Colocar o celular com um vídeo rodando sobre o papelão e voltado para a placa de acrílico, como mostrado na figura 17, abaixo.
- Agora escureça o ambiente e assista ao seu próprio Fantasma de Pepper.

"MONGA, A MULHER MACACO"

O nome "Fantasma de Pepper" não é muito famoso nas Américas, mas o nome "Monga" ou "Conga" fez e faz crianças deste continente sentirem um frio na espinha. A Monga realmente existiu no século XIX, mas se tornou um show circense apenas no século XX. Na reportagem a seguir, figura 18, da revista Superinteressante^{xv}, temos a história de vida da mulher que inspirou a criação deste espetáculo assustador.

MONGA, A VERDADEIRA MULHER-MACACO

COM O CORPO COBERTO DE PÊLOS, A MEXICANA JULIA PASTRANA ESTRELOU FREAKSHOWS, VIROU MÚMIA E INSPIROU UMA DAS ATRAÇÕES MAIS POPULARES DOS PARQUES DE DIVERSÃO.

Nos anos 80, um fenômeno aterrorizou crianças de todo o Brasil. O pânico chegava na bagagem de um parque de diversões, o boca-a-boca amplificava a lenda e filas se formavam para testemunhar o horror: uma mulher bonita – geralmente de biquíni – ficava presa dentro de uma jaula enquanto um narrador explicava a tenebrosa transformação pela qual ela passaria. Pêlos cresciam, garras apareciam e dentes viravam presas. No clímax da metamorfose, o monstro destruía grades e atacava o público, que fugia apavorado.

"Monga, a Mulher-Macaco" é atração tradicional até mesmo nos parques mais chifrins que correm o país. Tudo ilusão, claro. Mas o jogo de espelhos que garante a transformação de uma garota em um macaco gigante (alguém dentro de uma fantasia quase sempre bem gasta) nasceu de uma história real: a da mexicana Julia Pastrana. Nascida em 1834, Julia desenvolveu uma forma severa de hipertrikose, doença raríssima que atinge uma em cada 300 milhões de pessoas, deixando o corpo coberto de pêlos pretos.

Também não ajudou muito o fato de Julia ter orelhas grandes, gengivas inchadas e mandíbulas estranhas – na época, chegaram a cogitar que ela teria duas fileiras de dentes, mas recentes exames de raios X na arcada dentária de seu corpo mumificado (calma, a gente chega lá) comprovaram que sua dentição era normal. Coloque essa aparência bizarra sob os cuidados de um homem explorador e você terá, na pior acepção da expressão, um show de horror. Descoberta pelo comerciante Theodor Lent (que depois se casaria com ela), Julia passou a ser exibida em freak shows, as caravanas de mulheres barbadas, pessoas deformadas e coisas estranhas que viajavam pela Europa e pelos EUA entre a 2ª metade do século 19 e a 1ª do 20. Tinha 20 anos quando estreou seu primeiro espetáculo, A Incrível Híbrida ou Mulher-Urso. No show, além de dar o ar de sua graça, Julia dançava e cantava – tinha uma voz bonita, dizem. A grossa pelagem escondia uma moça educada e inteligente – Julia falava espanhol e inglês, adorava cozinhar e costurar. Morreu aos 26 anos, de complicações no parto, depois de dar à luz um filho que sofria de hipertrikose (e que morreu 3 dias depois de nascer). Nem isso preocupou Lent: o empresário mandou mumificar os dois cadáveres e continuou a

exibi-los até sua morte, em 1880. As múmias reapareceram em 1921 nas mãos de Haakon Lund, um showman norueguês que viajou com os cadáveres por duas décadas. Hoje, Julia e o filho descansam no Instituto Forense de Oslo, longe do público apavorado dos parques de diversão.

MOMENTOS:

- Julia Pastrana foi citada até por Charles Darwin. O naturalista usou o exemplo da moça para investigar o excesso de pêlos e dentes em mamíferos.
- Depois da morte de Julia, seu marido encontrou outra mulher com as mesmas características e se casou com ela! Antes de ser internado em um hospício, ele começou a dizer que as duas eram a mesma pessoa.
- Quando os nazistas invadiram a Noruega, o "donô" da múmia de Julia convenceu os alemães a mostrar o cadáver no território ocupado. Os lucros da turnê foram revertidos ao 3º Reich.

Figura 18: Reportagem da revista Superinteressante sobre Monga, a Mulher Macaco.

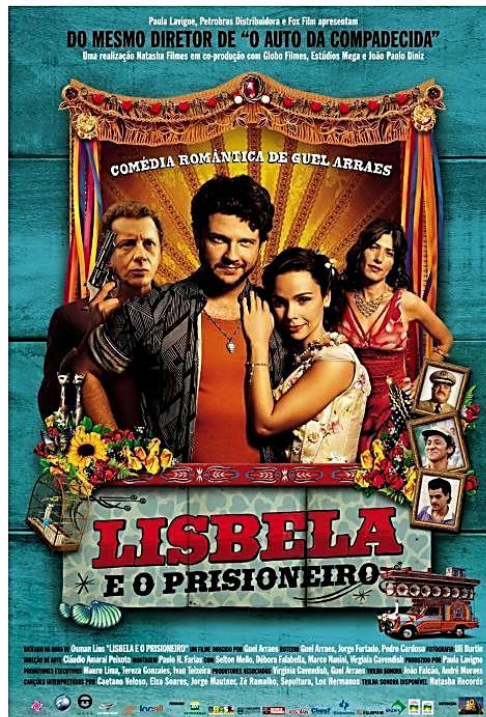
Na figura 19 abaixo, mostramos uma foto de Julia Pastrana. O funcionamento do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco, será trabalhado durante a "montagem engenhosa de um Fantasma de Pepper".



Figura^{xvi} 19: À esquerda temos uma foto de Julia Pastrana e à direita temos a múmia feita com o seu corpo ao lado da múmia feita com o corpo de seu filho recém-nascido.

A UTILIZAÇÃO DE MONGA, A MULHER MACACO NO FILME "LISBELA E O PRISIONEIRO"

ATIVIDADE 02: Análise do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco por meio de um vídeo referente a uma parte do filme "Lisbela e o Prisioneiro", com o cartaz mostrado na figura 20. Através dessa análise feita pelos alunos, espera-se verificar suas capacidades para formular teorias e solucionar o fenômeno apresentado.



Figura^{xvii} 20: Cartaz do filme "Lisbela e o Prisioneiro".

- ✓ Assistir apenas os primeiros 50 segundos do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Explique, com suas palavras, como a mulher do vídeo se tornou um macaco?
- ✓ Anote e compare sua resposta com as respostas dadas pelos seus colegas.
- ✓ Assistir ao restante do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: A sua resposta foi semelhante ou diferente da explicação dada pelo personagem do filme? Você conseguiu compreender como a atração do filme funciona apenas com a explicação dada pelo personagem?

A MONTAGEM ENGENHOSA DO FANTASMA DE PEPPER

SUGESTÃO ATIVIDADE 03: Montagem do Fantasma de Pepper para mostrar Monga, a Mulher Macaco. Essa montagem será utilizada nos capítulos III e IV para desenvolver os subsunçores necessários à compreensão da Monga, de acordo com as leis da reflexão da luz, as regras de formação de imagens em espelhos planos e a relação entre resistência e resistividade.

Esta montagem mais engenhosa é a mesma do Fantasma de Pepper conhecido como Monga, a Mulher Macaco, comentada anteriormente. Para a realizarmos precisaremos de alguns materiais:

- Um pedaço de papelão (60 cm X 20 cm);
- Papel preto, equivalente a três folhas A4;
- Régua;
- Fita adesiva;
- Tesoura;
- Cola;
- Um pedaço de vidro (6 cm X 3,5 cm);
- Duas tampas de refrigerante;
- Um prego com espessura de 5 mm;
- Dois LEDs Brancos de 5 mm;
- Duas pilhas AA;
- Um pedaço de papel-alumínio;
- Fio elétrico - 30 centímetros;
- Um potenciômetro;
- Um transistor (não obrigatório);
- Uma foto de uma mulher;
- Uma foto de um macaco.

Realizando a montagem da nossa "Mini-Monga", passo a passo.

PARTE A:

- ✓ Cortar tiras de papelão, como na figura 21, com as seguintes medidas: uma tira de 12,5 cm X 12,5 cm; quatro tiras de 12,5 cm X 1 cm; uma tira de 12 cm X 12 cm; quatro tiras de 12 cm X 4,5 cm; uma tira de 8 cm X 8 cm; duas tiras de 8 cm X 4 cm; duas tiras de 7,8 cm X 4 cm.

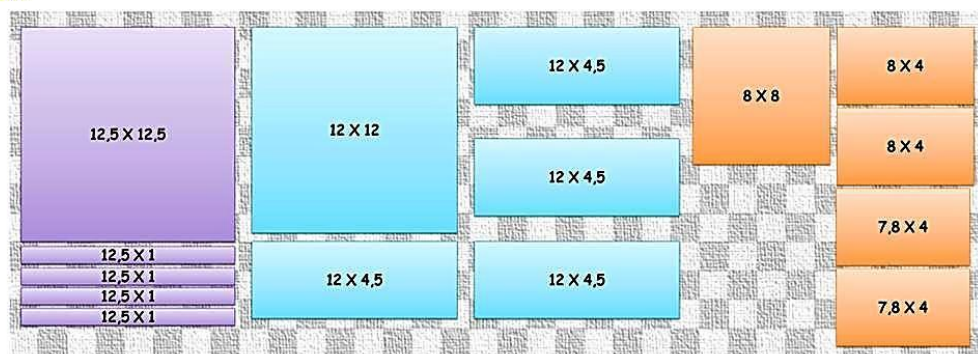


Figura 21: Tiras de papelão, cortadas nas suas respectivas medidas marcadas.

- ✓ Posicionar as tiras de 12,5 cm X 12,5 cm e 12,5 cm X 1 cm da forma mostrada abaixo na figura 22. Logo em seguida, fixar as tiras mais estreitas com fita adesiva, como mostrado na figura 23. Passar um pouco de cola na montagem da figura 23 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 24.

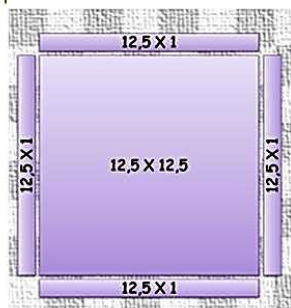


Figura 22: Posição das tiras de papelão.

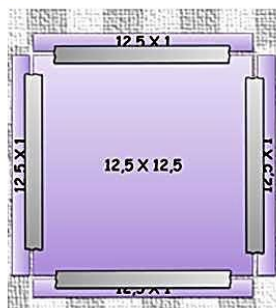


Figura 23: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

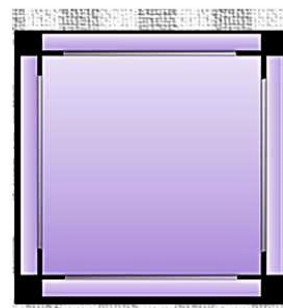


Figura 24: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais da montagem feita na figura 24, como indicado na figura 25. A fixação deve ser feita com fita adesiva para que as bordas fiquem firmes, como em uma tampa de caixa. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).



Figura 25: Vista de frente e de lado da tampa da caixa.

- ✓ Posicionar as tiras de 12 cm X 12 cm e 12 cm X 4,5 cm da seguinte forma, como indicado na figura 26. Logo em seguida, devemos fixá-las com fita adesiva, como indicado na figura 27. Passar um pouco de cola sobre a montagem da figura 26 e fixá-la sobre o papel preto, como indicado na figura 28.

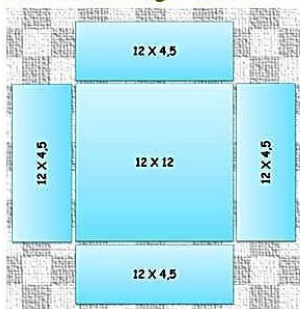


Figura 26: Posição das tiras de papelão.

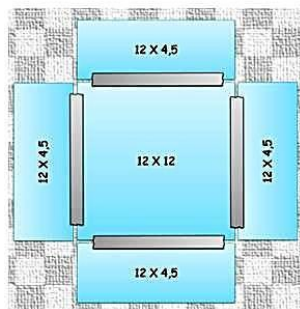


Figura 27: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

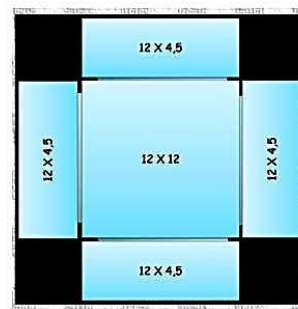


Figura 28: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva. Esta montagem deve ficar semelhante à figura 29. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).

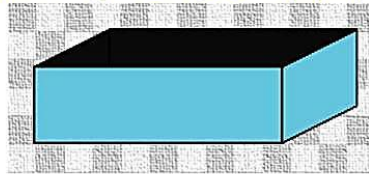


Figura 29: Vista de frente e de lado da caixa.

- ✓ Fazer um buraco com o prego nas duas tiras de 7,8 cm X 4 cm e em uma das tiras de 8 cm X 4 cm. Esses buracos devem estar na posição mostrada na figura 30, abaixo.

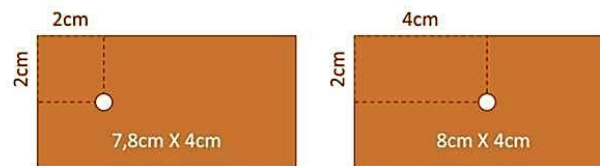


Figura 30: Furo nas tiras de papelão.

- ✓ Posicionar as tiras de 8 cm X 8 cm, 8 cm X 4 cm e 7,8 cm X 4 cm, como na figura 31. Logo em seguida, fixar as tiras com fita adesiva, como mostrado na figura 32 abaixo. Passar um pouco de cola na montagem da figura 32 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 33.

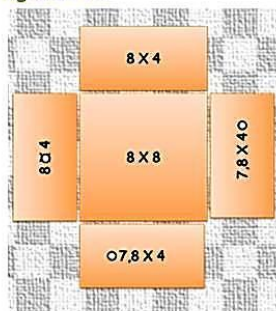


Figura 31: Posição das tiras de papelão.

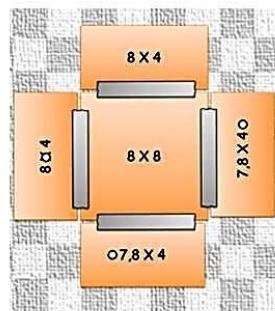


Figura 32: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

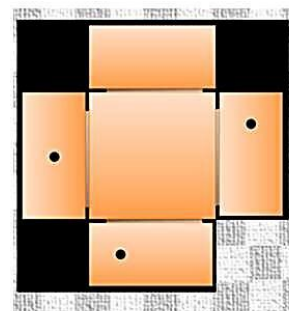


Figura 33: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva, como na figura 34. (OBS.: O papel preto deve ficar para fora).

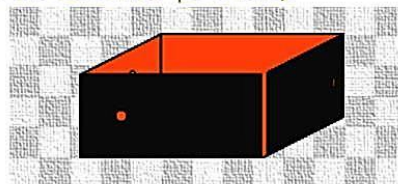


Figura 34: Vista de frente e de lado da caixa interna menor.

PARTE B:

- ✓ Conectar cada ponta dos LEDs em um fio condutor de 5 cm, como na figura 35. Conectar o fio negativo de um LED na extremidade do potenciômetro e o fio negativo do outro LED na outra extremidade do potenciômetro, como na figura 36.

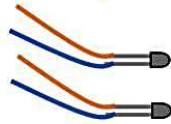


Figura 35: LEDs com fio condutor.



Figura 36: LEDs ligados ao potenciômetro.

- ✓ Unir os fios positivos de cada um dos LEDs às extremidades do transistor, como na figura 37.

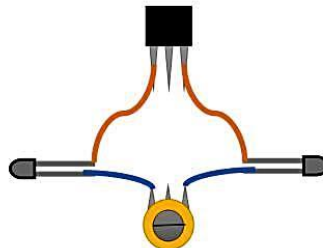


Figura 37: LEDs ligados ao potenciômetro e ao transistor.

- ✓ Conectar a parte central do transistor no fio positivo (vermelho) do suporte das pilhas AA, como na figura 38.

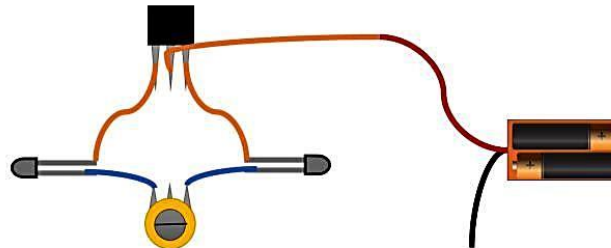


Figura 38: Montagem com potenciômetro e transistor, conectados à bateria.

- ✓ Conectar o fio negativo (preto) do suporte de pilhas na parte central do potenciômetro, como na figura 39. (OBS: ao se movimentar o pino do potenciômetro, verifique se os LEDs ligam. Caso eles não funcionem, refaça os passos descritos acima).

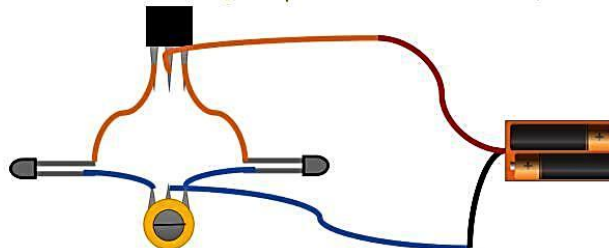


Figura 39: Montagem final do circuito.

PARTE C:

- ✓ Introduzir o circuito final da PARTE B dentro da caixa menor, mostrada na figura 39. Veja ao lado na figura 40 como fica essa nova montagem. Em seguida, posicionar nos buracos das laterais menores (as de 7,8 cm) os LEDs e o pino do potenciômetro no terceiro buraco (que fica na lateral com 8 cm).

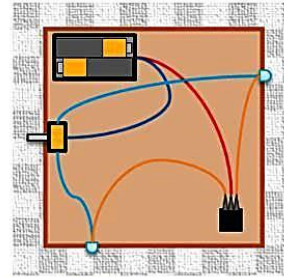


Figura 40: Circuito dentro da caixa menor.

- ✓ Passe um pouco de cola nas laterais sem os buracos com os LEDs e no fundo externo da caixa menor. Em seguida, fixe à dentro da caixa maior, como na figura 41.

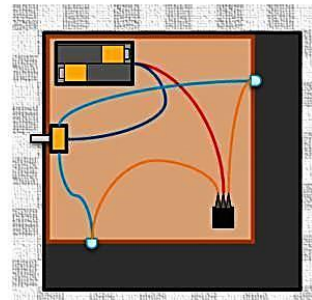


Figura 41: Caixa menor fixada dentro da caixa maior.

- ✓ Colocar a placa de vidro diagonalmente entre a abertura das laterais menores da caixa menor e a ponta mais próxima da caixa maior, como mostrado na figura 42. Faça com o prego um pequeno orifício na caixa maior, de frente para a placa de vidro.

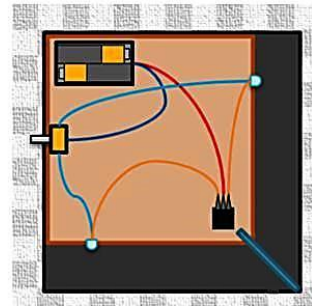


Figura 42: Montagem da figura 41, com uma placa de vidro na diagonal.

- ✓ Fazer um buraco com a tachinha no centro das tampas de refrigerante. Posicionar uma tampinha de refrigerante no final de cada corredor em L, em frente à placa de vidro, como mostrado na figura 43 abaixo. É importante comentar que as tampas são posicionadas simetricamente em relação à placa de vidro

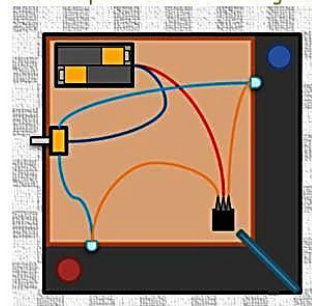


Figura 43: Montagem da figura 42, com duas tampas de refrigerante posicionadas simetricamente.

- ✓ Coloque entorno de uma das tampinhas a foto do macaco e na outra a foto da mulher. Em seguida, feche a caixa com a tampa. Em seguida, enquanto você gira pino do potenciômetro, procure enxergar através dos orifícios da caixa, as imagens das tampinhas de refrigerante. Abaixo, na figura 44, temos uma foto do aparato da Monga, a Mulher Macaco montado. (OBS.: As imagens das tampinhas de refrigerante fazem o papel de Monga, a Mulher Macaco).



Figura 44: Foto do aparato Monga, A mulher Macaco montado.

Para compreendermos bem o funcionamento do aparato, cuja construção passo a passo foi mostrada nas páginas anteriores, teremos nos capítulos III e IV um estudo aprofundado dos conceitos de Física necessários.

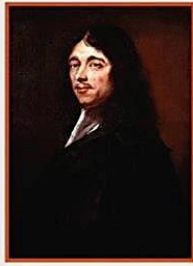
III

CAPÍTULO III: "A ÓPTICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica abaixo foi retirada e adaptada do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição - Páginas 520, 521, 522 e 523" em são dados os princípios e leis que explicam a reflexão da luz em espelhos planos, nas figuras 45, 46 e 47.

O advogado e matemático francês Pierre de Fermat nasceu em 1601. Ele trabalhou na University of Toulouse, antes de se mudar para Bordeaux, quando estava com vinte e poucos anos. Ele era fluente em latim, grego, italiano e espanhol, e bem reconhecido por seus versos escritos em diversas línguas. Em 1629, ele produziu um trabalho importante sobre as ideias acerca de máximos e mínimos, que acabou sendo útil para Newton, assim como para Leibniz, ao desenvolverem o cálculo independentemente. Em correspondência com Blaise Pascal, em 1654, Fermat ajudou a estabelecer os fundamentos da teoria das probabilidades.



Para os matemáticos, Fermat é mais lembrado por seu famoso "último teorema", um caso especial que estabelece

que a soma dos cubos de dois números inteiros não pode ser o cubo de outro número inteiro. Por mais de 300 anos, os matemáticos ficaram atormentados com uma nota de margem de página escrita em latim em um dos livros de Fermat, que pode ser traduzida como "Eu tenho uma prova verdadeiramente maravilhosa desta proposição, a qual esta margem é pequena demais para conter". Somente em 1994 o teorema foi provado (por Andrew Wiles, da Princeton University, EUA), usando métodos que não estavam disponíveis para Fermat, de modo que parece improvável que Fermat realmente tivesse uma prova dele. Isso não diminui o gênio que ele manifestou de outras maneiras.

Fermat tinha uma maneira única de descobrir a trajetória da luz. Ele estabeleceu que, entre todos os possíveis caminhos que a luz pode percorrer de um ponto a outro, ela percorrerá de fato aquele que requer o menor tempo. A reflexão e a refração, os principais assuntos do próximo capítulo, podem ser elegantemente compreendidas com este princípio.

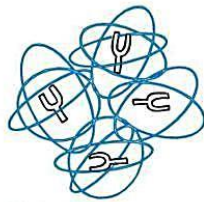


FIGURA 28.1
A luz interage com os átomos assim como o som interage com diapasões tipo forquilha.

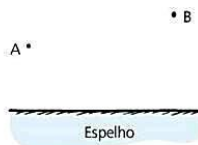


FIGURA 28.2

28.1 Reflexão

A maior parte das coisas que vemos ao nosso redor não emitem luz própria. Elas são visíveis porque reemitem a luz que incide em suas superfícies, vinda de uma fonte primária, como o Sol ou uma lâmpada, ou de uma fonte secundária, tal como o céu iluminado. Quando a luz incide na superfície de um material, ou ela é reemitida sem que ocorra alteração na sua frequência, ou é absorvida por ele e o aquece.¹ Dizemos que a luz é *refletida* quando ela retorna ao meio de onde veio – o processo é chamado de **reflexão**.

Quando esta página é iluminada com a luz solar ou de um lampião, os elétrons dos átomos do papel e da tinta passam a oscilar mais energeticamente em resposta às oscilações dos campos elétricos da luz incidente. Os elétrons energizados, então, reemitem a luz que torna possível enxergar a página. Quando a página é iluminada com luz branca, o papel aparece como branco, o que mostra que os elétrons reemitem todas as frequências visíveis. Ocorre muito pouca absorção. Com a tinta, a história é diferente. Exceto por um pouco de reflexão, ela absorve todas as frequências visíveis e, portanto, aparece como preta.

O princípio do mínimo tempo²

A ideia de que a luz segue o caminho mais rápido ao ir de um ponto a outro, como mencionado anteriormente, foi formulada por Pierre Fermat. Essa ideia agora é conhecida como **princípio de Fermat do mínimo tempo**.

Podemos compreender a reflexão empregando o princípio de Fermat do mínimo tempo. Considere a seguinte situação: na Figura 28.2, vemos dois pontos, A e B, com um espelho comum abaixo deles. Como podemos ir de A até B o mais rápido possível, isto é, no mínimo tempo? A resposta é muito simples – indo em

¹ Outro destino para a luz incidente, menos comum, é absorção seguida de reemissão numa frequência mais baixa – o que se chama de fluorescência (Capítulo 30).

² Este material e o de muitos exemplos do princípio de mínimo tempo foram adaptados da obra de R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, Cap. 26 (Reading, MA: Addison-Wesley, 1963).

Figura^{xviii} 45: Página 520 do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição".

linha reta de A até B! Mas se acrescentarmos a condição de que a luz deve incidir sobre o espelho ao ir de A até B no mínimo tempo, a resposta não é tão fácil assim. Seria necessário ir tão rápido quanto possível de A até o espelho, e daí para B, como mostrado pelas linhas sólidas na Figura 28.3. Isto resulta num caminho curto até o espelho, mas em um caminho muito comprido do espelho até B. Se, em vez disso, considerarmos um ponto sobre o espelho um pouco mais para a direita do anterior, aumentaremos ligeiramente a primeira distância, mas diminuiremos consideravelmente a segunda, de modo que o comprimento do caminho total mostrado pelas linhas tracejadas é menor – e, portanto, o tempo de propagação também. Como podemos encontrar o ponto exato de incidência sobre o espelho para o qual o tempo total é o mais curto possível? Podemos encontrá-lo empregando um truque geométrico muito interessante.

Marcamos um ponto artificial, B' , no outro lado do espelho, a uma distância abaixo do mesmo igual à distância do ponto B até o espelho (Figura 28.4). A distância mais curta entre A e este ponto artificial B' é muito simples de determinar: trata-se de uma linha reta. Agora esta linha reta intercepta o espelho no ponto C, o ponto preciso de reflexão para se ter o caminho mais curto e, daí, o caminho de mínimo tempo para transmissão luminosa de A para B. Um exame cuidadoso mostrará que a distância entre C e B é igual à distância entre C e B' . Vemos que o caminho de A até B' , passando por C, é igual ao comprimento do caminho que vai de A até B “ricochetando” em C.

Uma inspeção adicional das Figuras 28.4 e 28.5 e um pouco de raciocínio geométrico mostrará que o ângulo da luz incidente de A para C é igual ao ângulo de reflexão de C para B.

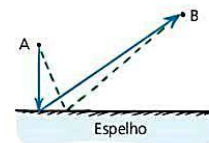


FIGURA 28.3

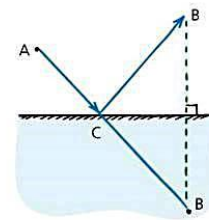


FIGURA 28.4

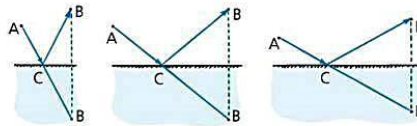


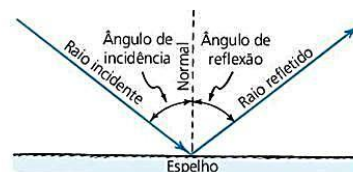
FIGURA 28.5

28.2 Lei da reflexão

Como mostrou Fermat, o ângulo de incidência da luz será igual ao ângulo de reflexão da luz. Esta é a **lei da reflexão**, que vale para todos os valores de ângulo (Figura 28.5):

O ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão.

A lei da reflexão é ilustrada na Figura 28.6, com setas que representam os raios de luz. Em vez de medir os ângulos dos raios incidentes e refletidos da superfície refletora, é costume medi-los em relação a uma linha perpendicular ao plano da superfície refletora. Essa linha imaginária é chamada de *normal*. O raio incidente, a normal e o raio refletido pertencem todos ao mesmo plano. Esse tipo de reflexão em uma superfície lisa é chamado de reflexão *especular*. Os espelhos produzem excelentes reflexões especulares.




O revestimento branco de telhados refletem de volta cerca de 85% da luz incidente, o que, em dias quentes de verão, reduz em muito os custos com ar-condicionado e as emissões de carbono. Em dias frios de inverno, quando o calor é desejável, todavia, isso não é uma boa ideia. Mas para regiões de verões quentes e invernos amenos, pinte seu telhado de branco! (Como mencionado no Capítulo 27, também existem para isso tintas marrons resfriantes que ajudam refletindo luz infravermelha.)



SCREENCAST: Reflection

FIGURA 28.6
A lei da reflexão.

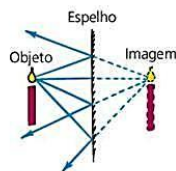
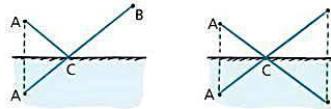
Figura 46: Página 521 do livro “FÍSICA CONCEITUAL – 12ª Edição”.

PAUSA PARA TESTE

Os pontos artificiais B', marcados nas figuras 28.4 e 28.5, mostram como a luz encontra o ponto C na reflexão que a leva de A até B. Por meio de uma construção similar, mostre que a luz originada em B e refletida para A também é refletida no mesmo ponto C.

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Marque um ponto artificial A' abaixo do espelho, a uma distância deste que é igual à distância que o ponto A guarda do espelho; então trace uma linha reta de B até A' para encontrar C, como mostrado na parte esquerda da figura. Ambas as construções foram superpostas, no lado direito da figura, o que mostra que C é um ponto comum a ambas. Vemos que a luz seguirá o mesmo caminho que seguiria se fosse no sentido oposto. Sempre que você enxergar os olhos de outra pessoa no espelho, pode estar certo de que ela também estará enxergando os seus.

**FIGURA 28.7**

Uma imagem virtual é formada atrás do espelho, localizada numa posição para a qual convergem os prolongamentos dos raios refletidos (as linhas tracejadas).

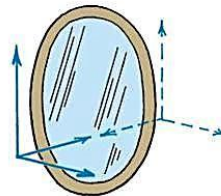
FIGURA 28.8

A imagem de Marjorie se encontra atrás do espelho, a uma distância igual à distância entre ela própria e o espelho. Observe que ela e a sua imagem apresentam a mesma cor para as roupas – uma evidência de que a luz não tem sua frequência alterada ao ser refletida. Curiosamente, seu eixo de orientação esquerda-direita não é invertido, assim como o eixo vertical, orientado de baixo para cima. O eixo que está invertido, como mostrado na figura da direita, é o eixo horizontal que vai da parte frontal de Marjorie para a parte posterior a ela. É por isso que a face de sua mão esquerda está de frente para a face da mão direita da imagem.

Espelhos planos

Suponha que a chama de uma vela esteja localizada à frente de um espelho plano. Os raios de luz são emitidos da chama, em todas as possíveis direções. Na Figura 28.7, são mostrados apenas quatro de um número infinito de raios que saem de um número infinito de pontos da chama. Esses raios divergem a partir da chama da vela e incidem no espelho, onde são refletidos em ângulos iguais aos seus ângulos de incidência. Os raios, então, divergem a partir do espelho e parecem emanar de um ponto particular situado atrás do espelho (onde se interceptam as linhas tracejadas). Um observador enxerga a imagem da chama como estando neste ponto. Mas os raios de luz não provêm realmente deste ponto, razão pela qual a imagem é denominada uma *imagem virtual*. A imagem está atrás do espelho e tão distante dele quanto o objeto está do espelho, sendo que a imagem e o objeto têm o mesmo tamanho. Quando você se olha no espelho, por exemplo, o tamanho de sua imagem é o mesmo que teria seu irmão gêmeo se ele estivesse localizado atrás do espelho, a uma distância do mesmo igual àquela que você próprio guarda do espelho, na frente dele – desde que a superfície do espelho seja plana (chamamos de *espelho plano* um desse tipo).

Quando o espelho é curvo, os tamanhos e as distâncias do objeto e da imagem até ele não são mais iguais. Não abordaremos os espelhos curvos neste livro, exceto para dizer que a lei da reflexão continua sendo válida neste caso também. Um espelho curvo comporta-se como se fosse formado por uma sucessão de espelhos pla-



nos, cada um deles com uma orientação ligeiramente diferente. Em cada ponto, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Figura 28.9). Observe que num espelho curvo, diferentemente do que ocorre em um plano, as normais (mostradas pelas linhas pretas tracejadas do lado esquerdo do espelho) em diferentes pontos da superfície não são paralelas entre si.



VIDEO: Image Formation in a Mirror

Figura 47: Página 522 e parte da página 523 do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição".

FORMAÇÃO DE IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Nessa atividade serão mostradas a formação e localização de imagens em um espelho plano. Essa atividade será essencial para desenvolver os subsunções necessários à compreensão da ATIVIDADE 03 e da montagem da Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 48:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Dois objetos iguais (mesmo tamanho e características, por exemplo, duas pilhas), que sejam maiores que o espelho plano utilizado;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado.

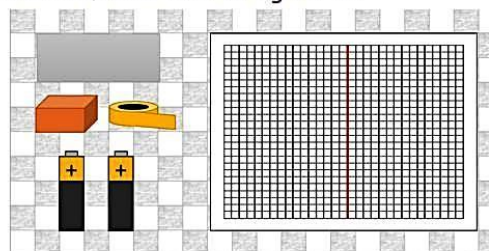


Figura 48: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 49 abaixo.

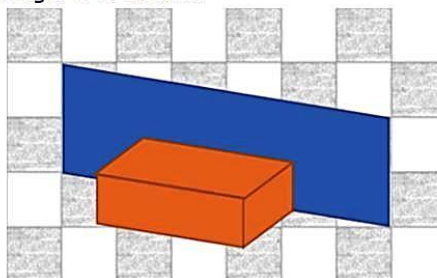


Figura 49: Espelho fixado no paralelepípedo.

- ✓ Posicionar o espelho no meio da folha de papel quadriculado (sobre a linha vermelha), como na figura 50 abaixo. Posicionar um objeto na frente do espelho, como mostrado na figura 51.

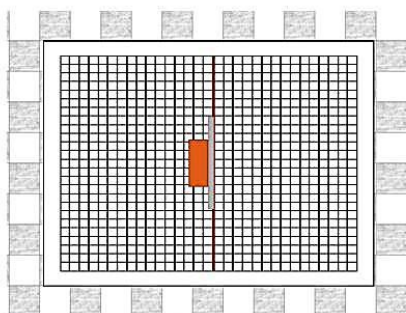


Figura 50: Primeira parte da montagem a ser realizada.

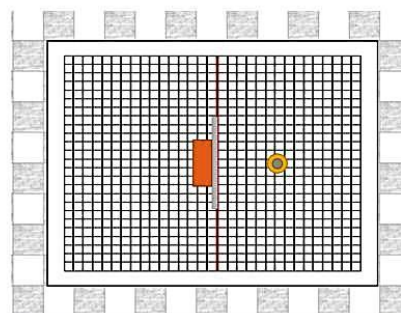


Figura 51: Segunda parte da montagem a ser realizada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: O que podemos observar refletido no espelho?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Quais as semelhanças entre o objeto colocado na frente do espelho e sua imagem refletida? É apenas na aparência? Em qual outro fator podemos dizer que ambos são semelhantes?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Qual a distância entre o objeto e o espelho? E qual é a distância entre a imagem do objeto e o espelho? (Você pode utilizar o papel quadriculado para facilitar a contagem).

Distância do objeto: _____ Distância da imagem: _____

- ✓ Agora, coloque atrás do espelho um segundo objeto, à mesma distância que você registrou entre a imagem do primeiro objeto e o espelho, como mostrado na figura 52.

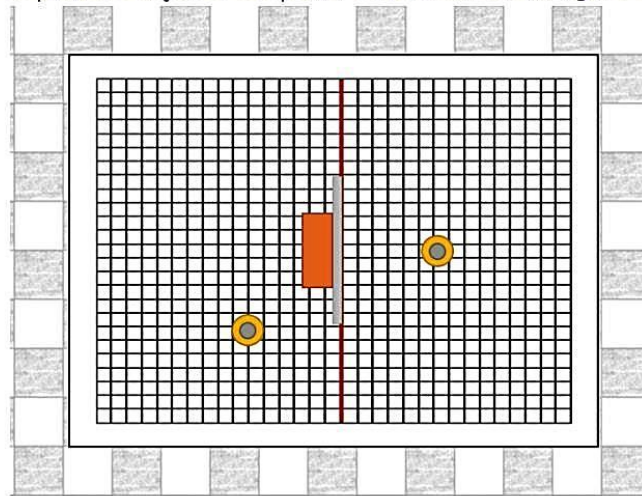


Figura 52: Segundo objeto posicionado atrás do espelho.

- ✓ É perceptível que os objetos utilizados são mais altos que o espelho que estamos utilizando. Agora, observe novamente, por de trás do primeiro objeto, a imagem deste refletida no espelho.
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: O que podemos perceber através dessa observação?
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Será que podemos criar uma ilusão de óptica através desta montagem?
- ✓ Agora, posicione novamente o objeto atrás do espelho de forma que ele esteja alinhado com o primeiro objeto na frente do espelho.
- ✓ Observar a imagem refletida do primeiro objeto e comente o que podemos observar.
- ❖ QUESTIONAMENTO 06: A partir das observações feitas anteriormente, que conclusões podemos tirar a respeito de formação de imagens em espelhos planos?

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Formação de imagens com dois espelhos planos para se entender a importância dos ângulos de posicionamento dos espelhos, em relação ao observador. Essa atividade será fundamental também para desenvolver subsunções necessários para entender a ATIVIDADE 03 e a Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 53:

- Dois espelhos planos com as mesmas proporções;
- Um objeto qualquer;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha com a impressão de um transferidor.

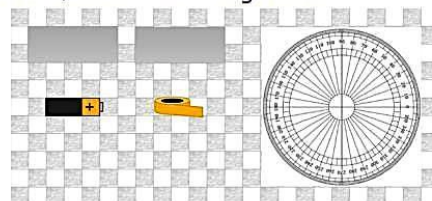


Figura 53: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 02.

MONTAGENS:

- ✓ Primeiramente, coloque as partes reflexivas dos espelhos frente a frente e os deixe alinhados.
- ✓ Com a fita adesiva, prenda os espelhos um no outro em apenas uma das laterais, como na figura 54 abaixo. O objetivo é permitir que estes espelhos, ao tentarem se separar, criem diversos ângulos possíveis entre eles.

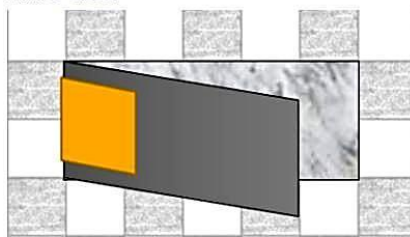


Figura 54: Espelhos juntos pela fita adesiva.

- ✓ Apoiar estes espelhos sobre a folha com o transferidor impresso. Mantenha a lateral com fita adesiva no centro do transferidor, como mostrado na figura 55 abaixo. Agora, coloque um objeto entre esses espelhos, de acordo com a figura 56.

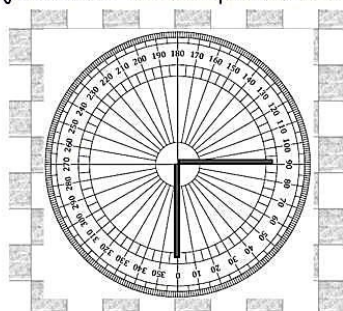


Figura 55: Espelhos juntos por fita adesiva, sobre o transferidor impresso.

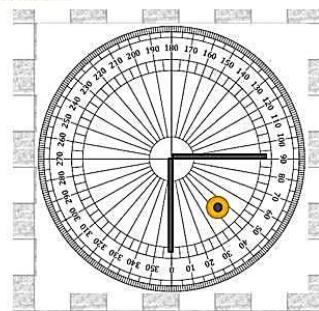


Figura 56: Objeto colocado entre os espelhos.

- ❖ QUESTIONAMENTO 06: Se temos um espelho, quantos reflexos podem ser observados? Agora, antes de olhar nos dois espelhos, quantos reflexos você espera ver neles?
- ✓ Mantendo os espelhos e o objeto na posição inicial, agora observe os dois espelhos e descreva o que consegue ver.
- ❖ QUESTIONAMENTO 07: Quantos reflexos nos espelhos você conseguiu ver? O que acontece se você aumentar a abertura entre os espelhos? O número de reflexos aumentou ou diminuiu? O que acontece se você mudar a sua posição em que você está observando os reflexos nos espelhos?
- ✓ Para conseguirmos prever quantos reflexos teremos para cada abertura, utilizaremos as seguintes montagens, mostradas na figura 57.

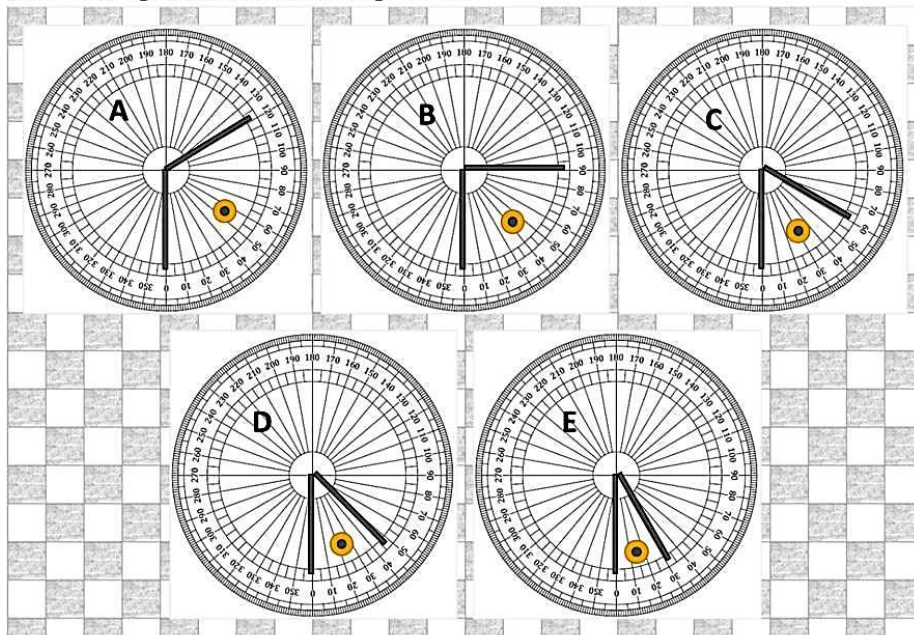


Figura 57: Posições propostas para os espelhos.

- ✓ Agora, com as suas observações preencha a tabela da figura 58.

Montagem	Ângulo	Nº de Objetos	Nº de Imagens
A			
B			
C			
D			
E			

Figura 58: Tabela para a anotação de dados.

- ❖ QUESTIONAMENTO 08: Quais deduções conseguiram tirar desses dados? Existe alguma relação matemática entre esses valores?

SUGESTÃO ATIVIDADE 03: Arranjos com dois objetos e um espelho inclinado para mostrar como é formada a imagem no espetáculo de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Três objetos iguais (mesmo tamanho e características);
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e uma linha vermelha traçada na diagonal, de uma ponta a outra.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 59 abaixo.

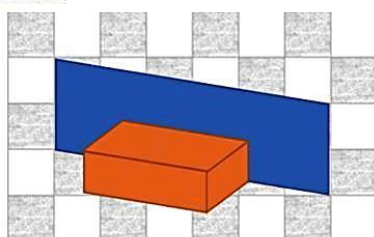


Figura 59: Espelho fixado no paralelepípedo.

- ✓ Realizar cada uma das montagens sobre a folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e responder os questionamentos a seguir. Na figura 60 abaixo temos 4 montagens (da esquerda para direita): na montagem A temos as três pilhas; na montagem B temos duas pilhas em frente ao espelho; nas montagens C e D temos duas pilhas, uma na frente do espelho e outra atrás.

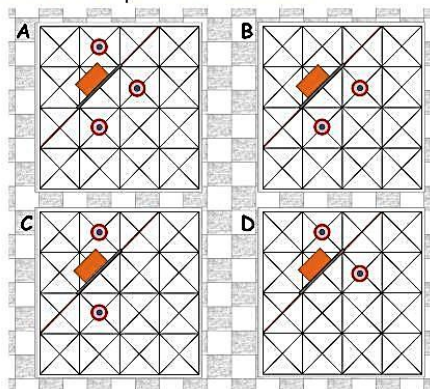


Figura 60: Uma montagem com o espelho e as três pilhas, e três montagens com um espelho e duas pilhas.

- ❖ QUESTIONAMENTO 09: Ao realizar a montagem A e observar os reflexos formados no espelho, o que é possível constatar?
- ❖ QUESTIONAMENTO 10: Agora remova a pilha 1 como na montagem B, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 11: Agora remova a pilha 2 como na montagem C, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 12: Agora remova a pilha 3 como na montagem D, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 13: Porque na montagem B não estranhamos a falta de um reflexo como na montagem C?
- ❖ QUESTIONAMENTO 14: Será que podemos tirar proveito de alguma dessas montagens para explicar o espetáculo Monga, a Mulher Macaco? Qual dessas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 15: Apenas espelhos podem nos propiciar reflexos? Poderíamos realizar esses mesmos experimentos com outra coisa que não seja um espelho?

IV

CÁPÍTULO IV: "A ELETRODINÂMICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica a seguir foi baseada no livro "FÍSICA CONCEITUAL - 11ª Edição - Capítulos 22 e 23 - Eletrostática^{xi} e Corrente Elétrica^{xii}" e no livro "Physics Fundamentals - 5th Edition^{xiii}".

CARGA ELÉTRICA

As partículas fundamentais que constituem a matéria comum são o elétron, o próton e o nêutron. Uma das características mais importantes das partículas fundamentais é a sua carga elétrica, sendo que sem ela é impossível estudar qualquer tipo de fenômeno elétrico. Denominamos de "negativa" a carga do elétron, de "positiva" a carga do próton e de "neutra" a carga do nêutron (partícula sem carga elétrica).

As cargas do elétron e do próton são equivalentes, tendo valores unitários e indivisíveis. Quando temos mais de uma carga é possível observar certos fenômenos de interação. Na figura 61 ao lado temos três momentos distintos: no primeiro verificamos um movimento de repulsão entre cargas positivas; no segundo verificamos um movimento de repulsão entre cargas negativas; e no terceiro verificamos um movimento de atração entre uma carga positiva e uma carga negativa. Portanto, podemos concluir que existe a seguinte propriedade básica: cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.

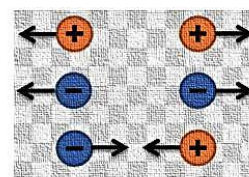


Figura 61: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.

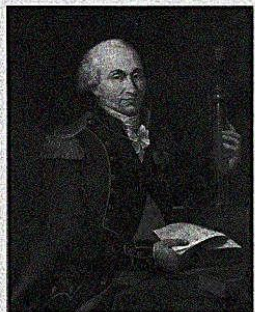
LEI DE COULOMB E FORÇA ELÉTRICA

A interação de atração e repulsão observada entre as cargas elétricas pode ser denominada de "força elétrica", cuja expressão matemática está mostrada na figura 62. Na figura 63 encontra-se uma breve biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

$$F = K \cdot \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

Figura 62: Relação matemática da Lei de Coulomb.

CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB



Nasceu em 14/06/1736 (Angoulême, França) e faleceu em 23/08/1806 (Paris, França)

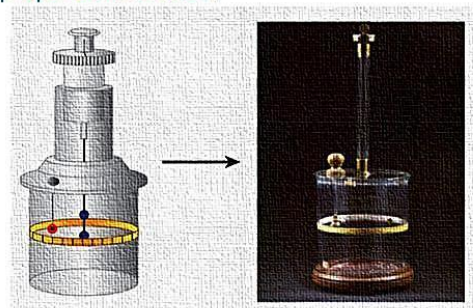
Físico francês mais conhecido por ter formulado a lei de Coulomb, afirmando que a força entre duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Essa força de interação tem um papel importante nas ligações atômicas. Coulomb passou nove anos nas Índias Ocidentais como engenheiro militar e retornou a França com problemas de saúde. Após a eclosão da Revolução Francesa, ele se retirou para uma pequena propriedade em Blois e dedicou-se à pesquisa científica. Em 1802 ele foi nomeado inspetor de instrução pública. Coulomb desenvolveu sua lei como uma consequência de suas tentativas de investigar a lei das repulsões elétricas, como afirmava o inglês Joseph Priestley, Inglaterra.

Para esse fim, inventou aparelhos sensíveis para medir as forças elétricas envolvidas nas investigações de Priestley e publicou suas descobertas entre 1785-89. Também estabeleceu a lei do inverso do quadrado de atração e repulsão entre polos magnéticos diferentes e semelhantes, que se tornou a base para a teoria matemática das forças magnéticas desenvolvidas por Siméon-Denis Poisson. Ele também fez pesquisas sobre o atrito em máquinas, moinhos de vento e a elasticidade das fibras de metal e seda. O Coulomb, uma unidade de carga elétrica foi, nomeado em sua homenagem.

Figura^{xvii} 63: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

A lei que determina as características da força elétrica entre cargas em repouso foi obtida no século XVIII por Charles Coulomb, através de uma balança de torção, mostrada na figura 64. No experimento feito com essa balança surgem dois torques: o primeiro torque é devido à força elétrica entre duas cargas em repouso; o segundo torque, que se opõe ao primeiro, é devido ao fio ligado à barra da balança de torção. Quando esses dois torques atingem o mesmo valor, a barra da balança de torção para de girar, entrando em equilíbrio. Igualando-se os valores dos torques na

situação de equilíbrio, é possível obter uma expressão para a constante de proporcionalidade K.



Figura^{xxiii} 64: À esquerda uma ilustração da balança de torção e à direita uma foto de uma balança de torção.

CAMPO ELÉTRICO

Quando um corpo está carregado eletricamente, na região do espaço entorno dele atua uma força elétrica F que pode ser atrativa ou repulsiva. Se uma carga de prova q se aproximar da região em que se encontra esse corpo, ela sofrerá a ação da força F . Denomina-se campo elétrico a grandeza física calculada através da equação apresentada na figura 65, ao lado.

$$E = \frac{F}{q}$$

Figura 65: Equação do campo elétrico.

Para se visualizar a ação do campo elétrico em uma região do espaço entorno de um corpo carregado eletricamente, utilizam-se "linhas de força", que foram introduzidas por Michael Faraday, na primeira metade do século XIX. Na figura 66 são mostradas as linhas de força de cargas pontuais, positiva e negativa. Leia a breve biografia deste físico experimental inglês na figura 67.

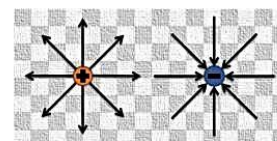


Figura 66: Linhas de força de cargas pontuais.

MICHAEL FARADAY	
	Nasceu em 22/09/1791 (Surrey, Inglaterra) e faleceu em 25/08/1867 (Surrey, Inglaterra). Físico-químico inglês cujas muitas experiências contribuíram enormemente para a compreensão do eletromagnetismo. Faraday, que se tornou um dos maiores cientistas do século XIX, começou sua carreira como químico. Ele escreveu um manual de química prática, que revela seu grande domínio dos aspectos técnicos de sua "arte", descobriu uma série de novos compostos orgânicos, entre eles o benzeno, e foi o primeiro a liquefazer um gás "permanentemente" (isto é, um que acreditava-se ser incapaz de liquefação). Suas principais contribuições, no entanto, foram no campo da eletricidade e do magnetismo. Ele foi: o primeiro a produzir uma corrente elétrica a partir de um campo magnético; inventou o primeiro motor e dínamo elétrico; encontrou uma relação entre a eletricidade e as ligações químicas; descobriu e identificou os efeitos do magnetismo na luz; e descobriu o diamagnetismo, comportamento peculiar de certas substâncias em campos magnéticos fortes. Ele forneceu a base experimental e boa parte da base teórica sobre a qual James Clerk Maxwell ergueu a teoria clássica dos campos eletromagnéticos.

Figura^{xxiv} 67: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Michael Faraday.

Pode-se verificar pela figura 61, que, no caso da carga pontual positiva, as linhas de força radiais apontam em um sentido para fora da carga; enquanto que no caso da carga pontual negativa, as linhas de força radiais apontam em um sentido voltado para a carga. Através das linhas de força relacionadas a um corpo carregado eletricamente, podem-se obter as características do campo elétrico gerado por este corpo, que são descritas a seguir. Primeira característica: o campo elétrico em um determinado ponto P é dado por um vetor tangente à linha de força que passa por este ponto P, como indicado na figura 68 (VETOR CAMPO ELETRICO DE UMA CARGA PONTUAL NO PONTO P). Segunda característica: na região em que as linhas de força radiais estão mais próximas entre si, o campo elétrico é mais intenso; enquanto que na região em que as linhas de campo radiais estão mais afastadas entre si, o campo elétrico é menos intenso, figura 69.

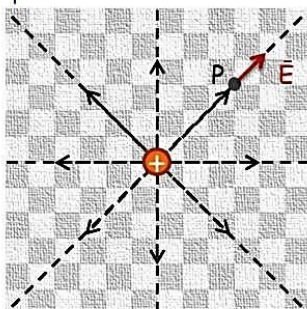


Figura 68: Campo elétrico tangente à linha de força

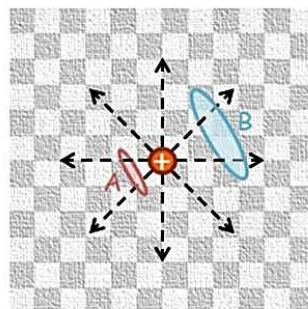


Figura 69: Na região A o campo elétrico é mais intenso que na região B, devido à proximidade das linhas de força

VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA & ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

É chamada de "energia potencial elétrica" a energia devida à localização de uma partícula carregada. Ao se alterar a posição desta partícula, será realizado sobre ela um trabalho w , deste modo, a partícula acumulará uma energia potencial elétrica. Na figura 70 ao lado, a partícula com carga positiva está em uma posição inicial muito distante da placa carregada negativamente. A partícula será atraída para uma posição final bem próxima da placa. Para que ocorra essa mudança de posição da partícula, a força elétrica (relacionada com o campo elétrico da placa) realiza um trabalho sobre a partícula. Esse trabalho é transformado em energia potencial elétrica da partícula.

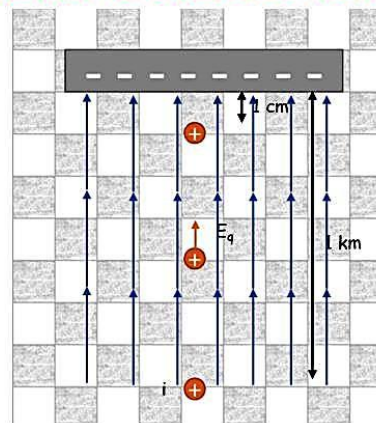


Figura 70; Partícula positiva sendo atraída pela placa carregada negativamente.

POTENCIAL ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP, TENSÃO OU VOLTAGEM)

O conceito de energia potencial elétrica por unidade de carga é conhecido como potencial elétrico. É possível expressar uma relação matemática, mostrada na figura 71, entre a energia potencial elétrica e o potencial elétrico. A unidade mais comum para o potencial elétrico é o volt (V), sendo que 1 V é igual a 1 joule (J) de energia por 1 Coulomb (C) de carga. Pela equação da figura 71 pode-se concluir que: se a energia potencial elétrica for multiplicada por uma determinada constante K e, ao mesmo tempo, a carga for multiplicada pela mesma constante, o valor do potencial elétrico permanecerá constante.

$$\text{Potencial Elétrico (V)} = \frac{\text{Energia Potencial Elétrica (J)}}{\text{Carga (C)}}$$

Figura 71: Relação matemática entre potencial elétrico, energia potencial elétrica e carga.

FLUXO DE CARGA E CORRENTE ELÉTRICA

Considere que os elétrons livres de condução em um tubo cilíndrico de material condutor como, por exemplo, o cobre, estejam se movimentando aleatoriamente, como indicado na figura 72. Nesse caso, o fluxo resultante de cargas através da seção reta do tubo é nulo.

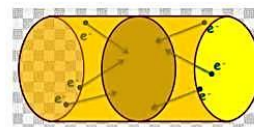


Figura 72: Elétrons livres em movimento aleatório dentro de um fio condutor

Agora, ligue o tubo cilíndrico de cobre a uma bateria, como indicado na figura XX. Quando a bateria está ligada, uma diferença de potencial V se estabelece entre as extremidades do tubo. Desse modo, um campo elétrico E atuará sobre os elétrons de condução do cobre atraindo-os em direção ao polo positivo da bateria, o que dá origem a um fluxo resultante de elétrons, da esquerda para a direita. Esse fluxo resultante é definido como uma corrente elétrica. O sentido convencional da corrente elétrica i está indicado na figura XXI. Pode-se observar que o sentido convencional da corrente elétrica i é contrário ao do sentido que a corrente de elétrons possui. Isso ocorre porque existe a seguinte convenção internacional: o sentido convencional da corrente elétrica i é dado pelo sentido do movimento de portadores de carga positiva. Se os portadores de carga no tubo cilíndrico fossem positivos, eles seriam atraídos pelo polo negativo da bateria e, portanto, se movimentariam num sentido contrário ao dos elétrons de condução.

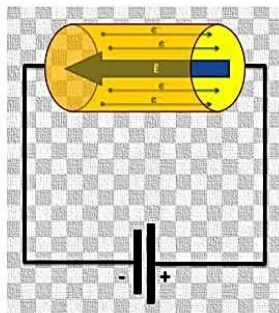


Figura 73: Movimento ordenado das partículas negativas dentro do condutor, devido ao campo que surge da diferença de potencial.

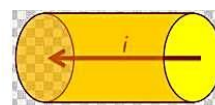


Figura 74: Sentido convencional da corrente.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA: DEFINIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA E RESISTIVIDADE

Para a produção de uma corrente elétrica é necessário o uso de uma bateria ou um gerador. A quantidade de corrente depende não apenas da tensão, mas também da resistência elétrica que o condutor oferece ao fluxo de cargas. Na figura 75 ao lado, temos a relação matemática que define a resistência R . Nessa relação, V é a tensão e i é a corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω), em homenagem ao físico Ohm. Na figura tal encontra-se uma breve biografia desse cientista. É importante salientar que a resistência elétrica é uma propriedade do **objeto** através do qual passa a corrente. Existe outra propriedade importante que é característica do **material**, que é a resistividade ρ . A resistividade de um material é definida pela expressão matemática da figura 76. Nessa relação matemática, E é o campo elétrico e J é a densidade de corrente elétrica, isto é, corrente por unidade de área, como demonstrado na figura 77.

$$R = \frac{V}{i}$$

Figura 75: Relação matemática que define a resistência R

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Figura 76: Relação matemática que define a resistividade de um material.

$$J = \frac{i}{A}$$

Figura 77: Relação matemática que define a densidade de corrente elétrica.

GEORGE SIMON OHM		
	Nasceu em 16/03/1789 (Erlangen, Alemanha) e faleceu em 06/07/1854 (Munich, Alemanha)	Embora seu trabalho tenha influenciado bastante a teoria e as aplicações da eletricidade atual, foi tão friamente recebido que Ohm renunciou o cargo em Colônia. Ele aceitou um cargo na Escola Politécnica de Nurnberg em 1833. Finalmente, seu trabalho começou a ser reconhecido: em 1841, recebeu uma Medalha Copley da Royal Society de Londres e tornou-se membro estrangeiro um ano depois. O ohm, a unidade física que mede a resistência elétrica, também recebeu o nome dele.
	Físico alemão que descobriu a lei, nomeada em sua homenagem, que afirma que: o fluxo de corrente através de um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial (tensão) e inversamente proporcional à resistência. Ohm tornou-se professor de matemática do Colégio dos Jesuítas de Colônia em 1817. O aspecto mais importante da lei de Ohm está resumido em seu panfleto "Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet" (1827: o circuito galvânico investigado matematicamente).	

Figura^{xxv} 78: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Georg Simon Ohm.

A unidade de resistividade é $\Omega.m$. Pode-se mostrar, matematicamente, que entre a resistência R de um objeto e a resistividade ρ do material existe a seguinte relação dada pela figura 79.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Figura 79: Relação matemática entre a resistência R de um objeto e as propriedades desse objeto (resistividade ρ , comprimento L e área de seção reta A).

Na ATIVIDADE 01 será feita uma demonstração experimental da validade dessa relação.

Um famoso caso em que a resistividade de um material foi negligenciada tornou-se um dos maiores acidentes aéreos da História. O acidente em questão foi a explosão da maior aeronave já construída pelo homem, o dirigível alemão Hindenburg. Segundo o laudo de peritos da época, os fatores que ocasionaram a explosão foram: uma das células de hidrogênio do dirigível estar danificada e o uso de uma pintura no tecido exterior do zeppelin com alta resistividade elétrica. A alta resistividade elétrica da pintura fez com que o tecido do zeppelin mantivesse o mesmo potencial elétrico da atmosfera numa altitude de 43 m. Quando o zeppelin, através de cordas molhadas pela chuva (que se tornaram um bom condutor de eletricidade), foi preso ao solo, devido à grande diferença de potencial entre o tecido do dirigível e as cordas (que ficaram com o mesmo potencial do solo), houve a descarga de cargas acumuladas na estrutura do dirigível, o que resultou em uma pequena faísca. Como o hidrogênio é muito inflamável, essa faísca causou uma pequena explosão que se alastrou para o resto da aeronave. Esse acidente repercutiu em todo o mundo, virando manchete em todos os grandes jornais da época. Abaixo, na figura 80, temos o título da notícia publicada pelo renomado jornal The New York Times.



Figura^{xxvi} 80: Notícia do "The New York Times" referente a um dos maiores acidentes aéreo da história.

CIRCUITO SIMPLES COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Montagem de um circuito simples com resistência variável, para desenvolver os subsunçores relacionados com os conceitos de corrente, tensão ou voltagem, resistência e resistividade.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 80:

- Um pedaço de papelão (30 cm X 6 cm);
- Dois LEDs; duas pilhas AA;
- Um suporte para pilhas AA;
- Aproximadamente 50 cm de fio condutor;
- Fita adesiva;
- Dois cotonetes;
- Tinta esmalte incolor (60 ml);
- Grafite em pó (25gr).
- Uma tampa de refrigerante.



Figura 81: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Utilizando a fita adesiva, faça duas trincheiras no pedaço de papelão: uma com aproximadamente 1 cm de espessura e a outra com a menor espessura possível, como mostrado na figura 81.



Figura 82: Fita adesiva colada no papelão, formando uma trincheira mais larga e outra mais fina.

- ✓ Misture em um recipiente a tinta esmalte incolor e o pó de grafite. Ao fazer isso você conseguirá uma tinta de carbono, também conhecida como tinta condutiva. Colocar na tampa de refrigerante uma colherada dessa tinta.
- ✓ Com essa tinta condutiva e o cotonete, pinte as trincheiras que você criou com a fita adesiva, como na figura 82, e deixe secar (aproximadamente 10 minutos).



Figura 83: Pintura realizada sobre o papelão e a fita adesiva.

- ✓ Após a tinta secar, remova a fita adesiva com cuidado e ficará com algo semelhante à figura 83.



Figura 84: Papelão após a retirada da fita adesiva.

- ✓ Agora, coloque as pilhas no suporte. Pegue aproximadamente 20 cm de fio, prendendo uma parte do fio na saída positiva do suporte para pilhas. A outra parte do fio condutor deve ser presa em um LED (como o LED é um componente polarizado, respeite qual das pontas do fio e do LED você vai juntar) como mostrado na figura 84.

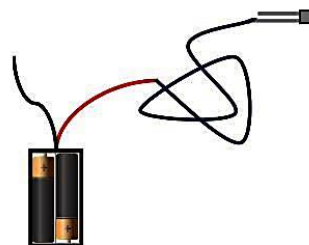


Figura 85: Montagem com o suporte para pilhas, o fio condutor e o LED.

- ✓ Tendo essas partes montadas, siga as montagens da figura 85 a seguir, preencha a tabela da figura 86 com o que é pedido e responda os questionamentos propostos. Observação: o fio vermelho com seta representa o fio com o LED anexado.

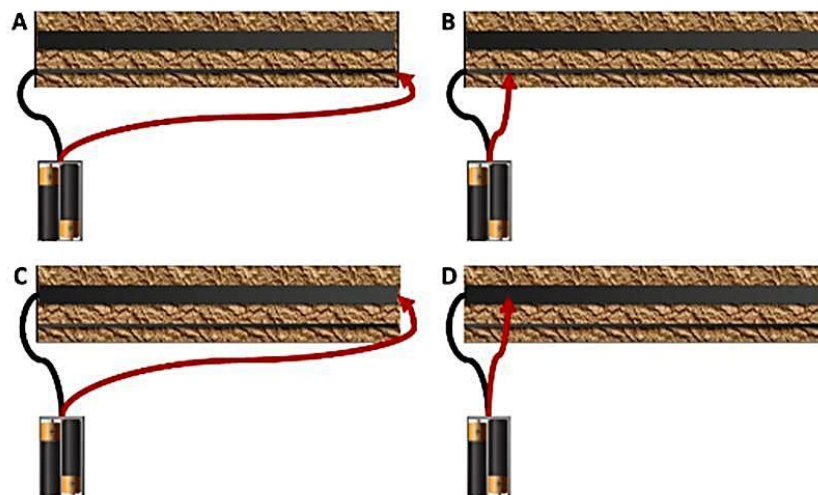


Figura 86: Montagem A com trincheira fina e comprida; montagem B com trincheira fina e curta; montagem C com trincheira grossa e comprida; montagem D com trincheira grossa e fina.

Comparando as montagens a seguir, em qual delas o LED brilha mais?				
Montagem	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

Figura 87: Tabela a ser preenchida com os dados das comparações a serem realizadas.

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Ao colocar a ponta solta do LED na parte pintada, o que acontece?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Se formos comparar a luminosidade do LED entre A/B, em qual delas ele brilha mais? E se agora compararmos a luminosidade do LED entre C/D, em qual delas ele brilha mais? Quais relações pode-se tirar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Agora faça a mesma comparação entre as montagens A/C? E entre as montagens B/D? Que relação pode-se determinar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Qual explicação pode-se propor para a comparação realizada nas montagens A/B e C/D? E na comparação entre A/C e B/D?

SUGESTÃO ATIVIDADE 02: Montagem de um potenciômetro, como o que foi utilizado no aparato de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos de algumas das montagens realizadas na ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Fixe em cada lateral da trincheira mais fina a ponta referente ao polo positivo de cada LED, como na figura 87.



Figura 88: LEDs anexados as pontas da trincheira mais fina.

- ✓ Logo em seguida, utilizando o restante do fio condutor que sobrou, conecte-o às pontas negativas de cada um dos LEDs e, em seguida, conecte na saída negativa do suporte para pilhas, como mostrado na figura 88.

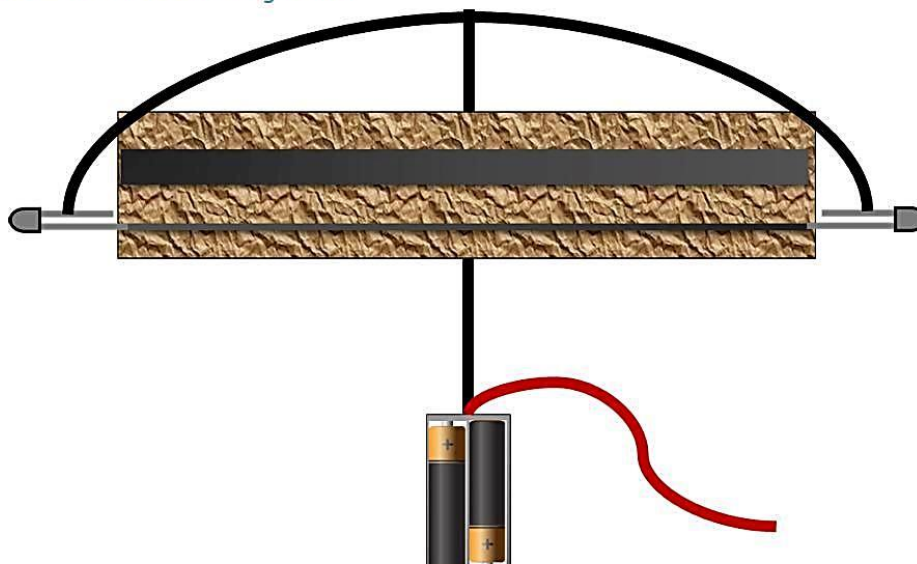
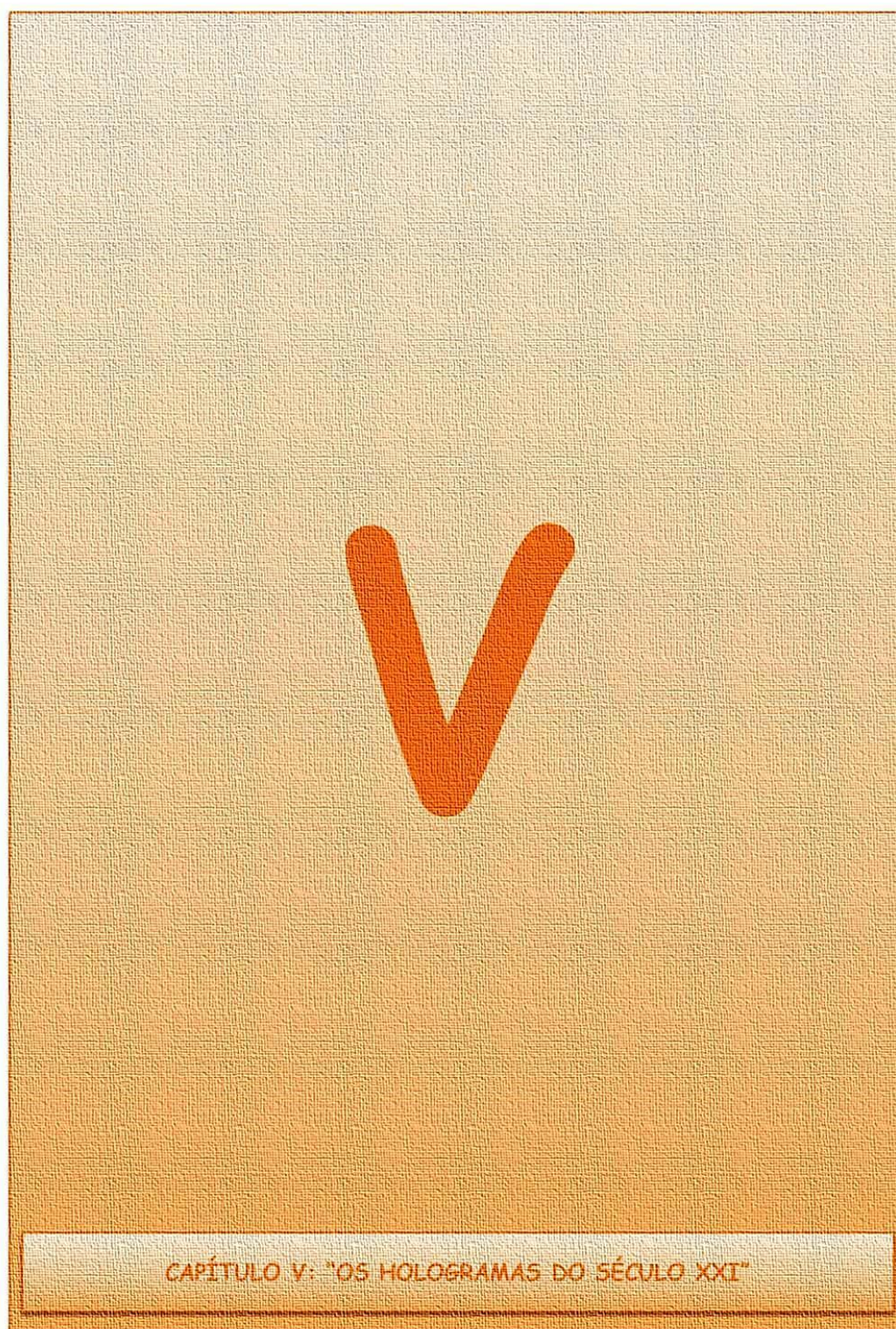


Figura 89: Potenciômetro com duas saídas e uma entrada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Ao colocar o fio vermelho na metade da trincheira mais fina, o que acontece com os LEDs? Agora aproxime o fio condutor vermelho de um dos LEDs e descreva o que aconteceu com a luminosidade deles.
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Por que isso acontece? Você consegue explicar isso utilizando os conceitos de corrente, tensão e resistência?



Utilizaremos este último capítulo como fechamento de todas as nossas atividades. Afim de verificar e utilizar os conhecimentos adquiridos pelos alunos nos capítulos anteriores, a ATIVIDADE 01 tem como objetivo fazer um novo mapa conceitual/mental sobre o tema HOLOGRAMA. Em seguida, por meio de um vídeo, serão introduzidas novas técnicas de holografia que seguem alguns dos princípios apresentados no Fantasma de Pepper. Nesse novo mapa podem ser incluídos o Fantasma de Pepper, os conceitos de óptica, conceitos de eletrodinâmica e alguns dos hologramas que surgiram no século XXI, além de hipóteses para explicar o funcionamento desses novos hologramas.

SUGESTÃO ATIVIDADE 01: Esta atividade tem como objetivo principal fazer com que os conceitos aprendidos em todos os capítulos anteriores se tornem novos subsunçores, que darão continuidade à expansão de conhecimentos por meio da introdução de novos temas e contextos.

- ✓ Escrever no centro de um papel sulfite "HOLOGRAMA" e, com os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores, montar um mapa conceitual/mental desse tema.
- ✓ Assistir o vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=ikuSPBZjkhw>

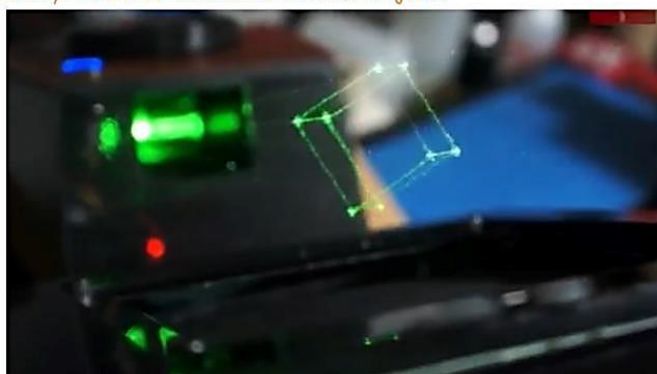


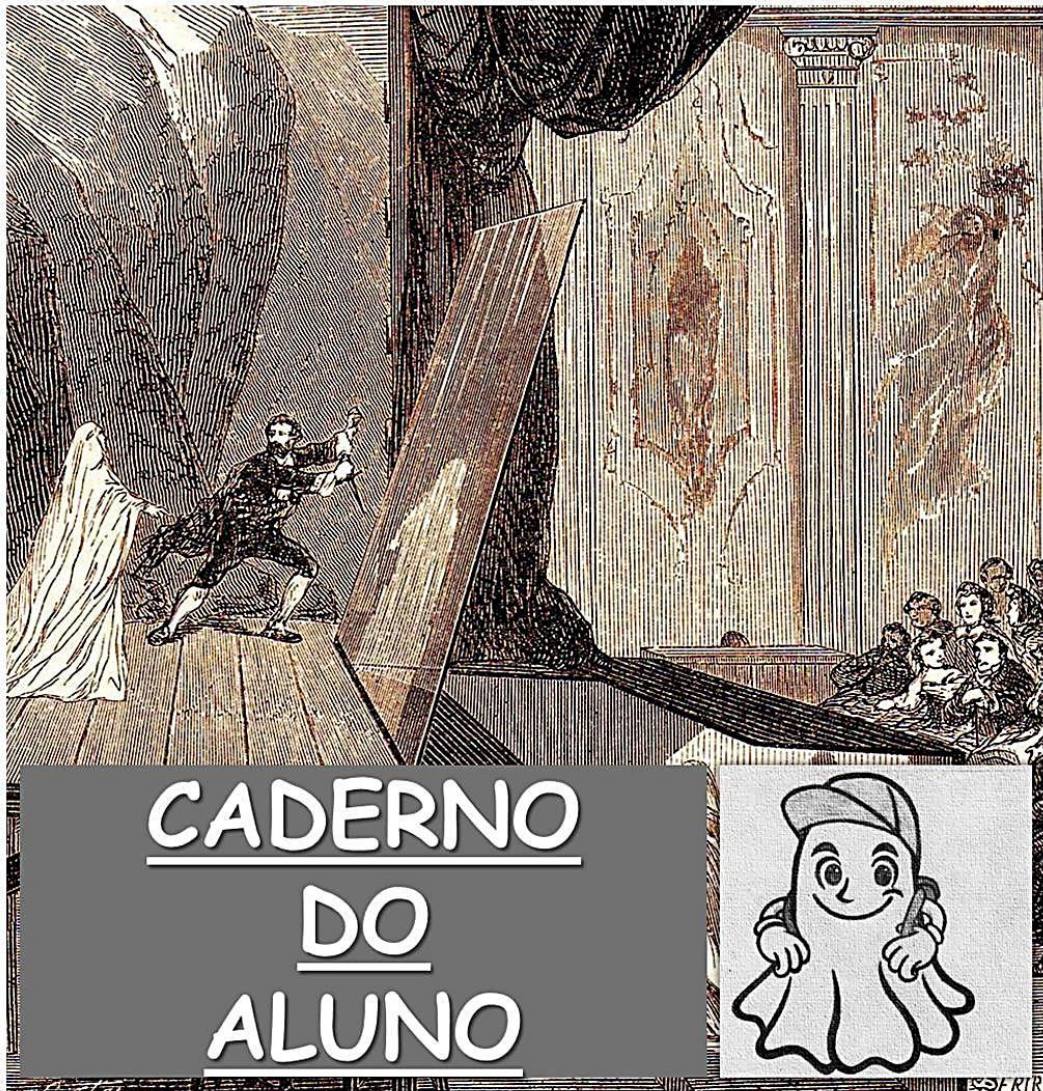
Figura 90: Trecho do vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

- ✓ Evidenciar, com o auxílio dos alunos, todos os tipos de hologramas apresentados no vídeo e anotá-los no quadro.
- ✓ Ao finalizar este novo mapa conceitual/mental, colocar nas bordas da folha o nome das técnicas de holografia, vistas no vídeo.
- ✓ Relacionar os conceitos colocados para o FANTASMA DE PEPPER que também podem estar envolvidos na produção de cada um dos hologramas do século XXI apresentados.

REFERÊNCIAS

- i Dicionário Michaelis. Holograma. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?id=e33QW>
- ii Dennis Gabor. Holography, 1948-1971. Nobel Lecture, December 11, 1971. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/gabor-lecture.pdf>
- iii História da Holografia. Disponível em: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist178691/cav/sample-page/>
- iv Wikipédia - Pepper's ghost. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper's_ghost
- v Magia Naturalis - Natural Magick de Giambattista della Porta. Disponível em: <https://holybooks-lichtenbergpress.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Natural-Magick.pdf>
- vi Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Giambattista della Porta. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: janeiro 31, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Giambattista-della-Porta>
- vii Dictionary of National Biography, 1885-1900, Volume 15 - Dircks, Henry by Charles William Sutton. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_\(DNB00\)](https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_(DNB00))
- viii Dictionary of National Biography, 1901 supplement - Pepper, John Henry by Thomas Seccombe. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_\(DNB01\)](https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_(DNB01))
- ix 15 coincidências provam que o acaso gosta de brincar com nossos olhos. O reflexo cria a ilusão de alguém sentado no carro. Disponível em: <https://webcuriosos.com.br/2018/05/29/coincidencias-o-acaso/>
- x 10 reflexos de imagens mais curiosas da internet. Disponível em: <http://alhaquilo.blogspot.com/2016/12/10-reflexos-de-imagens-mais-curiosas-da.html>
- xi Janela Em Vidro Temperado Para Sala E Cozinha Verde Ou Fume. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1051764075-janela-em-vidro-temperado-para-sala-e-cozinha-verde-ou-fume-JM>
- xii Janela Blindex Vidro Temperado 1.50 X 1.00. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-882307126-janela-blindex-vidro-temperado-150-x-100-JM?quantity=1>
- xiii Física Animada - Imagem Virtual (Espelho Plano). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sdEWuV6pt9E>
- xiv Pepper's Ghost - Halloween Ghosting by: James Hobson. October 6, 2013. Disponível em: <https://hackaday.com/2013/10/06/peppers-ghost-halloween-ghosting/>
- xv Monga, a verdadeira mulher-macaco Por Paulo Terron. Acessado em 31 out 2016, 18h36 - Publicado em 31 dez 2007, 22h00. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/monga-a-verdadeira-mulher-macaco/>
- xvi Julia Pastrana: Monga, a mulher macaco. Publicado por Eudes Bezerra 25/06/2014, atualizado em 16/03/2019. Disponível em: <https://incrivelhistoria.com.br/julia-pastrana-monga/>
- xvii IMDb - Lisbela e o Prisioneiro (2003). Disponível em: https://www.imdb.com/title/tt0367975/?ref_=fn_al_tt_1
- xviii HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011.
- xix HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 22. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xx HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 23. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xxi HALLIDAY, RESNICK, WALKER. Fundamentals of Physics. 5E. Extended. Wiley, 1997.
- xxii Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Charles-Augustin de Coulomb. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 19, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Augustin-de-Coulomb>
- xxiii Universia ENEM - Texto: Lei de Coulomb. Disponível em: <https://www.sistemanovi.com.br/basenovi/image/ConteudosDisciplinas/33/66/339/301639/balanca-torca.png>
- xxiv Contributor: L. Pearce Williams. Article Title: Michael Faraday. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 21, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>
- xxv Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Georg Ohm. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: julho 02, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Georg-Ohm>
- xxvi OnThisDay - Hindenburg Burns in Lakehurst Crash; 21 Known Dead, 12 Missing; 64 Escape. Disponível em: <http://movies2.nytimes.com/learning/general/onthisday/big/0506.html>

APÊNDICE B: PRODUTO EDUCACIONAL – CADERNO DO ALUNO



***"PEPPER'S GHOST": COMO
ENSINAR/APRENDER
CONCEITOS DE FÍSICA
ATRAVÉS DE UMA SIMPLES
ILUSÃO DE ÓPTICA***



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - POLO 35
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

GILVAN CHAVES FILHO
LUIZ ANTÔNIO BASTOS BERNARDES

**"PEPPER'S GHOST": COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS
DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA**

Ponta Grossa/PR

2020

APRESENTAÇÃO

Este material é um produto educacional, parte integrante da dissertação realizada junto ao Programa de Pós-Graduação Ensino de Física e ao mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 35, da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Este caderno didático a ser aplicado através de uma sequência didática planejada para abordar, através de atividades e experimentos relacionados com uma ilusão de ótica chamada "Pepper's Ghost" (Fantasma de Pepper), precursora da atual holografia, conteúdos como leis da reflexão, corrente elétrica, diferença de potencial e resistividade.

Este caderno está dividido em cinco capítulos: no primeiro, definimos o que é um holograma, levando em consideração relações históricas; no segundo, realizamos a montagem de um Fantasma de Pepper simplificado e relataremos eventos do século XX e XXI que ainda se apropriam dele; no terceiro, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da ótica envolvida no Fantasma de Pepper; no quarto, são propostas atividades experimentais para a melhor compreensão da eletrodinâmica envolvida no Fantasma de Pepper; no quinto, são abordadas outras técnicas de holografia mais atuais, além disso, é proposta a criação de mapas mentais, com o intuito de verificar os conhecimentos adquiridos pelos alunos no final do processo.

COMO USAR ESTE CADERNO...

Este caderno foi elaborado com o intuito de auxiliar alunos do Ensino Médio no ensino-aprendizagem dos conceitos de Física presentes em uma técnica de ilusão de óptica conhecida como "Pepper's Ghost",

A abordagem deste caderno segue a teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, e tem como finalidade auxiliá-lo com atividades, vídeos, experimentos e questionários. Durante a realização destas atividades, o professor vai comandar quais e em quanto tempo elas deverão ser realizadas. Qualquer dúvida que surgir, basta pedir a ajuda do professor.

I

CAPÍTULO I: "O QUE É UM HOLOGRAMA?"

ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema HOLOGRAMA.

- ✓ Elaborar um mapa conceitual, abaixo, partindo do tema HOLOGRAMA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

COMO SE EXPLICA A FORMAÇÃO DE UM HOLOGRAMA

Segundo o dicionário Michaelisⁱ a definição de holograma é:

Fotografia que apresenta uma imagem tridimensional e inclui informação sobre a intensidade e o período de radiação refletida, transmitida pelo objeto fotografado, e que se obtém com o uso de radiação coerente¹ de um laser².

O processo utilizado para gerar um holograma é conhecido como holografia. Esse termo foi cunhado em 1948 pelo físico húngaro Dennis Gaborⁱⁱ. Em seus trabalhos, utilizando luz branca normal, ele conseguiu desenvolver uma forma de fotografia que colhia uma grande quantidade de informações, como textura e relevo de um material. Como a luz branca tinha muitos padrões de interferência, sem coerência, a imagem gerada por Dennis Gabor não era de boa qualidade. A descoberta da holografia fez com que Dennis Gabor ganhasse o prêmio Nobel da Física em 1971. Para melhorar a qualidade da imagem da holografia, um aparato foi montado, por Emmett Leith & Juris Upatnieksⁱⁱⁱ, para gerar padrões de interferência com radiação coerente. Esse aparato era constituído por: um laser, um separador de feixes, duas lentes divergentes, um espelho, uma placa fotográfica e o objeto, como indicado na figura 1 abaixo.

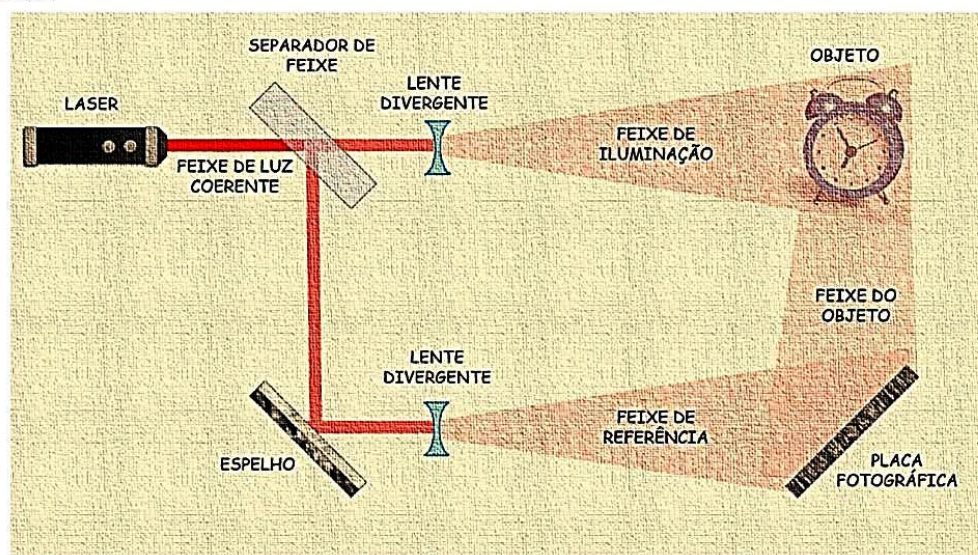
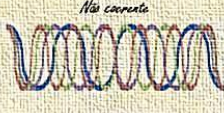


Figura 1: Aparato para gerar os padrões de interferência que podem ser utilizados para formar um holograma.

(1) RADIAÇÃO COERENTE LUZ COERENTE É AQUELA FORMADA POR ONDAS DE MESMA FREQUÊNCIA E DIREÇÃO QUE MANTÊM UMA RELAÇÃO DE FASE CONSTANTE ENTRE SI.	<i>Não coerente</i>  <i>Coerente</i> 	(2) LASER QUALQUER APARELHO QUE PRODUZA RADIAÇÃO ELEIROMAGNÉTICA MONOCROMÁTICA E COERENTE NAS REGIÕES VISÍVEL, INFRAVERMELHO OU ULTRAVIOLETA, POSSUINDO INÚMERAS APLICAÇÕES.	<i>Exemplo de laser</i> 
--	---	--	--

Os padrões de interferência obtidos na figura 1 são utilizados para gerar um feixe reconstruído. Esse feixe, ao ser refletido por uma placa fotográfica, devido aos seus padrões de interferência, gera uma imagem virtual tridimensional, como ilustrado na figura 2:

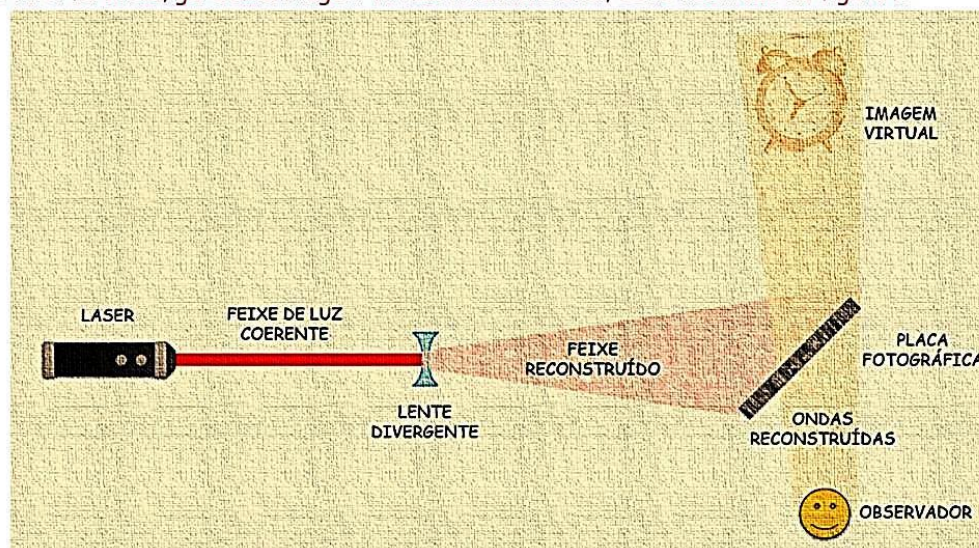


Figura 2: Imagem virtual gerada pela reflexão de um feixe reconstruído.

Quando um observador vê a placa fotográfica onde foi refletido o feixe reconstruído, ele observa uma frente de onda reconstruída. Nessa frente de onda cada ponto é resultante de uma interferência de dois comprimentos de onda diferentes. Desse modo, os dois olhos do observador enxergam comprimentos de onda diferentes para o mesmo ponto. Ou seja, é como se o observador conseguisse enxergar o mesmo ponto a partir de duas posições diferentes, como ocorre no fenômeno da "paralaxe^{3a}". Essa paralaxe dá ao observador a ilusão de que o objeto observado é tridimensional. Esse fenômeno não ocorre na fotografia comum pois, para se obter esta fotografia, não é utilizado um feixe reconstruído a partir de padrões de interferência.



ATIVIDADE 01: Essa atividade tem como objetivo verificar quais subsunçores podem ser desenvolvidos e entendidos com o auxílio de um vídeo que mostra a formação de um holograma.

PARTE A:

- ✓ Assistir o vídeo: "How 3D holograms work".
- ✓ Link: <https://www.youtube.com/watch?v=0ics3RVSn9w>
- ✓ Listar eventos presentes no vídeo que mais chamam a atenção.
- ✓ Determinar, em cada evento, quais conceitos de Física estão presentes.
- ✓ Elaborar um mapa conceitual, partindo do tema HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA.
- ✓ Colocar em torno do tema central (HOLOGRAMA ou HOLOGRAFIA) os eventos apresentados no vídeo que estejam ligados a este tema.
- ✓ Para cada evento, coloque os conceitos de Física que podem explicá-lo.
- ✓ Para cada evento, se for possível, coloque o objeto(s) (por exemplo, laser, espelho, separador) relacionado a ele.
- ✓ Descreva, de maneira sucinta, as ligações entre evento, objeto e conceito.

PARTE B:

- ✓ Coloque um lápis sobre a mesa e olhe para ele. Primeiramente, olhe apenas com o olho direito (fechando ou tapando com a mão o olho esquerdo). Em seguida, olhe para o lápis apenas com o olho esquerdo. Faça isso várias vezes, ora olhando para o lápis com o olho direito, ora com o olho esquerdo. É importante que, quando você olhar o lápis de maneira alternada, a posição da sua cabeça ou do lápis na mesa não seja modificada. O que você percebe quando observa o lápis com o olho direito? E com o olho esquerdo? Essas observações foram iguais ou diferentes? Se houver diferença entre as observações, qual é esta diferença?
- ✓ Agora, pegue o lápis e fique segurando-o com o braço esticado, na frente do seu rosto. Observe inicialmente o lápis com o olho direito, fechando o esquerdo. Em seguida, com o braço ainda esticado, observe o lápis com o olho esquerdo, fechando o direito. Faça essas observações várias vezes, de maneira alternada. Em seguida, traga o lápis para uma posição mais próxima de seu rosto e observe-o novamente de maneira alternada, ora só com o olho direito, ora só com o olho esquerdo. Aproxime mais uma vez o lápis de seu rosto e repita a observação alternada. Em cada mudança de posição do lápis, a observação dele com o olho direito é diferente da observação dele com o olho esquerdo?

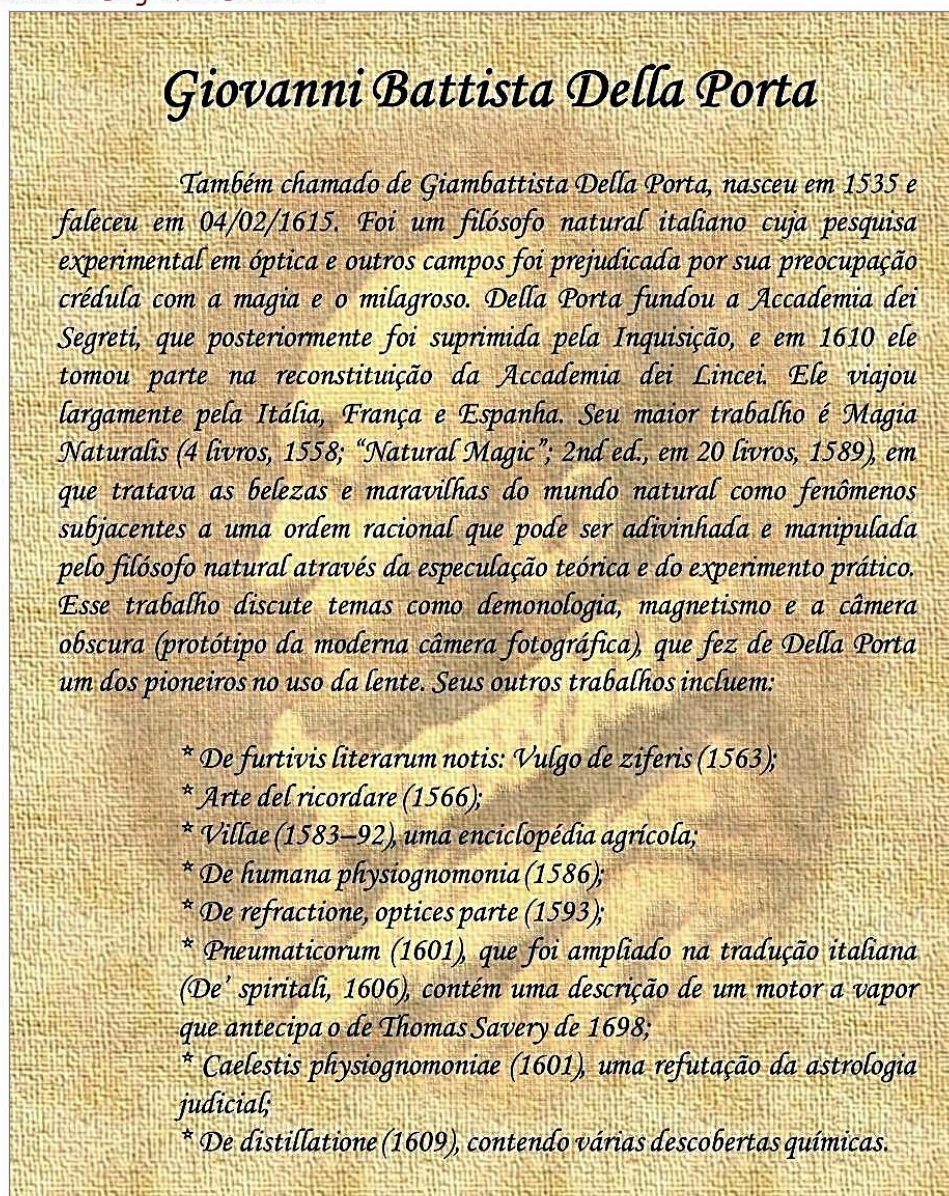
QUESTÕES:

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Qual o principal fenômeno que você percebeu nas observações acima realizadas com o lápis?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Esse fenômeno é o fator principal necessário para o ser humano conseguir visualizar formas de forma tridimensional, como no holograma?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Uma pessoa que enxergue só com um olho conseguiria ver um holograma? Justifique sua resposta.

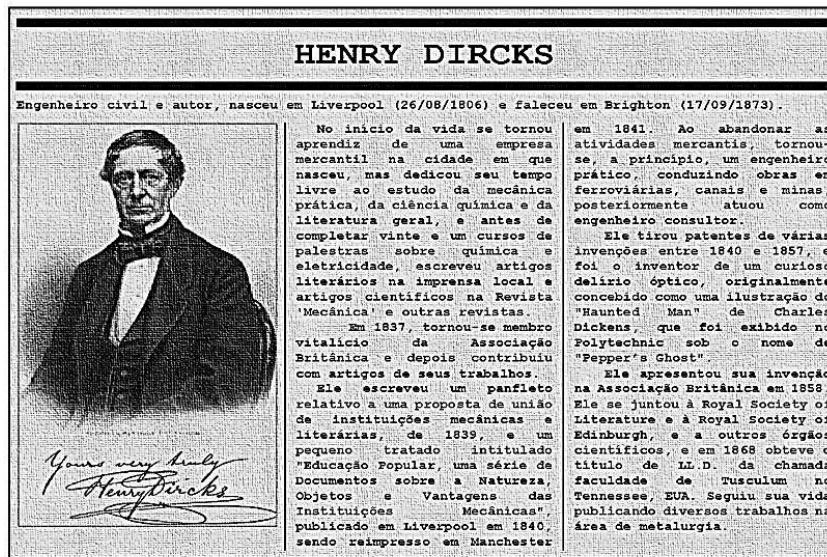
ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines, typical of notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

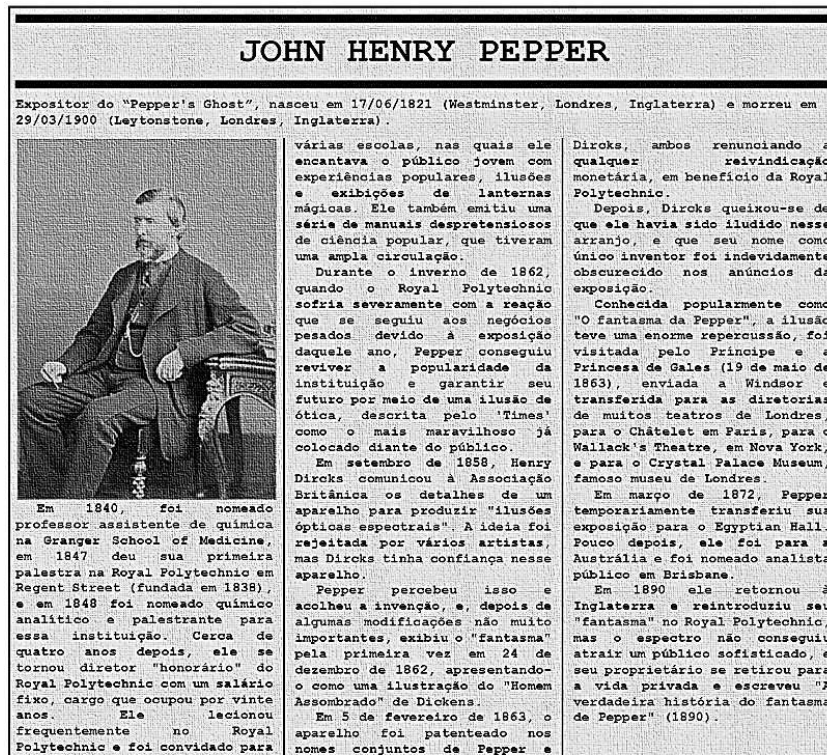
A seguir, apresentamos nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente, biografias de Giambattista Della Porta, Henry Dircks, inventor do aparato citado, e de John Henry Pepper, que o adaptou para gerar ilusões de óptica através da projeção de imagens bidimensionais. A primeira biografia é uma tradução e adaptação, realizadas pelo autor do presente caderno, do texto da Enciclopédia Britânica. As outras duas biografias são traduções e adaptações, também realizadas pelo autor do presente caderno, de textos presentes no Dicionário Nacional de Biografias Britânico.



Figura^{vi} 4: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Giambattista Della Porta



Figura^{viii} 5: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Henry Dircks.



Figura^{viii} 6: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de John Henry Pepper.

O funcionamento e montagem de um Fantasma de Pepper serão abordados no capítulo 2 deste caderno.

ATIVIDADE 02: Projeção de uma imagem virtual bidimensional – Exemplificando o funcionamento da câmara escura de Giambattista Della Porta

Observe a figura 7 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).

Figura^x 7

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 5 está fazendo? Esse homem está fora ou dentro do carro?

Observe a figura 8 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).

Figura^x 8

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Qual é a semelhança entre a garota e o macaco?

Observe a figura 9 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).

Figura^{xi} 9

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quem está dentro do imóvel: os objetos ou o fotógrafo?

Observe a figura 10 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).

Figura^{xii} 10

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas cadeiras você vê na figura 8? Elas estão dentro ou fora do consultório?

Observe a figura 11 e descreva os elementos que a compõem (objetos, pessoas ou algo que lhe chamou atenção).

Figura^{xiii} 11

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

Quantas velas aparecem na figura? O dedo que está sobre uma das velas está sendo queimado?

A figura 12 que já foi analisada é uma parte da figura 10 abaixo.

Figura 12

PERGUNTAS QUE PODEM AUXILIAR A DESCRIÇÃO DA IMAGEM FEITA PELOS ALUNOS:

O que o homem da figura 10 está fazendo? Esse homem está fora ou dentro do carro?

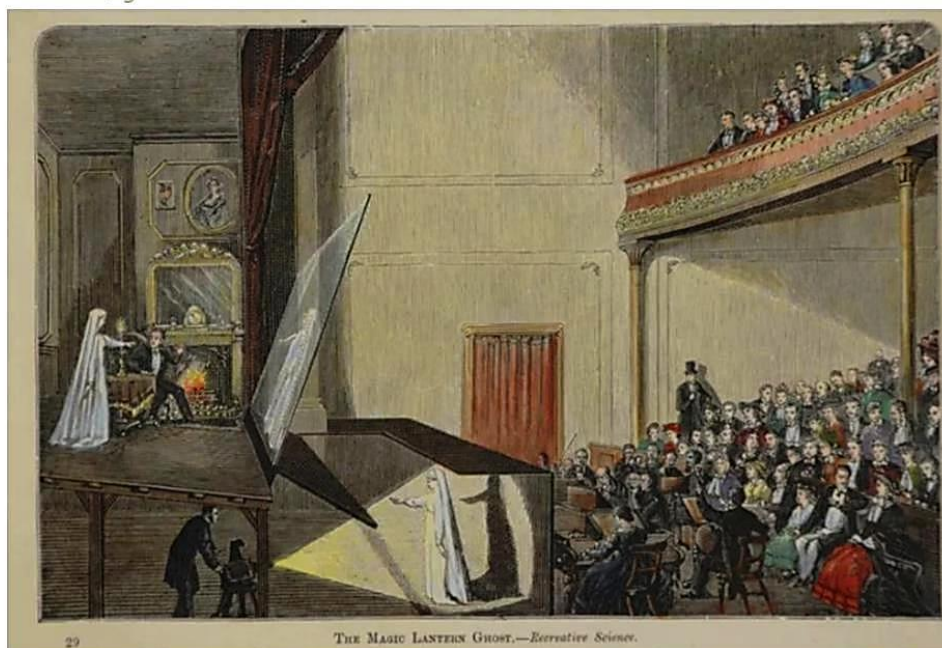
❖ QUESTIONAMENTO 04: Como podemos explicar, de forma sucinta, o efeito que verificamos em todas as figuras acima?

II

CAPÍTULO II: O FANTASMA DE PEPPER

O FUNCIONAMENTO DO FANTASMA DE PEPPER

Como já relatado do capítulo I, o Fantasma de Pepper foi um aparato que fez muito sucesso em apresentações do século XIX. Esse aparato foi utilizado para entreter o público em universidades, escolas técnicas, museus e teatros da Europa. Uma representação do Fantasma de Pepper, da maneira como ele era apresentado em teatros do século XIX, está mostrada na figura 13 abaixo.



Figura^{XIV} 13: Ilustração de uma peça de teatro que utiliza a técnica do Fantasma de Pepper para surpreender a plateia.

A explicação de seu funcionamento pode ser encontrada em um artigo de 2006, "A HISTÓRIA E A FÍSICA DO FANTASMA DE PEPPER", escrito por MEDEIROS. Neste trabalho são relatados os projetos de Henry Dircks de um aparato que realizava ilusões de óptica e as modificações propostas por John Henry Pepper para melhorar sua aplicabilidade em outras situações. A situação vivenciada através do aparato é relativamente simples e antiga, observada em eventos cotidianos, como, por exemplo, entrar em um quarto com a luz acesa e olhar para fora da janela do quarto durante a noite. No momento que fazemos essa observação, podemos perceber que objetos iluminados pela luz dentro do quarto podem aparentar estar "flutuando" para fora da janela.

As adaptações feitas por Pepper envolviam utilizar uma grande placa de vidro colocada em um teatro com uma inclinação de 45°, como indicado na figura 13 acima. Com a alteração das iluminações dos ambientes embaixo e em cima do palco, era possível criar ilusões semelhantes a fantasmas na frente do público.

A MONTAGEM SIMPLIFICADA DO FANTASMA DE PEPPER

ATIVIDADE 01: Montagem simplificada de um Fantasma de Pepper para mostrar como pode ser produzida essa ilusão de óptica.

Para a montagem simplificada utilizaremos os seguintes materiais:

- Um celular com tela que permita assistir vídeos;
- Uma placa de acrílico (20 cm X 15 cm);
- Uma tira de papelão (30 cm X 5 cm);
- Uma tesoura;
- Um ambiente com baixa iluminação.

Realizando a montagem:

- Cortar da tira de papelão as partes especificadas na figura 14.

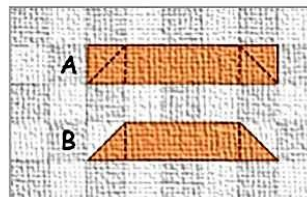


Figura 14: (A) Tira de papelão inteira, mas dobrada diagonalmente nas laterais; (B) Tira de papelão sem as partes superiores das diagonais.

- Aproveitar a marcação das dobras já realizadas e dobrar as pontas da tira de papelão, tornando-as ortogonais à parte central. O arranjo em pé tem a forma apresentada na figura 15.

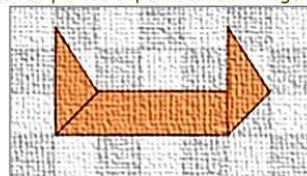


Figura 15: Tira de papelão após ser dobrada.

- Fixar o pedaço de papelão, cortado como no item b, na placa de acrílico com fita adesiva. A fixação deve ser feita do lado em que o papelão foi cortado de maneira diagonal nas suas partes laterais. O novo arranjo, quando visto de frente e de lado, tem o formato apresentado na figura 16.

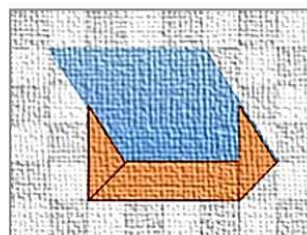


Figura 16: Placa de acrílico anexada à tira de papelão dobrada.

- Colocar o celular com um vídeo rodando sobre o papelão e voltado para a placa de acrílico, como mostrado na figura 17, abaixo.

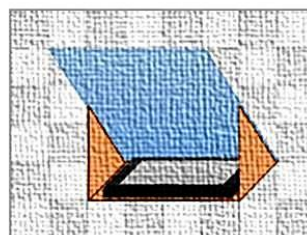


Figura 17: Celular colocado sobre a tira de papelão, mas embaixo da placa de acrílico.

- Agora escureça o ambiente e assista ao seu próprio Fantasma de Pepper.

"MONGA, A MULHER MACACO"

O nome "Fantasma de Pepper" não é muito famoso nas Américas, mas o nome "Monga" ou "Conga" fez e faz crianças deste continente sentirem um frio na espinha. A Monga realmente existiu no século XIX, mas se tornou um show circense apenas no século XX. Na reportagem a seguir, figura 18, da revista Superinteressante^{xv}, temos a história de vida da mulher que inspirou a criação deste espetáculo assustador.

MONGA, A VERDADEIRA MULHER-MACACO

COM O CORPO COBERTO DE PÊLOS, A MEXICANA JULIA PASTRANA ESTRELOU FREAKSHOWS, VIROU MÚMIA E INSPIROU UMA DAS ATRAÇÕES MAIS POPULARES DOS PARQUES DE DIVERSÃO.

Nos anos 80, um fenômeno aterrorizou crianças de todo o Brasil. O pânico chegava na bagagem de um parque de diversões, o boca-a-boca amplificava a lenda e filas se formavam para testemunhar o horror: uma mulher bonita – geralmente de biquíni – ficava presa dentro de uma jaula enquanto um narrador explicava a tenebrosa transformação pela qual ela passaria. Pêlos cresciam, garras apareciam e dentes viravam presas. No clímax da metamorfose, o monstro destruída grades e atacava o público, que fugia apavorado.

"Monga, a Mulher-Macaco" é atração tradicional até mesmo nos parques mais chifrins que correm o país. Tudo ilusão, claro. Mas o jogo de espelhos que garante a transformação de uma garota em um macaco gigante (alguém dentro de uma fantasia quase sempre bem gasta) nasceu de uma história real: a da mexicana Julia Pastrana. Nascida em 1834, Julia desenvolveu uma forma severa de hipertricrose, doença raríssima que atinge uma em cada 300 milhões de pessoas, deixando o corpo coberto de pêlos pretos.

Também não ajudou muito o fato de Julia ter orelhas grandes, gengivas inchadas e mandíbulas estranhas – na época, chegaram a cogitar que ela teria duas fileiras de dentes, mas recentes exames de raios X na arcada dentária de seu corpo mumificado (calma, a gente chega lá) comprovaram que sua dentição era normal. Coloque essa aparência bizarra sob os cuidados de um homem explorador e você terá na pior acepção da expressão, um show de horror. Descoberta pelo comerciante Theodor Lent (que depois se casaria com ela), Julia passou a ser exibida em freak shows, as caravanas de mulheres barbadas, pessoas deformadas e coisas estranhas que viajavam pela Europa e pelos EUA entre a 2ª metade do século 19 e a 1ª do 20. Tinha 20 anos quando estreou seu primeiro espetáculo, A Incrível Híbrida ou Mulher-Urso. No show, além de dar o ar de sua graça, Julia dançava e cantava – tinha uma voz bonita, dizem. A grossa pelagem escondia uma moça educada e inteligente – Julia falava espanhol e inglês, adorava cozinhar e costurar. Morreu aos 26 anos, de complicações no parto, depois de dar à luz um filho que sofria de hipertricrose (e que morreu 3 dias depois de nascer). Nem isso preocupou Lent: o empresário mandou mumificar os dois cadáveres e continuou a

exibi-los até sua morte, em 1880. As múmias reapareceram em 1921 nas mãos de Haakon Lund, um showman norueguês que viajou com os cadáveres por duas décadas. Hoje, Julia e o filho descansam no Instituto Forense de Oslo, longe do público apavorado dos parques de diversão.

MOMENTOS:

- Julia Pastrana foi citada até por Charles Darwin. O naturalista usou o exemplo da moça para investigar o excesso de pêlos e dentes em mamíferos.
- Depois da morte de Julia, seu marido encontrou outra mulher com as mesmas características e se casou com ela! Antes de ser internado em um hospício, ele começou a dizer que as duas eram a mesma pessoa.
- Quando os nazistas invadiram a Noruega, o "dono" da múmia de Julia convenceu os alemães a mostrar o cadáver no território ocupado. Os lucros da turnê foram revertidos ao 3º Reich.

Figura 18: Reportagem da revista Superinteressante sobre Monga, a Mulher Macaco.

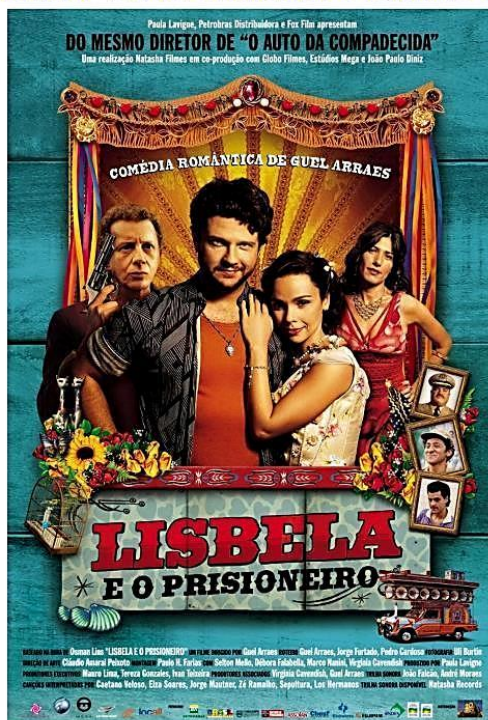
Na figura 19 abaixo, mostramos uma foto de Julia Pastrana. O funcionamento do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco, será trabalhado durante a "montagem engenhosa de um Fantasma de Pepper".



Figura^{xvi} 19: À esquerda temos uma foto de Julia Pastrana e à direita temos a múmia feita com o seu corpo ao lado da múmia feita com o corpo de seu filho recém-nascido.

A UTILIZAÇÃO DE MONGA, A MULHER MACACO NO FILME "LISBELA E O PRISIONEIRO"

ATIVIDADE 02: Análise do show conhecido como Monga, a Mulher Macaco por meio de um vídeo referente a uma parte do filme "Lisbela e o Prisioneiro", com o cartaz mostrado na figura 20. Através dessa análise feita pelos alunos, espera-se verificar suas capacidades para formular teorias e solucionar o fenômeno apresentado.



Figura^{xvii} 20: Cartaz do filme "Lisbela e o Prisioneiro".

- ✓ Assistir apenas os primeiros 50 segundos do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Explique, com suas palavras, como a mulher do vídeo se tornou um macaco?
- ✓ Anote e compare sua resposta com as respostas dadas pelos seus colegas.
- ✓ Assistir ao restante do vídeo: "Lisbela e o Prisioneiro usando A Física".
Link: <https://www.youtube.com/watch?v=XMZgSKwdpBAm>
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: A sua resposta foi semelhante ou diferente da explicação dada pelo personagem do filme? Você conseguiu compreender como a atração do filme funciona apenas com a explicação dada pelo personagem?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

A MONTAGEM ENGENHOSA DO FANTASMA DE PEPPER

ATIVIDADE 03: Montagem do Fantasma de Pepper para mostrar Monga, A Mulher Macaco. Essa montagem será utilizada nos capítulos III e IV para desenvolver os subsunçores necessários à compreensão da Monga, de acordo com as leis da reflexão da luz, as regras de formação de imagens em espelhos planos e a relação entre resistência e resistividade.

Esta montagem mais engenhosa é a mesma do Fantasma de Pepper conhecido como Monga, a Mulher Macaco, comentada anteriormente. Para a realizarmos precisaremos de alguns materiais:

- Um pedaço de papelão (60 cm X 20 cm);
- Papel preto, equivalente a três folhas A4;
- Régua;
- Fita adesiva;
- Tesoura;
- Cola;
- Um pedaço de vidro (6 cm X 3,5 cm);
- Duas tampas de refrigerante;
- Um prego com espessura de 5 mm;
- Dois LEDs Brancos de 5 mm;
- Duas pilhas AA;
- Um pedaço de papel-alumínio;
- Fio elétrico - 30 centímetros;
- Um potenciômetro;
- Um transistor (não obrigatório);
- Uma foto de uma mulher;
- Uma foto de um macaco.

Realizando a montagem da nossa "Mini-Monga", passo a passo.

PARTE A:

- ✓ Cortar tiras de papelão, como na figura 21, com as seguintes medidas: uma tira de 12,5 cm X 12,5 cm; quatro tiras de 12,5 cm X 1 cm; uma tira de 12 cm X 12 cm; quatro tiras de 12 cm X 4,5 cm; uma tira de 8 cm X 8 cm; duas tiras de 8 cm X 4 cm; duas tiras de 7,8 cm X 4 cm.

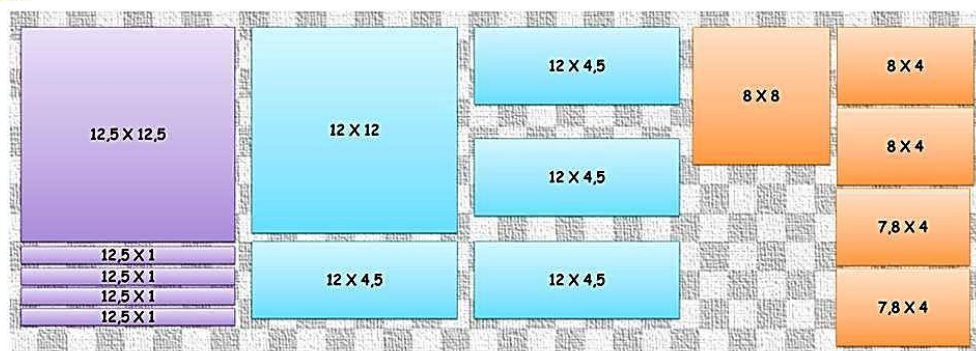


Figura 21: Tiras de papelão, cortadas nas suas respectivas medidas marcadas.

- ✓ Posicionar as tiras de 12,5 cm X 12,5 cm e 12,5 cm X 1 cm da forma mostrada abaixo na figura 22. Logo em seguida, fixar as tiras mais estreitas com fita adesiva, como mostrado na figura 23. Passar um pouco de cola na montagem da figura 23 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 24.

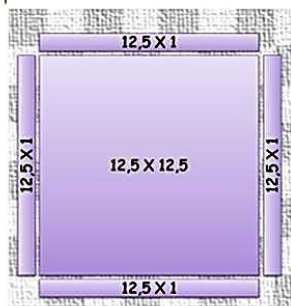


Figura 22: Posição das tiras de papelão.

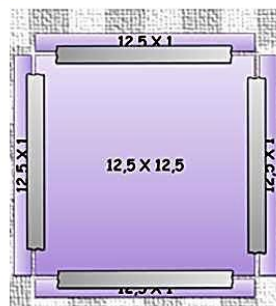


Figura 23: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

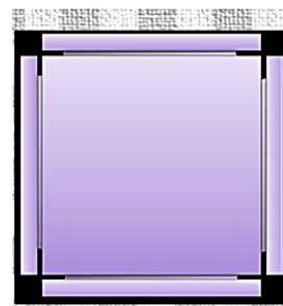


Figura 24: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais da montagem feita na figura 24, como indicado na figura 25. A fixação deve ser feita com fita adesiva para que as bordas fiquem firmes, como em uma tampa de caixa. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).



Figura 25: Vista de frente e de lado da tampa da caixa.

- ✓ Posicionar as tiras de 12 cm X 12 cm e 12 cm X 4,5 cm da seguinte forma, como indicado na figura 26. Logo em seguida, devemos fixá-las com fita adesiva, como indicado na figura 27. Passar um pouco de cola sobre a montagem da figura 26 e fixá-la sobre o papel preto, como indicado na figura 28.

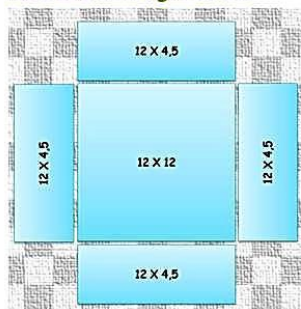


Figura 26: Posição das tiras de papelão.

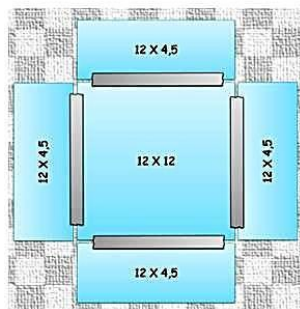


Figura 27: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

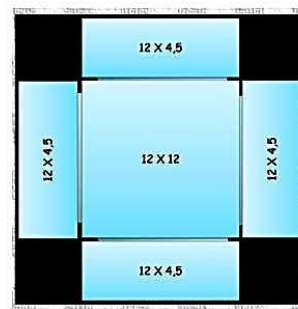


Figura 28: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva. Esta montagem deve ficar semelhante à figura 29. (OBS: O papel preto deve ficar para dentro).



Figura 29: Vista de frente e de lado da caixa.

- ✓ Fazer um buraco com o prego nas duas tiras de 7,8 cm X 4 cm e em uma das tiras de 8 cm X 4 cm. Esses buracos devem estar na posição mostrada na figura 30, abaixo.

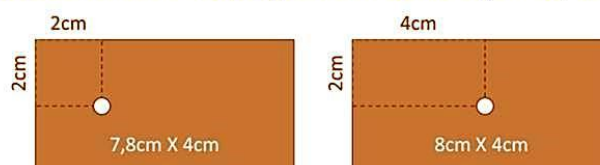


Figura 30: Furo nas tiras de papelão.

- ✓ Posicionar as tiras de 8 cm X 8 cm, 8 cm X 4 cm e 7,8 cm X 4 cm, como na figura 31. Logo em seguida, fixar as tiras com fita adesiva, como mostrado na figura 32 abaixo. Passar um pouco de cola na montagem da figura 32 e fixá-la sobre o papel preto, como mostrado na figura 33.

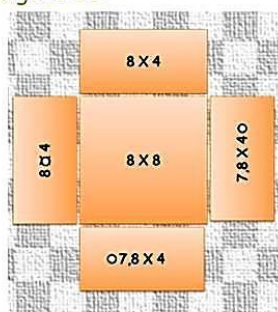


Figura 31: Posição das tiras de papelão.

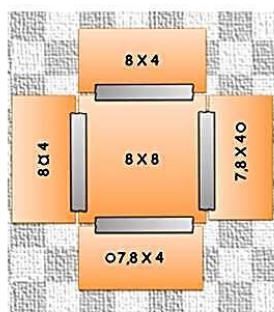


Figura 32: Tiras de papelão fixado com fita adesiva.

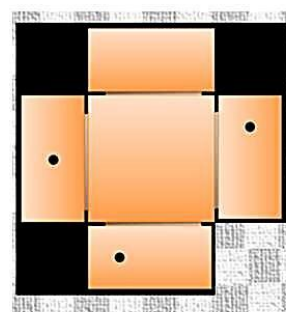


Figura 33: Montagem da figura anterior colada em papel preto.

- ✓ Por último, levantar as partes laterais, como na figura 25 e fixar com fita adesiva, como na figura 34. (OBS.: O papel preto deve ficar para fora).

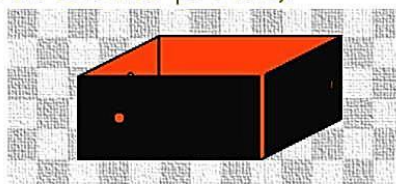


Figura 34: Vista de frente e de lado da caixa interna menor.

PARTE B:

- ✓ Conectar cada ponta dos LEDs em um fio condutor de 5 cm, como na figura 35. Conectar o fio negativo de um LED na extremidade do potenciômetro e o fio negativo do outro LED na outra extremidade do potenciômetro, como na figura 36.



Figura 35: LEDs com fio condutor.



Figura 36: LEDs ligados ao potenciômetro.

- ✓ Unir os fios positivos de cada um dos LEDs às extremidades do transistor, como na figura 37.

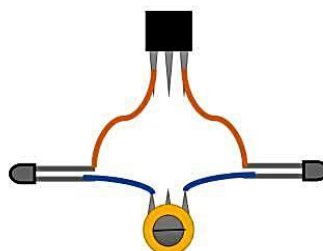


Figura 37: LEDs ligados ao potenciômetro e ao transistor.

- ✓ Conectar a parte central do transistor no fio positivo (vermelho) do suporte das pilhas AA, como na figura 38.

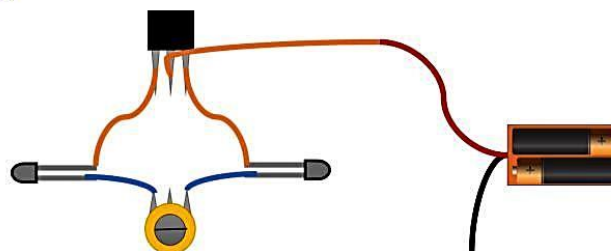


Figura 38: Montagem com potenciômetro e transistor, conectados à bateria.

- ✓ Conectar o fio negativo (preto) do suporte de pilhas na parte central do potenciômetro, como na figura 39. (OBS: ao se movimentar o pino do potenciômetro, verifique se os LEDs ligam. Caso eles não funcionem, refaça os passos descritos acima).

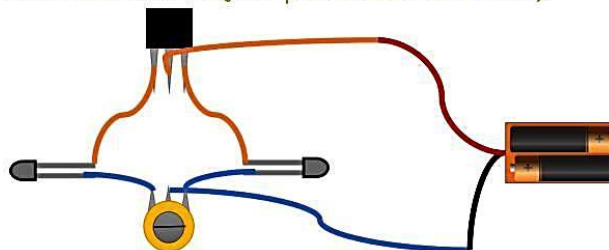


Figura 39: Montagem final do circuito.

PARTE C:

- ✓ Introduzir o circuito final da PARTE B dentro da caixa menor, mostrada na figura 39. Veja ao lado na figura 40 como fica essa nova montagem. Em seguida, posicionar nos buracos das laterais menores (as de 7,8 cm) os LEDs e o pino do potenciômetro no terceiro buraco (que fica na lateral com 8 cm).

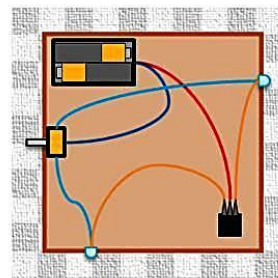


Figura 40: Circuito dentro da caixa menor.

- ✓ Passe um pouco de cola nas laterais sem os buracos com os LEDs e no fundo externo da caixa menor. Em seguida, fixe à dentro da caixa maior, como na figura 41.

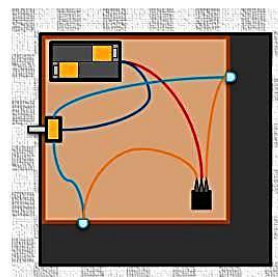


Figura 41: Caixa menor fixada dentro da caixa maior.

- ✓ Colocar a placa de vidro diagonalmente entre a abertura das laterais menores da caixa menor e a ponta mais próxima da caixa maior, como mostrado na figura 42. Faça com o prego um pequeno orifício na caixa maior, de frente para a placa de vidro.

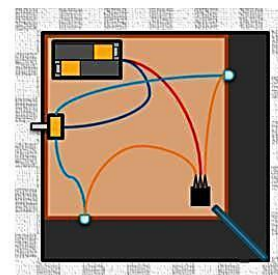


Figura 42: Montagem da figura 41, com uma placa de vidro na diagonal.

- ✓ Fazer um buraco com a tachinha no centro das tampas de refrigerante. Posicionar uma tampinha de refrigerante no final de cada corredor em L, em frente à placa de vidro, como mostrado na figura 43 abaixo. É importante comentar que as tampas são posicionadas simetricamente em relação à placa de vidro

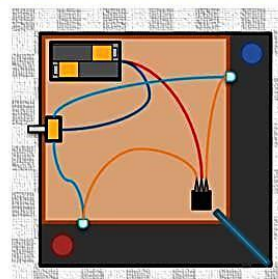


Figura 43: Montagem da figura 42, com duas tampas de refrigerante posicionadas simetricamente.

- ✓ Coloque entorno de uma das tampinhas a foto do macaco e na outra a foto da mulher. Em seguida, feche a caixa com a tampa. Em seguida, enquanto você gira pino do potenciômetro, procure enxergar através dos orifícios da caixa, as imagens das tampinhas de refrigerante. Abaixo, na figura 44, temos uma foto do aparato da Monga, a Mulher Macaco montado. (OBS.: As imagens das tampinhas de refrigerante fazem o papel de Monga, a Mulher Macaco).

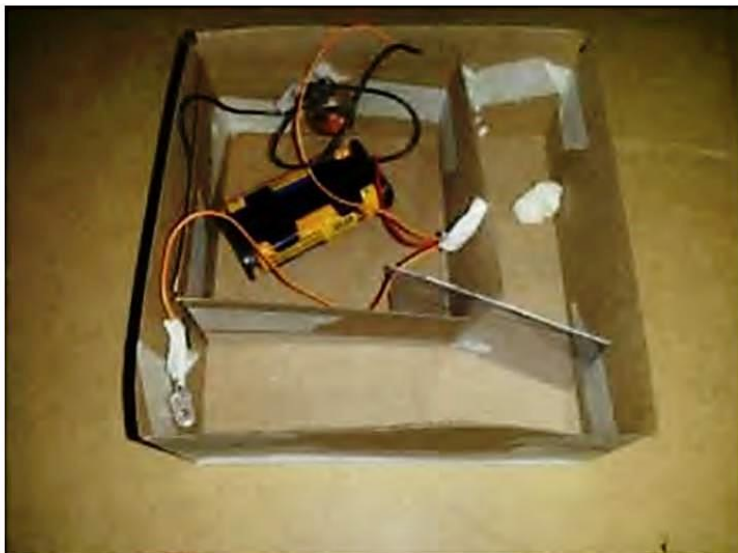


Figura 44: Foto do aparato Monga, A mulher Macaco montado.

Para compreendermos bem o funcionamento do aparato, cuja construção passo a passo foi mostrada nas páginas anteriores, teremos nos capítulos III e IV um estudo aprofundado dos conceitos de Física necessários.

III

CAPÍTULO III: "A ÓPTICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica abaixo foi retirada e adaptada do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição - Páginas 520, 521, 522 e 523" em são dados os princípios e leis que explicam a reflexão da luz em espelhos planos, nas figuras 45, 46 e 47.

O advogado e matemático francês Pierre de Fermat nasceu em 1601. Ele trabalhou na University of Toulouse, antes de se mudar para Bordeaux, quando estava com vinte e poucos anos. Ele era fluente em latim, grego, italiano e espanhol, e bem reconhecido por seus versos escritos em diversas línguas. Em 1629, ele produziu um trabalho importante sobre as ideias acerca de máximos e mínimos, que acabou sendo útil para Newton, assim como para Leibniz, ao desenvolverem o cálculo independentemente. Em correspondência com Blaise Pascal, em 1654, Fermat ajudou a estabelecer os fundamentos da teoria das probabilidades.



Para os matemáticos, Fermat é mais lembrado por seu famoso "último teorema", um caso especial que estabelece

que a soma dos cubos de dois números inteiros não pode ser o cubo de outro número inteiro. Por mais de 300 anos, os matemáticos ficaram atormentados com uma nota de margem de página escrita em latim em um dos livros de Fermat, que pode ser traduzida como "Eu tenho uma prova verdadeiramente maravilhosa desta proposição, a qual esta margem é pequena demais para conter". Somente em 1994 o teorema foi provado (por Andrew Wiles, da Princeton University, EUA), usando métodos que não estavam disponíveis para Fermat, de modo que parece improvável que Fermat realmente tivesse uma prova dele. Isso não diminui o gênio que ele manifestou de outras maneiras.

Fermat tinha uma maneira única de descobrir a trajetória da luz. Ele estabeleceu que, entre todos os possíveis caminhos que a luz pode percorrer de um ponto a outro, ela percorrerá de fato aquele que requer o menor tempo. A reflexão e a refração, os principais assuntos do próximo capítulo, podem ser elegantemente compreendidas com este princípio.

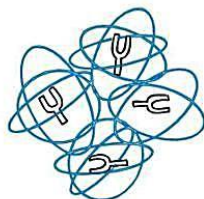


FIGURA 28.1
A luz interage com os átomos assim como o som interage com diapasões tipo forquilha.

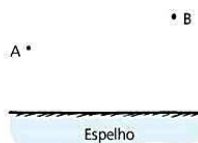


FIGURA 28.2

28.1 Reflexão

A maior parte das coisas que vemos ao nosso redor não emitem luz própria. Elas são visíveis porque reemitem a luz que incide em suas superfícies, vinda de uma fonte primária, como o Sol ou uma lâmpada, ou de uma fonte secundária, tal como o céu iluminado. Quando a luz incide na superfície de um material, ou ela é reemitida sem que ocorra alteração na sua frequência, ou é absorvida por ele e o aquece.¹ Dizemos que a luz é *refletida* quando ela retorna ao meio de onde veio – o processo é chamado de **reflexão**.

Quando esta página é iluminada com a luz solar ou de um lâmpão, os elétrons dos átomos do papel e da tinta passam a oscilar mais energeticamente em resposta às oscilações dos campos elétricos da luz incidente. Os elétrons energizados, então, reemitem a luz que torna possível enxergar a página. Quando a página é iluminada com luz branca, o papel aparece como branco, o que mostra que os elétrons reemitem todas as frequências visíveis. Ocorre muito pouca absorção. Com a tinta, a história é diferente. Exceto por um pouco de reflexão, ela absorve todas as frequências visíveis e, portanto, aparece como preta.

O princípio do mínimo tempo²

A ideia de que a luz segue o caminho mais rápido ao ir de um ponto a outro, como mencionado anteriormente, foi formulada por Pierre Fermat. Essa ideia agora é conhecida como **princípio de Fermat do mínimo tempo**.

Podemos compreender a reflexão empregando o princípio de Fermat do mínimo tempo. Considere a seguinte situação: na Figura 28.2, vemos dois pontos, A e B, com um espelho comum abaixo deles. Como podemos ir de A até B o mais rápido possível, isto é, no mínimo tempo? A resposta é muito simples – indo em

¹ Outro destino para a luz incidente, menos comum, é absorção seguida de reemissão numa frequência mais baixa – o que se chama de fluorescência (Capítulo 30).

² Este material e o de muitos exemplos do princípio de mínimo tempo foram adaptados da obra de R. P. Feynman, R. B. Leighton e M. Sands, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. 1, Cap. 26 (Reading, MA: Addison-Wesley, 1963).

linha reta de A até B! Mas se acrescentarmos a condição de que a luz deve incidir sobre o espelho ao ir de A até B no mínimo tempo, a resposta não é tão fácil assim. Seria necessário ir tão rápido quanto possível de A até o espelho, e daí para B, como mostrado pelas linhas sólidas na Figura 28.3. Isto resulta num caminho curto até o espelho, mas em um caminho muito comprido do espelho até B. Se, em vez disso, considerarmos um ponto sobre o espelho um pouco mais para a direita do anterior, aumentaremos ligeiramente a primeira distância, mas diminuiremos consideravelmente a segunda, de modo que o comprimento do caminho total mostrado pelas linhas tracejadas é menor – e, portanto, o tempo de propagação também. Como podemos encontrar o ponto exato de incidência sobre o espelho para o qual o tempo total é o mais curto possível? Podemos encontrá-lo empregando um truque geométrico muito interessante.

Marcamos um ponto artificial, B' , no outro lado do espelho, a uma distância abaixo do mesmo igual à distância do ponto B até o espelho (Figura 28.4). A distância mais curta entre A e este ponto artificial B' é muito simples de determinar: trata-se de uma linha reta. Agora esta linha reta intercepta o espelho no ponto C, o ponto preciso de reflexão para se ter o caminho mais curto e, daí, o caminho de mínimo tempo para transmissão luminosa de A para B. Um exame cuidadoso mostrará que a distância entre C e B é igual à distância entre C e B' . Vemos que o caminho de A até B' , passando por C, é igual ao comprimento do caminho que vai de A até B “ricochetando” em C.

Uma inspeção adicional das Figuras 28.4 e 28.5 e um pouco de raciocínio geométrico mostrará que o ângulo da luz incidente de A para C é igual ao ângulo de reflexão de C para B.

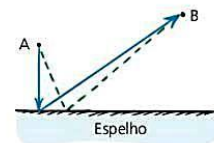


FIGURA 28.3

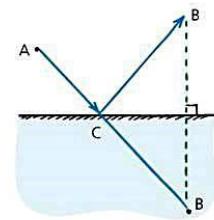


FIGURA 28.4

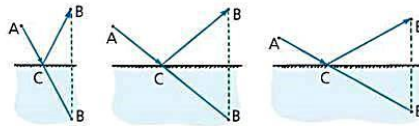


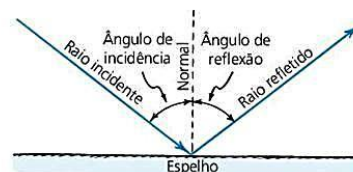
FIGURA 28.5

28.2 Lei da reflexão

Como mostrou Fermat, o ângulo de incidência da luz será igual ao ângulo de reflexão da luz. Esta é a **lei da reflexão**, que vale para todos os valores de ângulo (Figura 28.5):

O ângulo de incidência é sempre igual ao ângulo de reflexão.

A lei da reflexão é ilustrada na Figura 28.6, com setas que representam os raios de luz. Em vez de medir os ângulos dos raios incidentes e refletidos da superfície refletora, é costume medi-los em relação a uma linha perpendicular ao plano da superfície refletora. Essa linha imaginária é chamada de *normal*. O raio incidente, a normal e o raio refletido pertencem todos ao mesmo plano. Esse tipo de reflexão em uma superfície lisa é chamado de reflexão *especular*. Os espelhos produzem excelentes reflexões especulares.



O revestimento branco de telhados refletem de volta cerca de 85% da luz incidente, o que, em dias quentes de verão, reduz em muito os custos com ar-condicionado e as emissões de carbono. Em dias frios de inverno, quando o calor é desejável, todavia, isso não é uma boa ideia. Mas para regiões de verões quentes e invernos amenos, pinte seu telhado de branco! (Como mencionado no Capítulo 27, também existem para isso tintas marrons resfriantes que ajudam refletindo luz infravermelha.)



SCREENCAST: Reflection

FIGURA 28.6
A lei da reflexão.

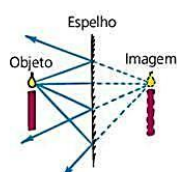
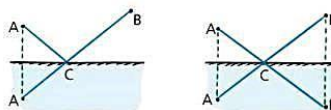
Figura 46: Página 521 do livro “FÍSICA CONCEITUAL – 12ª Edição”.

PAUSA PARA TESTE

Os pontos artificiais B', marcados nas figuras 28.4 e 28.5, mostram como a luz encontra o ponto C na reflexão que a leva de A até B. Por meio de uma construção similar, mostre que a luz originada em B e refletida para A também é refletida no mesmo ponto C.

VERIFIQUE SUA RESPOSTA

Marque um ponto artificial A' abaixo do espelho, a uma distância deste que é igual à distância que o ponto A guarda do espelho; então trace uma linha reta de B até A' para encontrar C, como mostrado na parte esquerda da figura. Ambas as construções foram superpostas, no lado direito da figura, o que mostra que C é um ponto comum a ambas. Vemos que a luz seguirá o mesmo caminho que seguiria se fosse no sentido oposto. Sempre que você enxergar os olhos de outra pessoa no espelho, pode estar certo de que ela também estará enxergando os seus.

**FIGURA 28.7**

Uma imagem virtual é formada atrás do espelho, localizada numa posição para a qual convergem os prolongamentos dos raios refletidos (as linhas tracejadas).

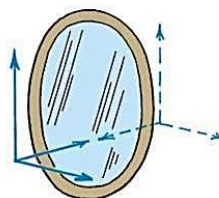
FIGURA 28.8

A imagem de Marjorie se encontra atrás do espelho, a uma distância igual à distância entre ela própria e o espelho. Observe que ela e a sua imagem apresentam a mesma cor para as roupas – uma evidência de que a luz não tem sua frequência alterada ao ser refletida. Curiosamente, seu eixo de orientação esquerda-direita não é invertido, assim como o eixo vertical, orientado de baixo para cima. O eixo que está invertido, como mostrado na figura da direita, é o eixo horizontal que vai da parte frontal de Marjorie para a parte posterior a ela. É por isso que a face de sua mão esquerda está de frente para a face da mão direita da imagem.

Espelhos planos

Suponha que a chama de uma vela esteja localizada à frente de um espelho plano. Os raios de luz são emitidos da chama, em todas as possíveis direções. Na Figura 28.7, são mostrados apenas quatro de um número infinito de raios que saem de um número infinito de pontos da chama. Esses raios divergem a partir da chama da vela e incidem no espelho, onde são refletidos em ângulos iguais aos seus ângulos de incidência. Os raios, então, divergem a partir do espelho e parecem emanar de um ponto particular situado atrás do espelho (onde se interceptam as linhas tracejadas). Um observador enxerga a imagem da chama como estando neste ponto. Mas os raios de luz não provêm realmente deste ponto, razão pela qual a imagem é denominada uma *imagem virtual*. A imagem está atrás do espelho e tão distante dele quanto o objeto está do espelho, sendo que a imagem e o objeto têm o mesmo tamanho. Quando você se olha no espelho, por exemplo, o tamanho de sua imagem é o mesmo que teria seu irmão gêmeo se ele estivesse localizado atrás do espelho, a uma distância do mesmo igual àquela que você próprio guarda do espelho, na frente dele – desde que a superfície do espelho seja plana (chamamos de *espelho plano* um desse tipo).

Quando o espelho é curvo, os tamanhos e as distâncias do objeto e da imagem até ele não são mais iguais. Não abordaremos os espelhos curvos neste livro, exceto para dizer que a lei da reflexão continua sendo válida neste caso também. Um espelho curvo comporta-se como se fosse formado por uma sucessão de espelhos pla-



nos, cada um deles com uma orientação ligeiramente diferente. Em cada ponto, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (Figura 28.9). Observe que num espelho curvo, diferentemente do que ocorre em um plano, as normais (mostradas pelas linhas pretas tracejadas do lado esquerdo do espelho) em diferentes pontos da superfície não são paralelas entre si.



VIDEO: Image Formation in a Mirror

Figura 47: Página 522 e parte da página 523 do livro "FÍSICA CONCEITUAL - 12ª Edição".

FORMAÇÃO DE IMAGENS EM ESPELHOS PLANOS.

ATIVIDADE 01: Nessa atividade serão mostradas a formação e localização de imagens em um espelho plano. Essa atividade será essencial para desenvolver os subsunções necessários à compreensão da ATIVIDADE 03 e da montagem da Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 48:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Dois objetos iguais (mesmo tamanho e características, por exemplo, duas pilhas), que sejam maiores que o espelho plano utilizado;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado.

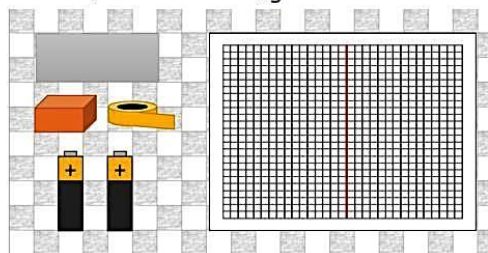


Figura 48: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 49 abaixo.

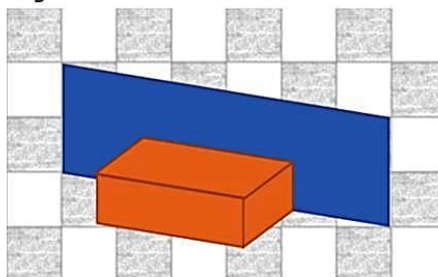


Figura 49: Espelho fixado no paralelepípedo.

- ✓ Posicionar o espelho no meio da folha de papel quadriculado (sobre a linha vermelha), como na figura 50 abaixo. Posicionar um objeto na frente do espelho, como mostrado na figura 51.

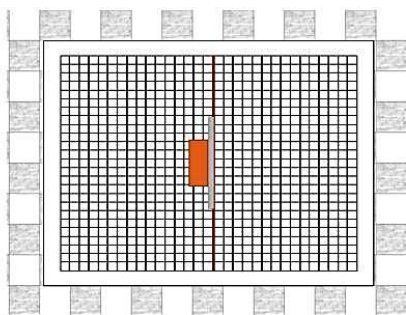


Figura 50: Primeira parte da montagem a ser realizada.

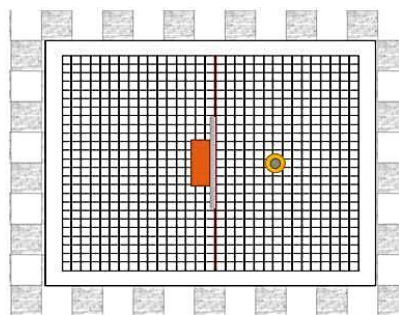


Figura 51: Segunda parte da montagem a ser realizada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: O que podemos observar refletido no espelho?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Quais as semelhanças entre o objeto colocado na frente do espelho e sua imagem refletida? É apenas na aparência? Em qual outro fator podemos dizer que ambos são semelhantes?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Qual a distância entre o objeto e o espelho? E qual é a distância entre a imagem do objeto e o espelho? (Você pode utilizar o papel quadriculado para facilitar a contagem).

Distância do objeto: _____ Distância da imagem: _____

- ✓ Agora, coloque atrás do espelho um segundo objeto, à mesma distância que você registrou entre a imagem do primeiro objeto e o espelho, como mostrado na figura 52.

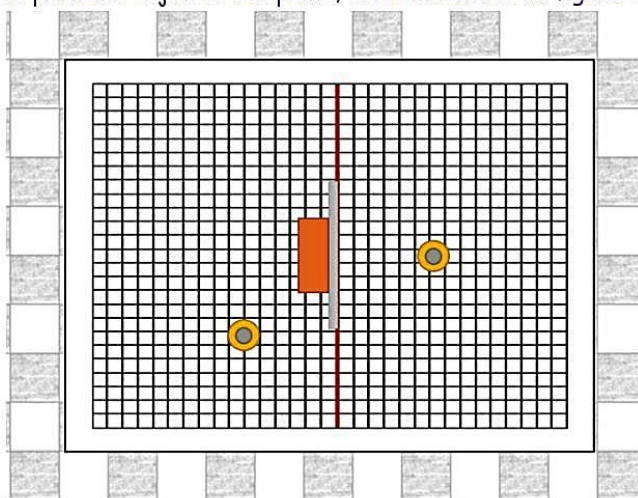


Figura 52: Segundo objeto posicionado atrás do espelho.

- ✓ É perceptível que os objetos utilizados são mais altos que o espelho que estamos utilizando. Agora, observe novamente, por de trás do primeiro objeto, a imagem deste refletida no espelho.
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: O que podemos perceber através dessa observação?
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Será que podemos criar uma ilusão de óptica através desta montagem?
- ✓ Agora, posicione novamente o objeto atrás do espelho de forma que ele esteja alinhado com o primeiro objeto na frente do espelho.
- ✓ Observar a imagem refletida do primeiro objeto e comente o que podemos observar.
- ❖ QUESTIONAMENTO 06: A partir das observações feitas anteriormente, que conclusões podemos tirar a respeito de formação de imagens em espelhos planos?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.

ATIVIDADE 02: Formação de imagens com dois espelhos planos para se entender a importância dos ângulos de posicionamento dos espelhos, em relação ao observador. Essa atividade será fundamental também para desenvolver subsunções necessários para entender a ATIVIDADE 03 e a Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 53:

- Dois espelhos planos com as mesmas proporções;
- Um objeto qualquer;
- Uma fita adesiva;
- Uma folha com a impressão de um transferidor.

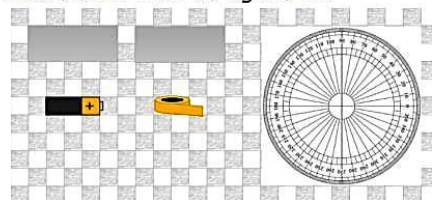


Figura 53: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 02.

MONTAGENS:

- ✓ Primeiramente, coloque as partes reflexivas dos espelhos frente a frente e os deixe alinhados.
- ✓ Com a fita adesiva, prenda os espelhos um no outro em apenas uma das laterais, como na figura 54 abaixo. O objetivo é permitir que estes espelhos, ao tentarem se separar, criem diversos ângulos possíveis entre eles.

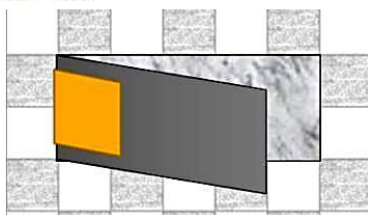


Figura 54: Espelhos juntos pela fita adesiva.

- ✓ Apoiar estes espelhos sobre a folha com o transferidor impresso. Mantenha a lateral com fita adesiva no centro do transferidor, como mostrado na figura 55 abaixo. Agora, coloque um objeto entre esses espelhos, de acordo com a figura 56.

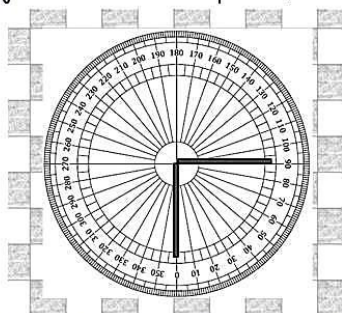


Figura 55: Espelhos juntos por fita adesiva, sobre o transferidor impresso.

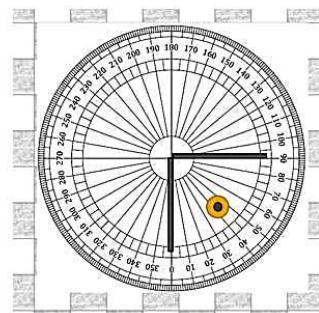


Figura 56: Objeto colocado entre os espelhos.

- ❖ QUESTIONAMENTO 06: Se temos um espelho, quantos reflexos podem ser observados? Agora, antes de olhar nos dois espelhos, quantos reflexos você espera ver neles?
- ✓ Mantendo os espelhos e o objeto na posição inicial, agora observe os dois espelhos e descreva o que consegue ver.
- ❖ QUESTIONAMENTO 07: Quantos reflexos nos espelhos você conseguiu ver? O que acontece se você aumentar a abertura entre os espelhos? O número de reflexos aumentou ou diminuiu? O que acontece se você mudar a sua posição em que você está observando os reflexos nos espelhos?
- ✓ Para conseguirmos prever quantos reflexos teremos para cada abertura, utilizaremos as seguintes montagens, mostradas na figura 57.

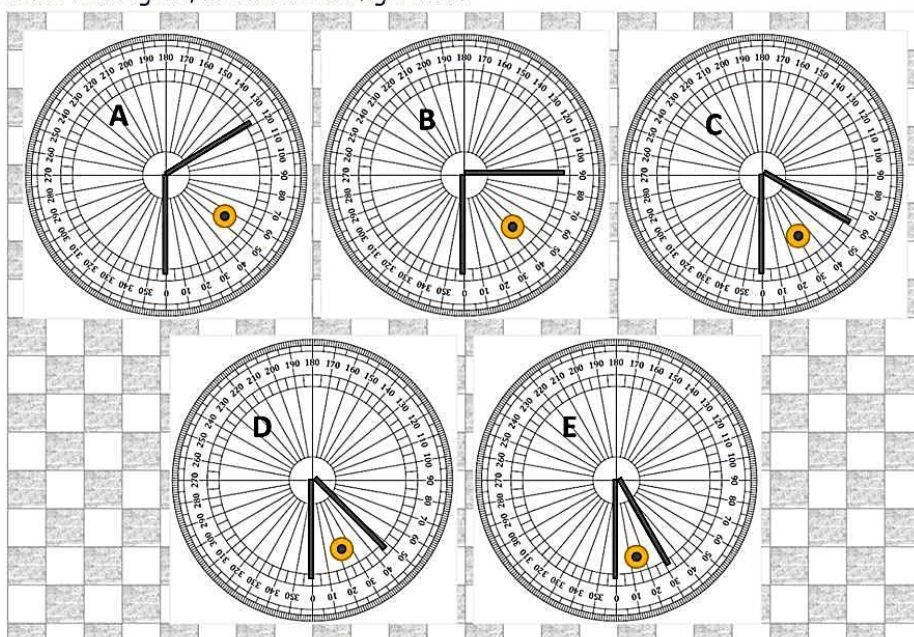


Figura 57: Posições propostas para os espelhos.

- ✓ Agora, com as suas observações preencha a tabela da figura 58.

Montagem	Ângulo	Nº de Objetos	Nº de Imagens
A			
B			
C			
D			
E			

Figura 58: Tabela para a anotação de dados.

- ❖ QUESTIONAMENTO 08: Quais deduções conseguiram tirar desses dados? Existe alguma relação matemática entre esses valores?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

[illegible]

ATIVIDADE 03: Arranjos com dois objetos e um espelho inclinado para mostrar como é formada a imagem no espetáculo de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais:

- Um espelho plano;
- Um suporte em formato de paralelepípedo;
- Três objetos iguais (mesmo tamanho e características);
- Uma fita adesiva;
- Uma folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e uma linha vermelha traçada na diagonal, de uma ponta a outra.

MONTAGEM:

- ✓ Fixar o suporte no espelho, com o intuito de manter o espelho na posição vertical (colocar figura), como mostrado na figura 59 abaixo.

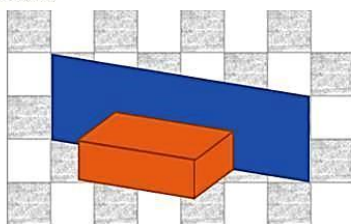


Figura 59: Espelho fixado no paralelepípedo.

- ✓ Realizar cada uma das montagens sobre a folha de papel quadriculado com linhas cruzadas em X e responder os questionamentos a seguir. Na figura 60 abaixo temos 4 montagens (da esquerda para direita): na montagem A temos as três pilhas; na montagem B temos duas pilhas em frente ao espelho; nas montagens C e D temos duas pilhas, uma na frente do espelho e outra atrás.

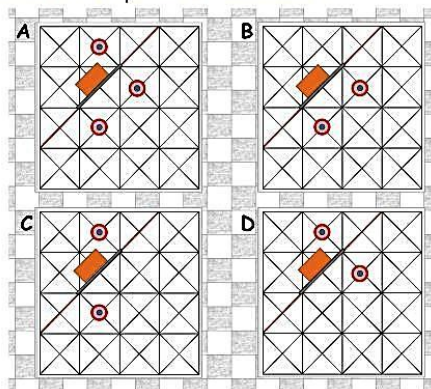


Figura 60: Uma montagem com o espelho e as três pilhas, e três montagens com um espelho e duas pilhas.

- ❖ QUESTIONAMENTO 09: Ao realizar a montagem A e observar os reflexos formados no espelho, o que é possível constatar?
- ❖ QUESTIONAMENTO 10: Agora remova a pilha 1 como na montagem B, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 11: Agora remova a pilha 2 como na montagem C, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 12: Agora remova a pilha 3 como na montagem D, e descreva o que aconteceu.
- ❖ QUESTIONAMENTO 13: Porque na montagem B não estranhamos a falta de um reflexo como na montagem C?
- ❖ QUESTIONAMENTO 14: Será que podemos tirar proveito de alguma dessas montagens para explicar o espetáculo Monga, a Mulher Macaco? Qual dessas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 15: Apenas espelhos podem nos propiciar reflexos? Poderíamos realizar esses mesmos experimentos com outra coisa que não seja um espelho?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

[illegible]

IV

CÁPÍTULO IV: "A ELETRODINÂMICA DO FANTASMA DE PEPPER"

INTRODUÇÃO TEÓRICA

A introdução teórica a seguir foi baseada no livro "FÍSICA CONCEITUAL - 11ª Edição - Capítulos 22 e 23 - Eletrostática^{xi} e Corrente Elétrica^{xii}" e no livro "Physics Fundamentals - 5th Edition^{xiii}".

CARGA ELÉTRICA

As partículas fundamentais que constituem a matéria comum são o elétron, o próton e o nêutron. Uma das características mais importantes das partículas fundamentais é a sua carga elétrica, sendo que sem ela é impossível estudar qualquer tipo de fenômeno elétrico. Denominamos de "negativa" a carga do elétron, de "positiva" a carga do próton e de "neutra" a carga do nêutron (partícula sem carga elétrica).

As cargas do elétron e do próton são equivalentes, tendo valores unitários e indivisíveis. Quando temos mais de uma carga é possível observar certos fenômenos de interação. Na figura 61 ao lado temos três momentos distintos: no primeiro verificamos um movimento de repulsão entre cargas positivas; no segundo verificamos um movimento de repulsão entre cargas negativas; e no terceiro verificamos um movimento de atração entre uma carga positiva e uma carga negativa. Portanto, podemos concluir que existe a seguinte propriedade básica: cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e cargas elétricas de sinais opostos se atraem.

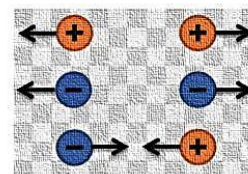


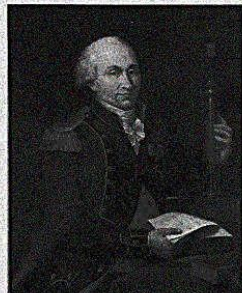
Figura 61: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas.

LEI DE COULOMB E FORÇA ELÉTRICA

A interação de atração e repulsão observada entre as cargas elétricas pode ser denominada de "força elétrica", cuja expressão matemática está mostrada na figura 62. Na figura 63 encontra-se uma breve biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

$$F = K \cdot \frac{Q_1 Q_2}{d^2}$$

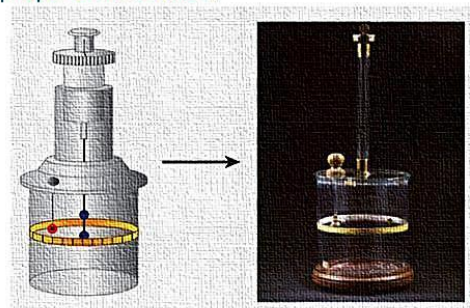
Figura 62: Relação matemática da Lei de Coulomb.

CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB	
	Físico francês mais conhecido por ter formulado a lei de Coulomb, afirmando que a força entre duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Essa força de interação tem um papel importante nas ligações atômicas. Coulomb passou nove anos nas Índias Ocidentais como engenheiro militar e retornou a França com problemas de saúde. Após a eclosão da Revolução Francesa, ele se retirou para uma pequena propriedade em Blois e dedicou-se à pesquisa científica. Em 1802 ele foi nomeado inspetor de instrução pública. Coulomb desenvolveu sua lei como uma consequência de suas tentativas de investigar a lei das repulsões elétricas, como afirmava o inglês Joseph Priestley. Para esse fim, inventou aparelhos sensíveis para medir as forças elétricas envolvidas nas investigações de Priestley e publicou suas descobertas entre 1785-89. Também estabeleceu a lei do inverso do quadrado de atração e repulsão entre polos magnéticos diferentes e semelhantes, que se tornou a base para a teoria matemática das forças magnéticas desenvolvidas por Siméon-Denis Poisson. Ele também fez pesquisas sobre o atrito em máquinas, moinhos de vento e a elasticidade das fibras de metal e seda. O Coulomb, uma unidade de carga elétrica foi, nomeado em sua homenagem.
Nasceu em 14/06/1736 (Angoulême, França) e faleceu em 23/08/1806 (Paris, França).	

Figura^{xiii} 63: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Charles-Augustin de Coulomb.

A lei que determina as características da força elétrica entre cargas em repouso foi obtida no século XVIII por Charles Coulomb, através de uma balança de torção, mostrada na figura 64. No experimento feito com essa balança surgem dois torques: o primeiro torque é devido à força elétrica entre duas cargas em repouso; o segundo torque, que se opõe ao primeiro, é devido ao fio ligado à barra da balança de torção. Quando esses dois torques atingem o mesmo valor, a barra da balança de torção para de girar, entrando em equilíbrio. Igualando-se os valores dos torques na

situação de equilíbrio, é possível obter uma expressão para a constante de proporcionalidade K.



Figura^{xxiii} 64: À esquerda uma ilustração da balança de torção e à direita uma foto de uma balança de torção.

CAMPO ELÉTRICO

Quando um corpo está carregado eletricamente, na região do espaço entorno dele atua uma força elétrica F que pode ser atrativa ou repulsiva. Se uma carga de prova q se aproximar da região em que se encontra esse corpo, ela sofrerá a ação da força F . Denomina-se campo elétrico a grandeza física calculada através da equação apresentada na figura 65, ao lado.

$$E = \frac{F}{q}$$

Figura 65: Equação do campo elétrico.

Para se visualizar a ação do campo elétrico em uma região do espaço entorno de um corpo carregado eletricamente, utilizam-se "linhas de força", que foram introduzidas por Michael Faraday, na primeira metade do século XIX. Na figura 66 são mostradas as linhas de força de cargas pontuais, positiva e negativa. Leia a breve biografia deste físico experimental inglês na figura 67.

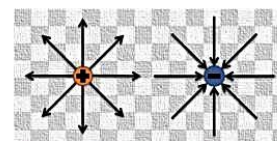


Figura 66: Linhas de força de cargas pontuais.

MICHAEL FARADAY		
	Nasceu em 22/09/1791 (Surrey, Inglaterra) e faleceu em 25/08/1867 (Surrey, Inglaterra). Físico-químico inglês cujas muitas experiências contribuíram enormemente para a compreensão do eletromagnetismo. Faraday, que se tornou um dos maiores cientistas do século XIX, começou sua carreira como químico. Ele escreveu um manual de química prática, que revela seu grande domínio dos aspectos técnicos de sua "arte", descobriu uma série de novos compostos orgânicos, entre eles o benzeno, e foi o primeiro a liquefazer um gás "permanentemente" (isto é, um que acreditava-se ser incapaz de liquefação).	Suas principais contribuições, no entanto, foram no campo da eletricidade e do magnetismo. Ele foi o primeiro a produzir uma corrente elétrica a partir de um campo magnético; inventou o primeiro motor e dínamo elétrico; encontrou uma relação entre a eletricidade e as ligações químicas; descobriu e identificou os efeitos do magnetismo na luz; e descobriu o diamagnetismo, comportamento peculiar de certas substâncias em campos magnéticos fortes. Ele forneceu a base experimental e boa parte da base teórica sobre a qual James Clerk Maxwell ergueu a teoria clássica dos Campos eletromagnéticos.

Figura^{xxiv} 67: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Michael Faraday.

Pode-se verificar pela figura 61, que, no caso da carga pontual positiva, as linhas de força radiais apontam em um sentido para fora da carga; enquanto que no caso da carga pontual negativa, as linhas de força radiais apontam em um sentido voltado para a carga. Através das linhas de força relacionadas a um corpo carregado eletricamente, podem-se obter as características do campo elétrico gerado por este corpo, que são descritas a seguir. Primeira característica: o campo elétrico em um determinado ponto P é dado por um vetor tangente à linha de força que passa por este ponto P, como indicado na figura 68 (VETOR CAMPO ELETRICO DE UMA CARGA PONTUAL NO PONTO P). Segunda característica: na região em que as linhas de força radiais estão mais próximas entre si, o campo elétrico é mais intenso; enquanto que na região em que as linhas de campo radiais estão mais afastadas entre si, o campo elétrico é menos intenso, figura 69.

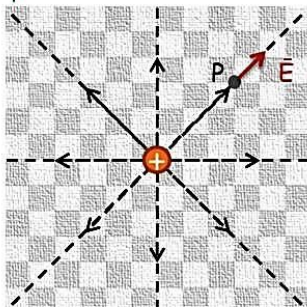


Figura 68: Campo elétrico tangente à linha de força

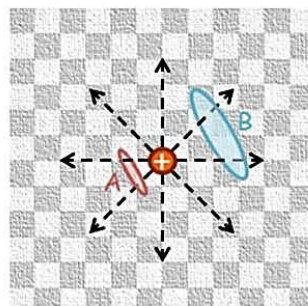


Figura 69: Na região A o campo elétrico é mais intenso que na região B, devido à proximidade das linhas de força

VARIAÇÃO DE ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA & ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

É chamada de "energia potencial elétrica" a energia devida à localização de uma partícula carregada. Ao se alterar a posição desta partícula, será realizado sobre ela um trabalho e , deste modo, a partícula acumulará uma energia potencial elétrica. Na figura 70 ao lado, a partícula com carga positiva está em uma posição inicial muito distante da placa carregada negativamente. A partícula será atraída para uma posição final bem próxima da placa. Para que ocorra essa mudança de posição da partícula, a força elétrica (relacionada com o campo elétrico da placa) realiza um trabalho sobre a partícula. Esse trabalho é transformado em energia potencial elétrica da partícula.

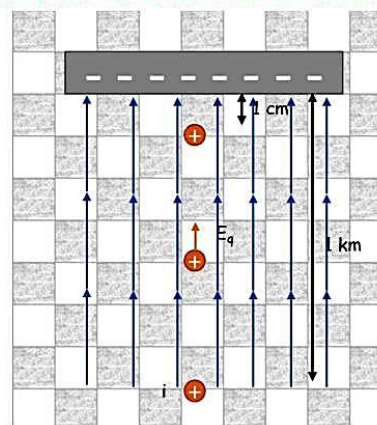


Figura 70; Partícula positiva sendo atraída pela placa carregada negativamente.

POTENCIAL ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP, TENSÃO OU VOLTAGEM)

O conceito de energia potencial elétrica por unidade de carga é conhecido como potencial elétrico. É possível expressar uma relação matemática, mostrada na figura 71, entre a energia potencial elétrica e o potencial elétrico. A unidade mais comum para o potencial elétrico é o volt (V), sendo que 1 V é igual a 1 joule (J) de energia por 1 Coulomb (C) de carga. Pela equação da figura 71 pode-se concluir que: se a energia potencial elétrica for multiplicada por uma determinada constante K e, ao mesmo tempo, a carga for multiplicada pela mesma constante, o valor do potencial elétrico permanecerá constante.

$$\text{Potencial Elétrico (V)} = \frac{\text{Energia Potencial Elétrica (J)}}{\text{Carga (C)}}$$

Figura 71: Relação matemática entre potencial elétrico, energia potencial elétrica e carga.

FLUXO DE CARGA E CORRENTE ELÉTRICA

Considere que os elétrons livres de condução em um tubo cilíndrico de material condutor como, por exemplo, o cobre, estejam se movimentando aleatoriamente, como indicado na figura 72. Nesse caso, o fluxo resultante de cargas através da seção reta do tubo é nulo.

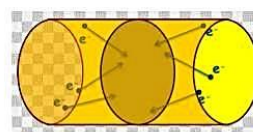


Figura 72: Elétrons livres em movimento aleatório dentro de um fio condutor

Agora, ligue o tubo cilíndrico de cobre a uma bateria, como indicado na figura XX. Quando a bateria está ligada, uma diferença de potencial V se estabelece entre as extremidades do tubo. Desse modo, um campo elétrico E atuará sobre os elétrons de condução do cobre atraindo-os em direção ao polo positivo da bateria, o que dá origem a um fluxo resultante de elétrons, da esquerda para a direita. Esse fluxo resultante é definido como uma corrente elétrica. O sentido convencional da corrente elétrica i está indicado na figura XXI. Pode-se observar que o sentido convencional da corrente elétrica i é contrário ao do sentido que a corrente de elétrons possui. Isso ocorre porque existe a seguinte convenção internacional: o sentido convencional da corrente elétrica i é dado pelo sentido do movimento de portadores de carga positiva. Se os portadores de carga no tubo cilíndrico fossem positivos, eles seriam atraídos pelo polo negativo da bateria e, portanto, se movimentariam num sentido contrário ao dos elétrons de condução.

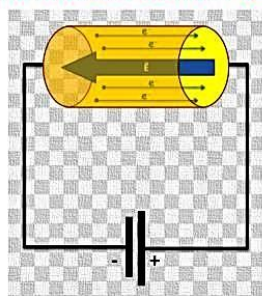


Figura 73: Movimento ordenado das partículas negativas dentro do condutor, devido ao campo que surge da diferença de potencial.



Figura 74: Sentido convencional da corrente.

RESISTÊNCIA ELÉTRICA: DEFINIÇÃO E RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA E RESISTIVIDADE

Para a produção de uma corrente elétrica é necessário o uso de uma bateria ou um gerador. A quantidade de corrente depende não apenas da tensão, mas também da resistência elétrica que o condutor oferece ao fluxo de cargas. Na figura 75 ao lado, temos a relação matemática que define a resistência R . Nessa relação, V é a tensão e i é a corrente elétrica. A unidade de resistência elétrica é o Ohm (Ω), em homenagem ao físico Ohm. Na figura tal encontra-se uma breve biografia desse cientista. É importante salientar que a resistência elétrica é uma propriedade do **objeto** através do qual passa a corrente. Existe outra propriedade importante que é característica do **material**, que é a resistividade ρ . A resistividade de um material é definida pela expressão matemática da figura 76. Nessa relação matemática, E é o campo elétrico e J é a densidade de corrente elétrica, isto é, corrente por unidade de área, como demonstrado na figura 77.

$$R = \frac{V}{i}$$

Figura 75: Relação matemática que define a resistência R

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Figura 76: Relação matemática que define a resistividade de um material.

$$J = \frac{i}{A}$$

Figura 77: Relação matemática que define a densidade de corrente elétrica.

GEORGE SIMON OHM		
	Nasceu em 16/03/1789 (Erlangen, Alemanha) e faleceu em 06/07/1854 (Munich, Alemanha)	Embora seu trabalho tenha influenciado bastante a teoria e as aplicações da eletricidade atual, foi tão friamente recebido que Ohm renunciou o cargo em Colônia. Ele aceitou um cargo na Escola Politécnica de Nurnberg em 1833. Finalmente, seu trabalho começou a ser reconhecido: em 1841, recebeu uma Medalha Copley da Royal Society de Londres e tornou-se membro estrangeiro um ano depois. O ohm, a unidade física que mede a resistência elétrica, também recebeu o nome dele.
	Físico alemão que descobriu a lei, nomeada em sua homenagem, que afirma que: o fluxo de corrente através de um condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial (tensão) e inversamente proporcional à resistência. Ohm tornou-se professor de matemática do Colégio dos Jesuítas de Colônia em 1817. O aspecto mais importante da lei de Ohm está resumido em seu panfleto "Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet" (1827: o circuito galvânico investigado matematicamente).	

Figura^{xxv} 78: Tradução livre e adaptação para o português da biografia de Georg Simon Ohm.

A unidade de resistividade é $\Omega.m$. Pode-se mostrar, matematicamente, que entre a resistência R de um objeto e a resistividade ρ do material existe a seguinte relação dada pela figura 79.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Figura 79: Relação matemática entre a resistência R de um objeto e as propriedades desse objeto (resistividade ρ , comprimento L e área de seção reta A).

Na ATIVIDADE 01 será feita uma demonstração experimental da validade dessa relação.

Um famoso caso em que a resistividade de um material foi negligenciada tornou-se um dos maiores acidentes aéreos da História. O acidente em questão foi a explosão da maior aeronave já construída pelo homem, o dirigível alemão Hindenburg. Segundo o laudo de peritos da época, os fatores que ocasionaram a explosão foram: uma das células de hidrogênio do dirigível estar danificada e o uso de uma pintura no tecido exterior do zeppelin com alta resistividade elétrica. A alta resistividade elétrica da pintura fez com que o tecido do zeppelin mantivesse o mesmo potencial elétrico da atmosfera numa altitude de 43 m. Quando o zeppelin, através de cordas molhadas pela chuva (que se tornaram um bom condutor de eletricidade), foi preso ao solo, devido à grande diferença de potencial entre o tecido do dirigível e as cordas (que ficaram com o mesmo potencial do solo), houve a descarga de cargas acumuladas na estrutura do dirigível, o que resultou em uma pequena faísca. Como o hidrogênio é muito inflamável, essa faísca causou uma pequena explosão que se alastrou para o resto da aeronave. Esse acidente repercutiu em todo o mundo, virando manchete em todos os grandes jornais da época. Abaixo, na figura 80, temos o título da notícia publicada pelo renomado jornal The New York Times.



Figura^{xxxvi} 80: Notícia do "The New York Times" referente a um dos maiores acidentes aéreo da história.

CIRCUITO SIMPLES COM RESISTÊNCIA VARIÁVEL.

ATIVIDADE 01: Montagem de um circuito simples com resistência variável, para desenvolver os subsunçores relacionados com os conceitos de corrente, tensão ou voltagem, resistência e resistividade.

Para a realizarmos precisaremos dos seguintes materiais, ilustrados na figura 80:

- Um pedaço de papelão (30 cm X 6 cm);
- Dois LEDs; duas pilhas AA;
- Um suporte para pilhas AA;
- Aproximadamente 50 cm de fio condutor;
- Fita adesiva;
- Dois cotonetes;
- Tinta esmalte incolor (60 ml);
- Grafite em pó (25gr).
- Uma tampa de refrigerante.



Figura 81: Ilustração dos materiais propostos para a ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Utilizando a fita adesiva, faça duas trincheiras no pedaço de papelão: uma com aproximadamente 1 cm de espessura e a outra com a menor espessura possível, como mostrado na figura 81.



Figura 82: Fita adesiva colada no papelão, formando uma trincheira mais larga e outra mais fina.

- ✓ Misture em um recipiente a tinta esmalte incolor e o pó de grafite. Ao fazer isso você conseguirá uma tinta de carbono, também conhecida como tinta condutiva. Colocar na tampa de refrigerante uma colherada dessa tinta.
- ✓ Com essa tinta condutiva e o cotonete, pinte as trincheiras que você criou com a fita adesiva, como na figura 82, e deixe secar (aproximadamente 10 minutos).



Figura 83: Pintura realizada sobre o papelão e a fita adesiva.

- ✓ Após a tinta secar, remova a fita adesiva com cuidado e ficará com algo semelhante à figura 83.



Figura 84: Papelão após a retirada da fita adesiva.

- ✓ Agora, coloque as pilhas no suporte. Pegue aproximadamente 20 cm de fio, prendendo uma parte do fio na saída positiva do suporte para pilhas. A outra parte do fio condutor deve ser presa em um LED (como o LED é um componente polarizado, respeite qual das pontas do fio e do LED você vai juntar) como mostrado na figura 84.

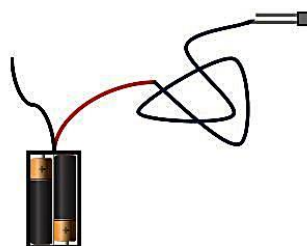


Figura 85: Montagem com o suporte para pilhas, o fio condutor e o LED.

- ✓ Tendo essas partes montadas, siga as montagens da figura 85 a seguir, preencha a tabela da figura 86 com o que é pedido e responda os questionamentos propostos. Observação: o fio vermelho com seta representa o fio com o LED anexado.

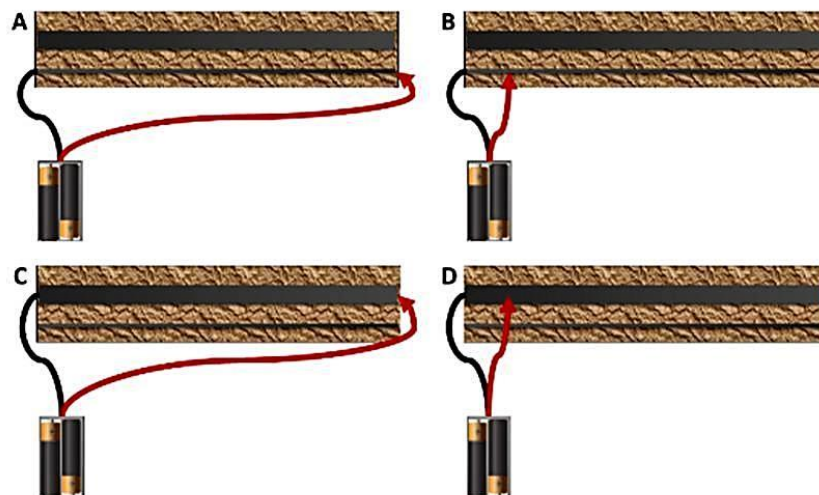


Figura 86: Montagem A com trincheira fina e comprida; montagem B com trincheira fina e curta; montagem C com trincheira grossa e comprida; montagem D com trincheira grossa e fina.

Comparando as montagens a seguir, em qual delas o LED brilha mais?				
Montagem	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

Figura 87: Tabela a ser preenchida com os dados das comparações a serem realizadas.

- ❖ QUESTIONAMENTO 01: Ao colocar a ponta solta do LED na parte pintada, o que acontece?
- ❖ QUESTIONAMENTO 02: Se formos comparar a luminosidade do LED entre A/B, em qual delas ele brilha mais? E se agora compararmos a luminosidade do LED entre C/D, em qual delas ele brilha mais? Quais relações pode-se tirar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 03: Agora faça a mesma comparação entre as montagens A/C? E entre as montagens B/D? Que relação pode-se determinar entre essas duas montagens?
- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Qual explicação pode-se propor para a comparação realizada nas montagens A/B e C/D? E na comparação entre A/C e B/D?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

[illegible]

ATIVIDADE 02: Montagem de um potenciômetro, como o que foi utilizado no aparato de Monga, a Mulher Macaco.

Para a realizarmos precisaremos de algumas das montagens realizadas na ATIVIDADE 01.

MONTAGENS:

- ✓ Fixe em cada lateral da trincheira mais fina a ponta referente ao polo positivo de cada LED, como na figura 87.

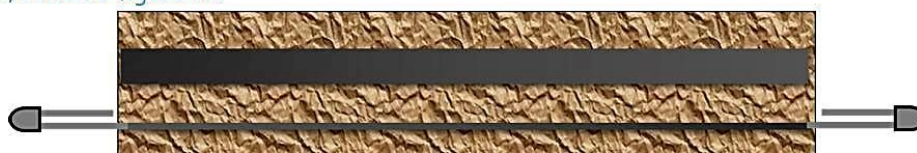


Figura 88: LEDs anexados as pontas da trincheira mais fina.

- ✓ Logo em seguida, utilizando o restante do fio condutor que sobrou, conecte-o às pontas negativas de cada um dos LEDs e, em seguida, conecte na saída negativa do suporte para pilhas, como mostrado na figura 88.

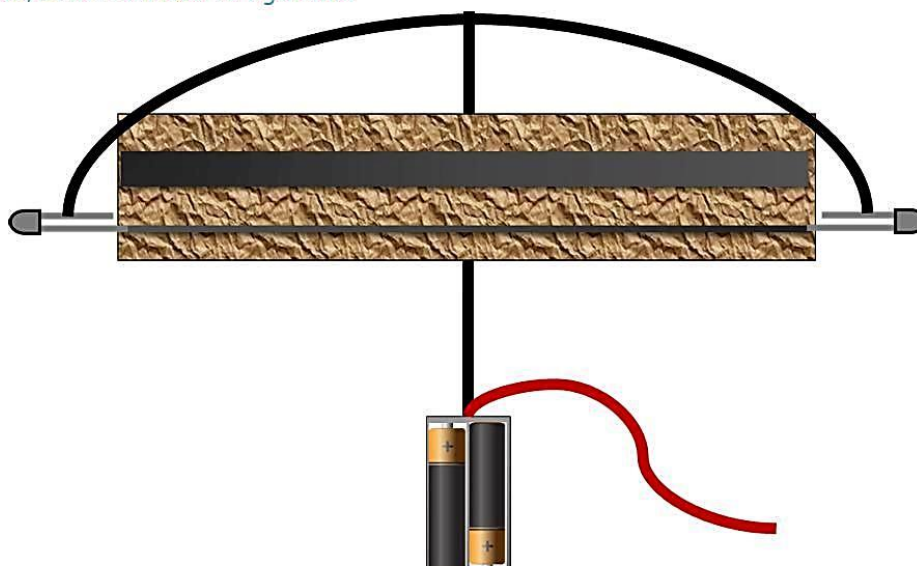
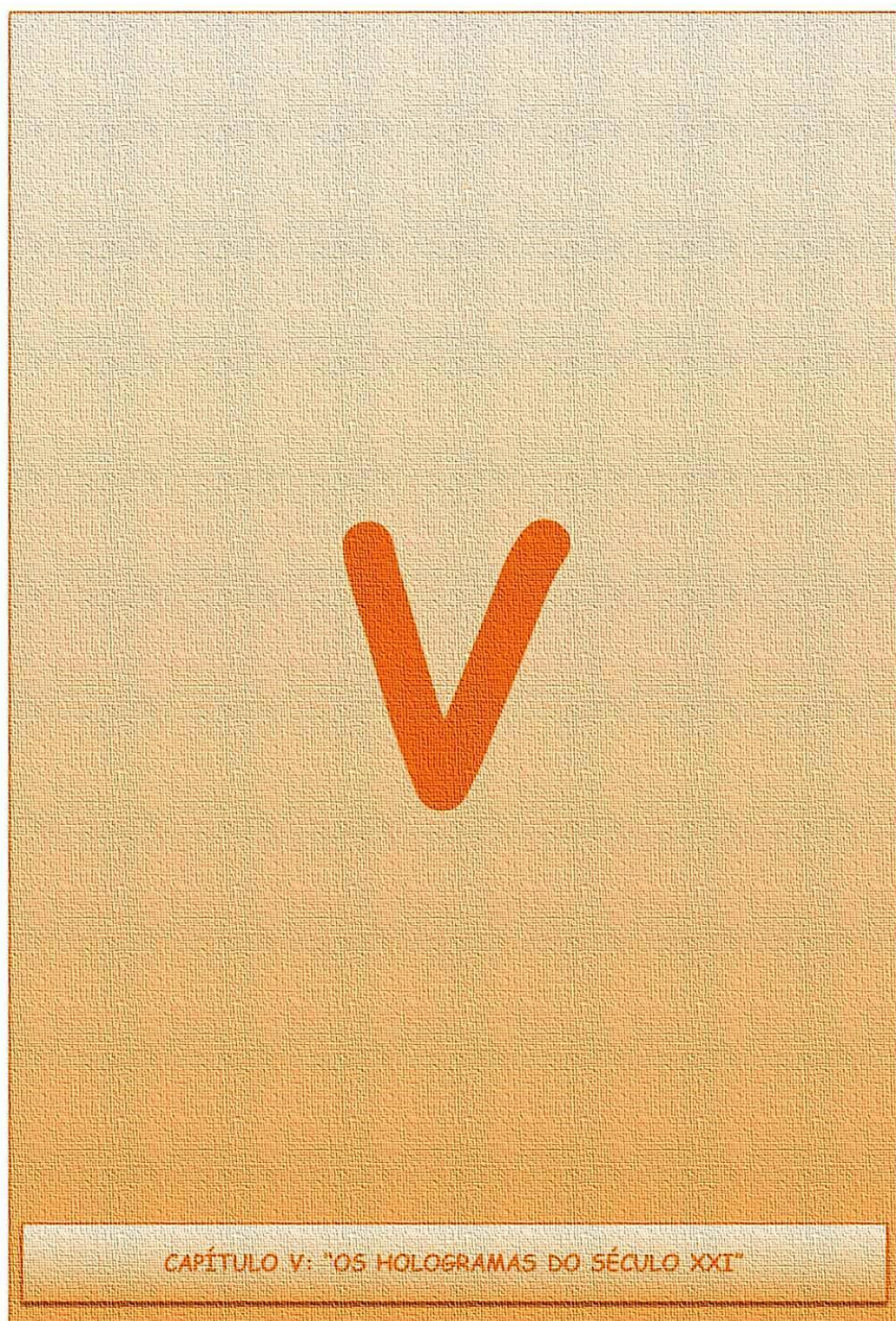


Figura 89: Potenciômetro com duas saídas e uma entrada.

- ❖ QUESTIONAMENTO 04: Ao colocar o fio vermelho na metade da trincheira mais fina, o que acontece com os LEDs? Agora aproxime o fio condutor vermelho de um dos LEDs e descreva o que aconteceu com a luminosidade deles.
- ❖ QUESTIONAMENTO 05: Por que isso acontece? Você consegue explicar isso utilizando os conceitos de corrente, tensão e resistência?

ESPAÇO PARA ANOTAÇÕES

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.



Utilizaremos este último capítulo como fechamento de todas as nossas atividades. Afim de verificar e utilizar os conhecimentos adquiridos pelos alunos nos capítulos anteriores, a ATIVIDADE 01 tem como objetivo fazer um novo mapa conceitual/mental sobre o tema HOLOGRAMA. Em seguida, por meio de um vídeo, serão introduzidas novas técnicas de holografia que seguem alguns dos princípios apresentados no Fantasma de Pepper. Nesse novo mapa podem ser incluídos o Fantasma de Pepper, os conceitos de óptica, conceitos de eletrodinâmica e alguns dos hologramas que surgiram no século XXI, além de hipóteses para explicar o funcionamento desses novos hologramas.

ATIVIDADE 01: Esta atividade tem como objetivo principal fazer com que os conceitos aprendidos em todos os capítulos anteriores se tornem novos subsunçores, que darão continuidade à expansão de conhecimentos por meio da introdução de novos temas e contextos.

- ✓ Escrever no centro de um papel sulfite "HOLOGRAMA" e, com os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores, montar um mapa conceitual/mental desse tema.
- ✓ Assistir o vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=ikuSPBZjkhw>

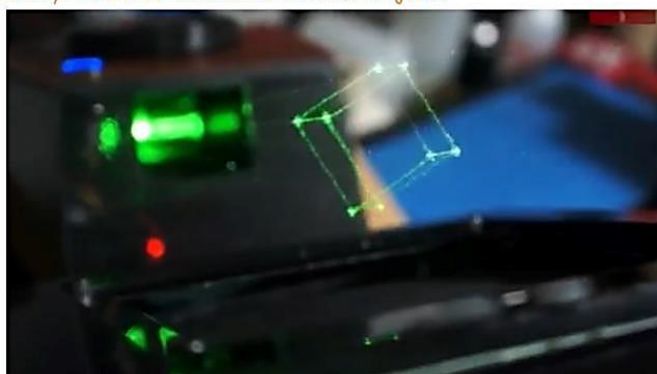


Figura 90: Trecho do vídeo "10 Most Advanced HologramS that are INSANE!".

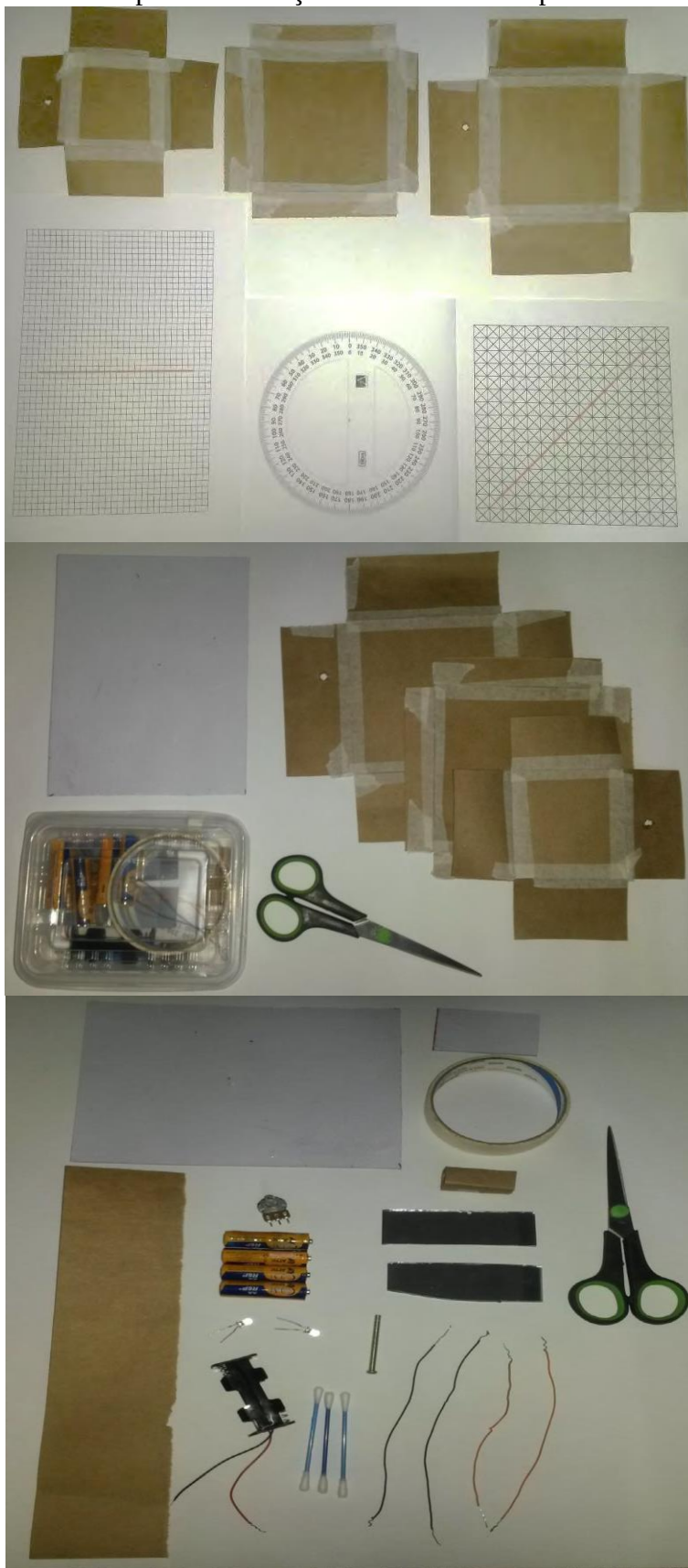
- ✓ Evidenciar, com o auxílio dos alunos, todos os tipos de hologramas apresentados no vídeo e anotá-los no quadro.
- ✓ Ao finalizar este novo mapa conceitual/mental, colocar nas bordas da folha o nome das técnicas de holografia, vistas no vídeo.
- ✓ Relacionar os conceitos colocados para o FANTASMA DE PEPPER que também podem estar envolvidos na produção de cada um dos hologramas do século XXI apresentados.

REFERÊNCIAS

- i Dicionário Michaelis. Holograma. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/busca?id=e33QW>
- ii Dennis Gabor. Holography, 1948-1971. Nobel Lecture, December 11, 1971. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/gabor-lecture.pdf>
- iii História da Holografia. Disponível em: <http://web.tecnico.ulisboa.pt/ist178691/cav/sample-page/>
- iv Wikipédia - Pepper's ghost. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Pepper's_ghost
- v Magia Naturalis - Natural Magick de Giambattista della Porta. Disponível em: <https://holybooks-lichtenbergpress.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Natural-Magick.pdf>
- vi Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Giambattista della Porta. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: janeiro 31, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Giambattista-della-Porta>
- vii Dictionary of National Biography, 1885-1900, Volume 15 - Dircks, Henry by Charles William Sutton. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_\(DNB00\)](https://en.wikisource.org/wiki/Dircks,_Henry_(DNB00))
- viii Dictionary of National Biography, 1901 supplement - Pepper, John Henry by Thomas Seccombe. Disponível em: [https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_\(DNB01\)](https://en.wikisource.org/wiki/Pepper,_John_Henry_(DNB01))
- ix 15 coincidências provam que o acaso gosta de brincar com nossos olhos. O reflexo cria a ilusão de alguém sentado no carro. Disponível em: <https://webcuriosos.com.br/2018/05/29/coincidencias-o-acaso/>
- x 10 reflexos de imagens mais curiosas da internet. Disponível em: <http://alhaquilo.blogspot.com/2016/12/10-reflexos-de-imagens-mais-curiosas-da.html>
- xi Janela Em Vidro Temperado Para Sala E Cozinha Verde Ou Fume. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1051764075-janela-em-vidro-temperado-para-sala-e-cozinha-verde-ou-fume-JM>
- xii Janela Blindex Vidro Temperado 1.50 X 1.00. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-882307126-janela-blindex-vidro-temperado-150-x-100-JM?quantity=1>
- xiii Física Animada - Imagem Virtual (Espelho Plano). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=sdEWuV6pt9E>
- xiv Pepper's Ghost - Halloween Ghosting by: James Hobson. October 6, 2013. Disponível em: <https://hackaday.com/2013/10/06/peppers-ghost-halloween-ghosting/>
- xv Monga, a verdadeira mulher-macaco Por Paulo Terron. Acessado em 31 out 2016, 18h36 - Publicado em 31 dez 2007, 22h00. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ciencia/monga-a-verdadeira-mulher-macaco/>
- xvi Julia Pastrana: Monga, a mulher macaco. Publicado por Eudes Bezerra 25/06/2014, atualizado em 16/03/2019. Disponível em: <https://incrivelhistoria.com.br/julia-pastrana-monga/>
- xvii IMDb - Lisbela e o Prisioneiro (2003). Disponível em: https://www.imdb.com/title/tt0367975/?ref_=fn_al_tt_1
- xviii HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011.
- xix HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 22. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xx HEWITT, Paul G. Física Conceitual - Cap. 23. 11. ed. Porto Alegre - Rs: Bookman, 2011. 743 p.
- xxi HALLIDAY, RESNICK, WALKER. Fundamentals of Physics. 5E. Extended. Wiley, 1997.
- xxii Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Charles-Augustin de Coulomb. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 19, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Augustin-de-Coulomb>
- xxiii Universia ENEM - Texto: Lei de Coulomb. Disponível em: <https://www.sistemanovi.com.br/basenovi/image/ConteudosDisciplinas/33/66/339/301639/balanca-torcao.png>
- xxiv Contributor: L. Pearce Williams. Article Title: Michael Faraday. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: agosto 21, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Michael-Faraday>
- xxv Contributor: The Editors of Encyclopædia Britannica. Article Title: Georg Ohm. Website Name: Encyclopædia Britannica. Publisher: Encyclopædia Britannica, inc. Date Published: julho 02, 2019. Access Date: setembro 11, 2019. URL: <https://www.britannica.com/biography/Georg-Ohm>
- xxvi OnThisDay - Hindenburg Burns in Lakehurst Crash; 21 Known Dead, 12 Missing; 64 Escape. Disponível em: <http://movies2.nytimes.com/learning/general/onthisday/big/0506.html>

APÊNDICE C: PRODUTO EDUCACIONAL – KIT EXPERIMENTAL

Materiais para a realização das atividades experimentais.



Fonte: Autor.

**APÊNDICE D: PRODUTO EDUCACIONAL – MÍDIA EM CD COM OS MATERIAIS
PARA AS AULAS PROPOSTAS**

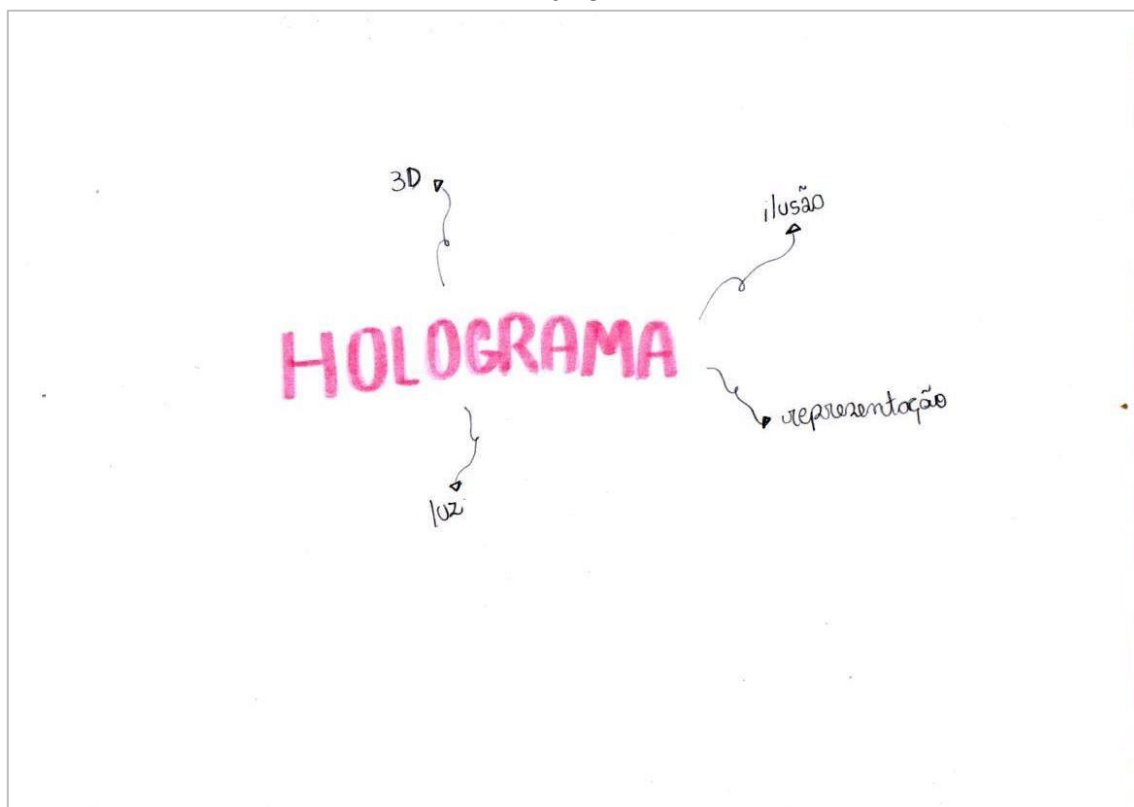


Link para download da mídia:

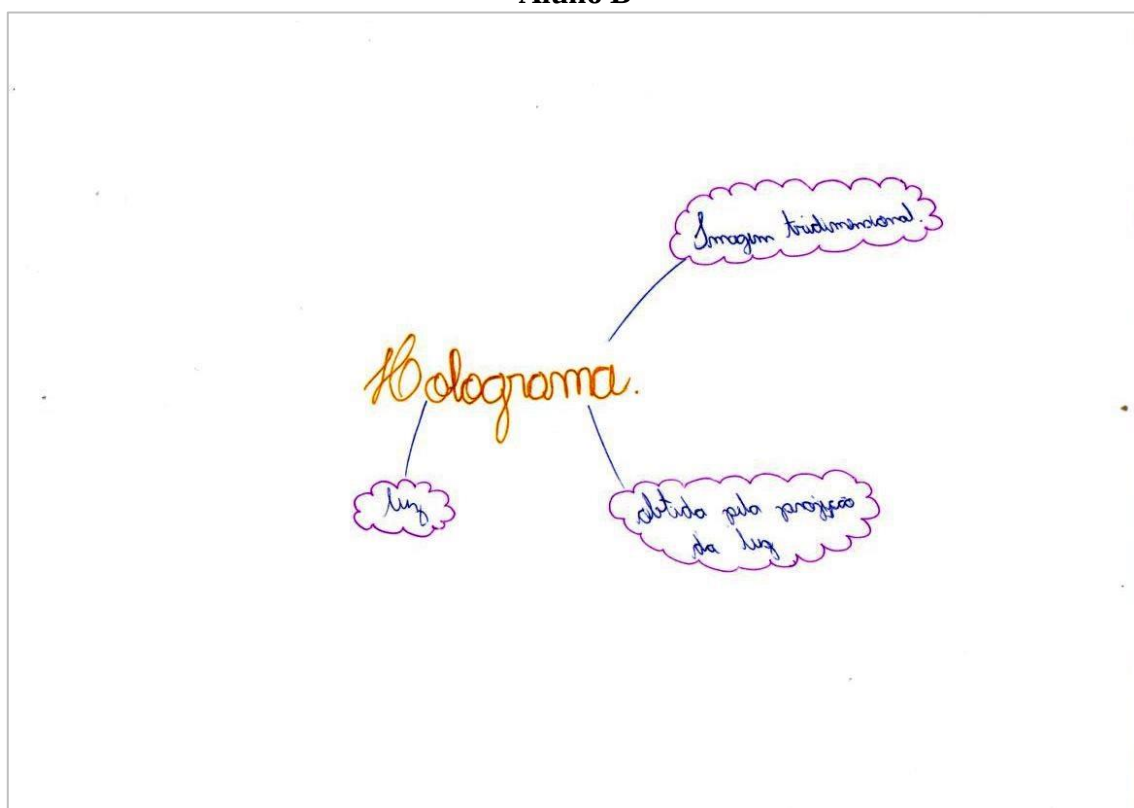
https://drive.google.com/drive/folders/1bBvwi7V0nrlCicX8BVqoT_7AVQm1CiyA?usp=sharing

APÊNDICE E: MAPAS MENTAIS PRÉVIOS

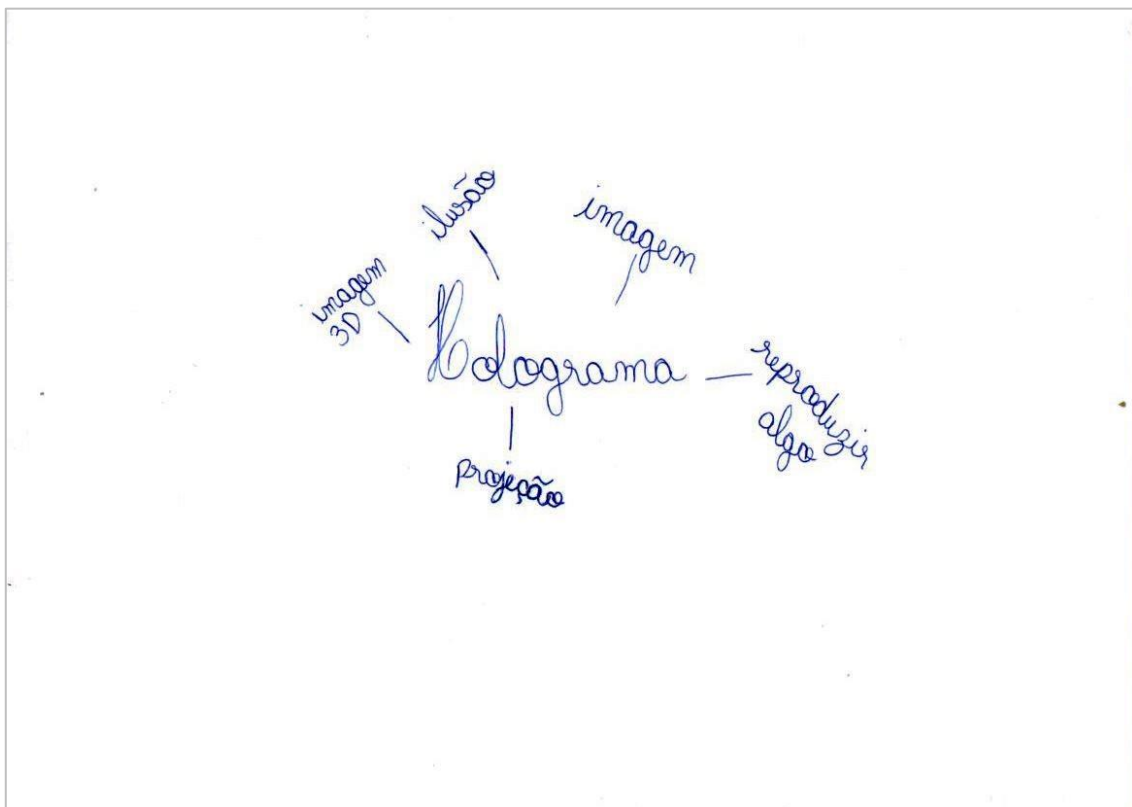
Aluno A



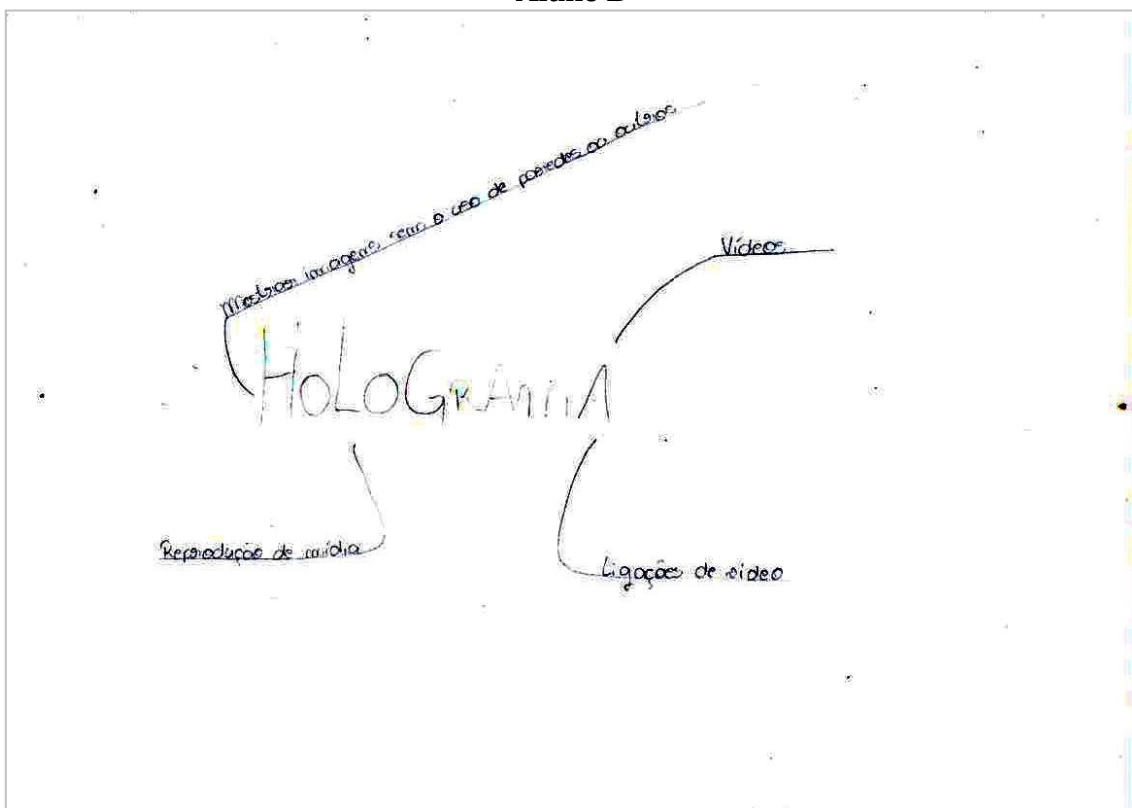
Aluno B



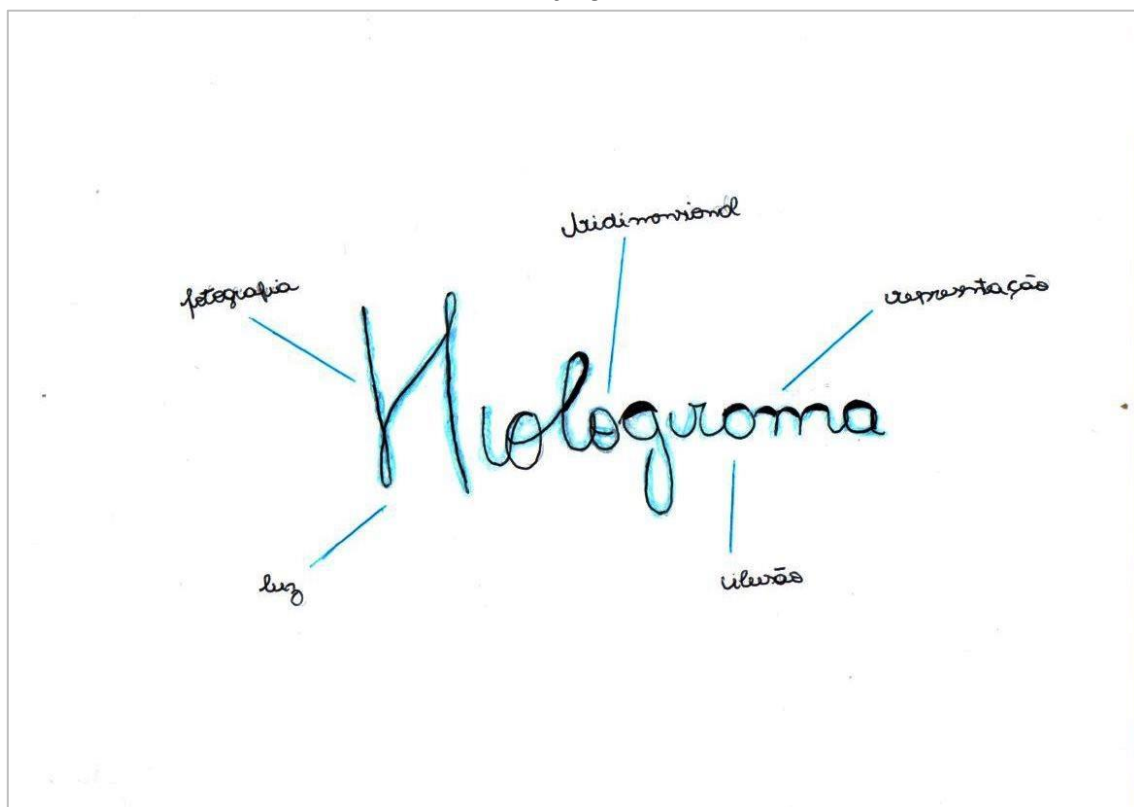
Aluno C



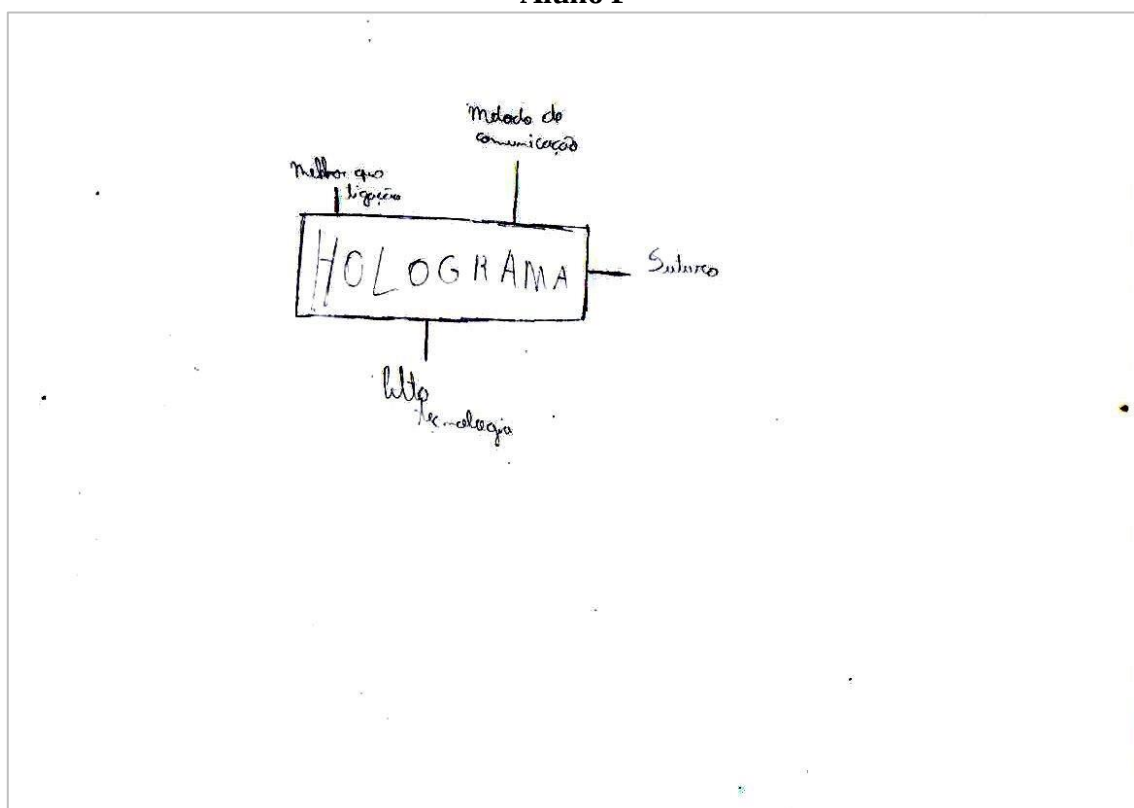
Aluno D



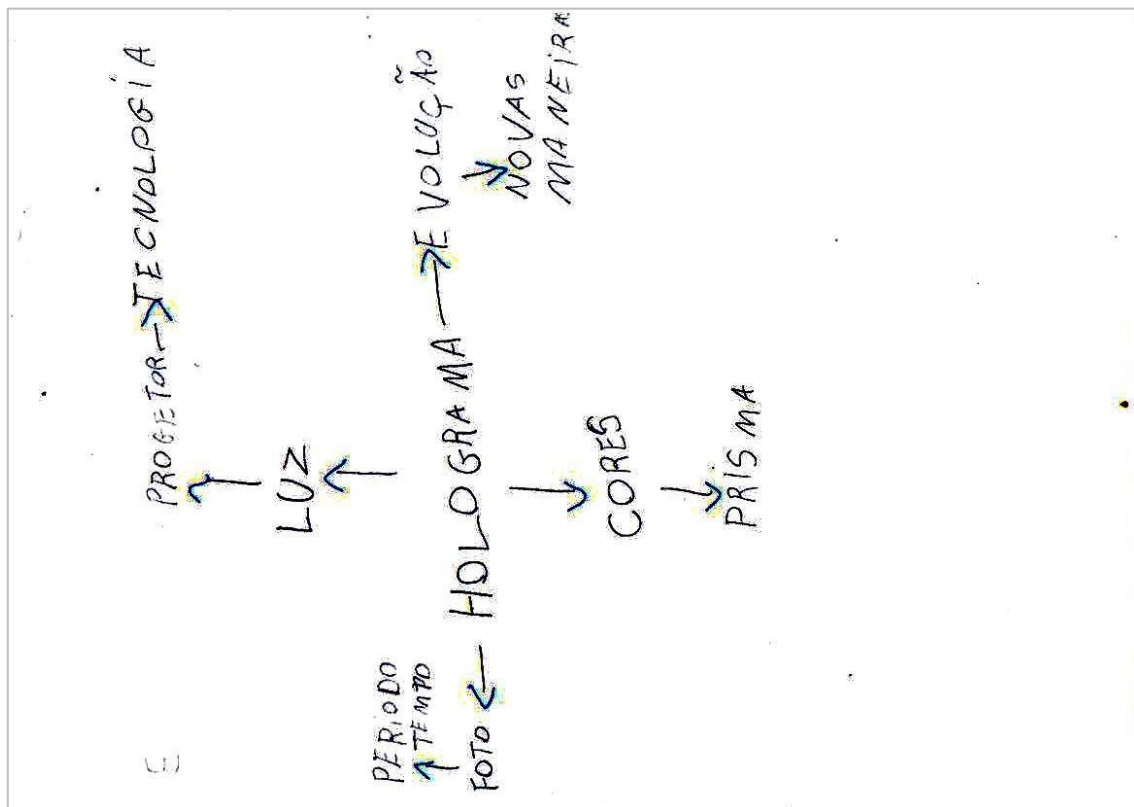
Aluno E



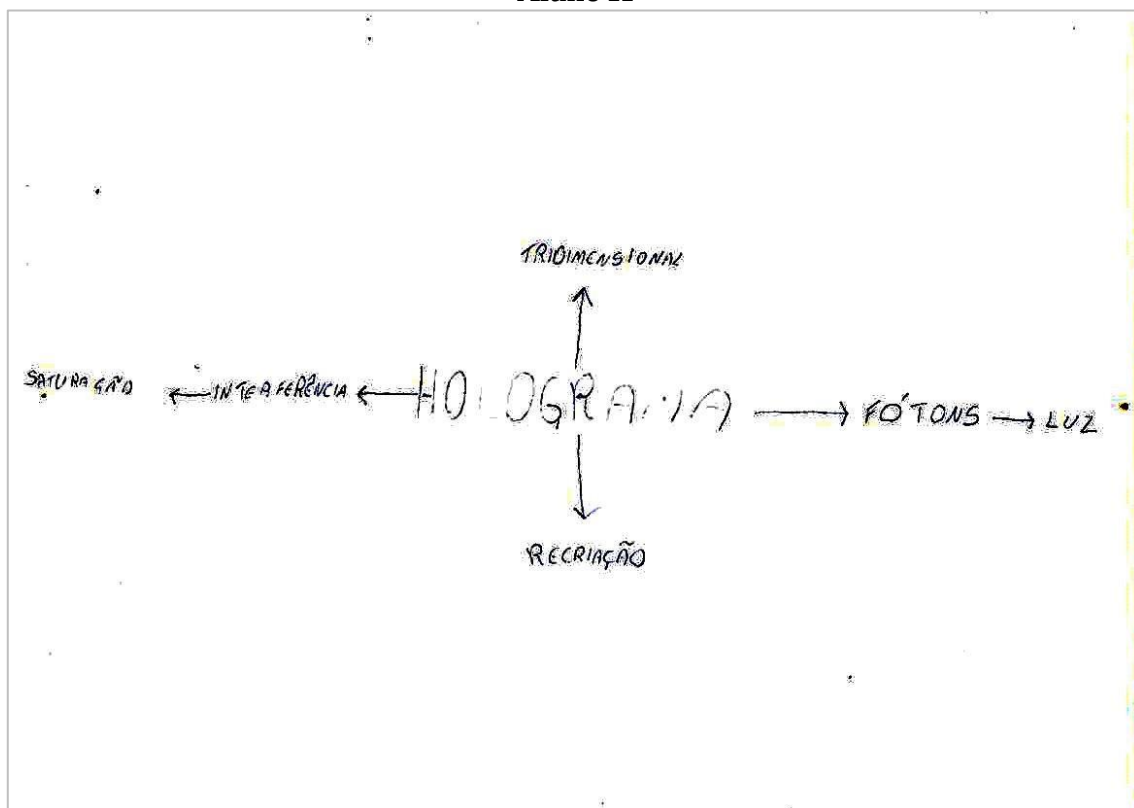
Aluno F



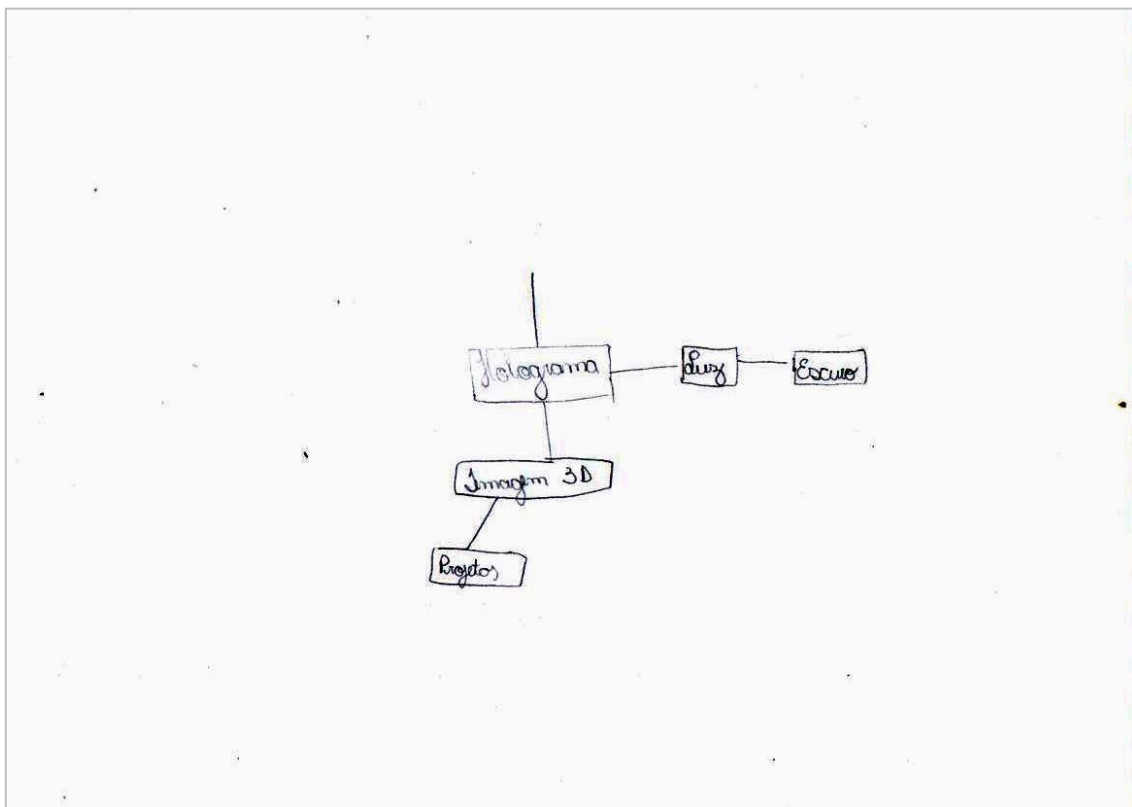
Aluno G



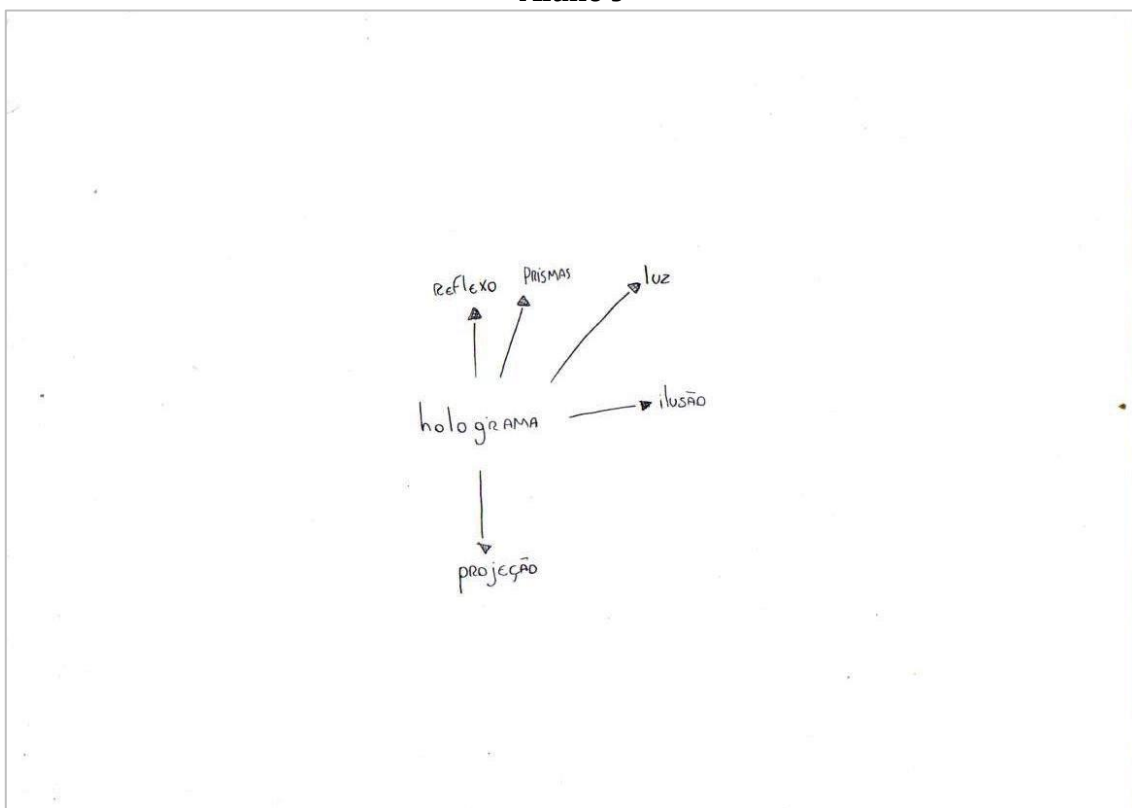
Aluno H



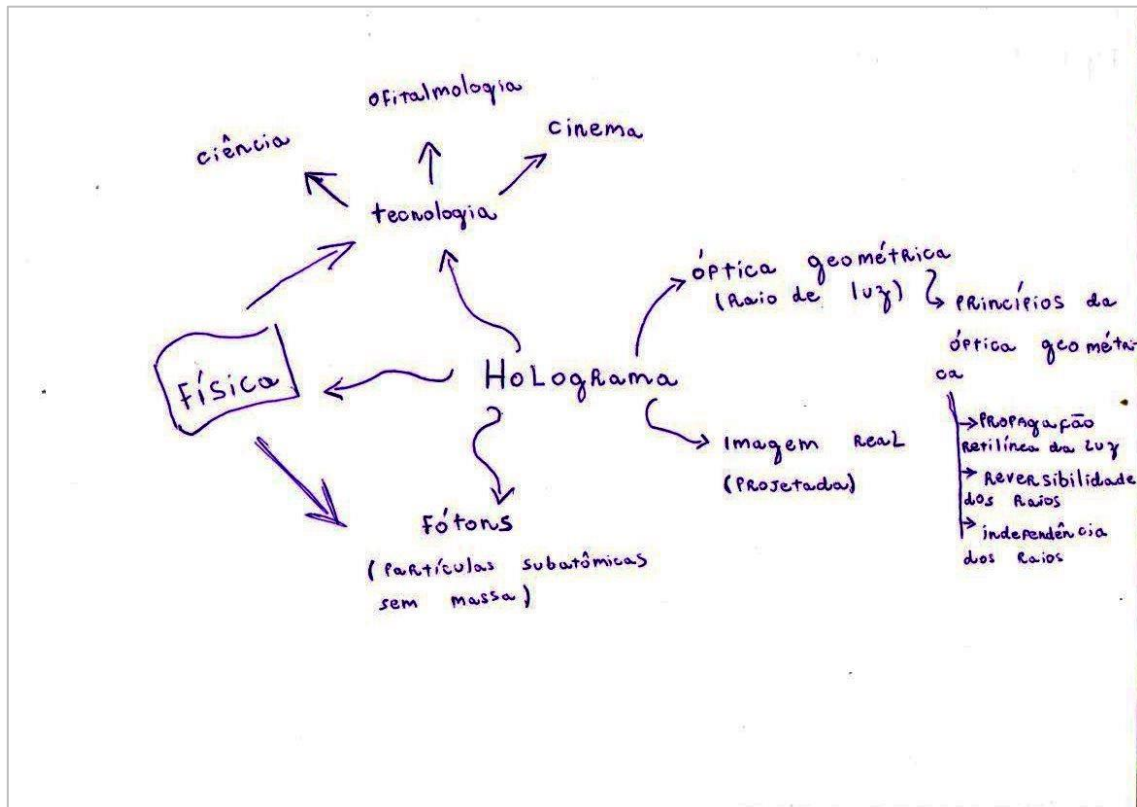
Aluno I



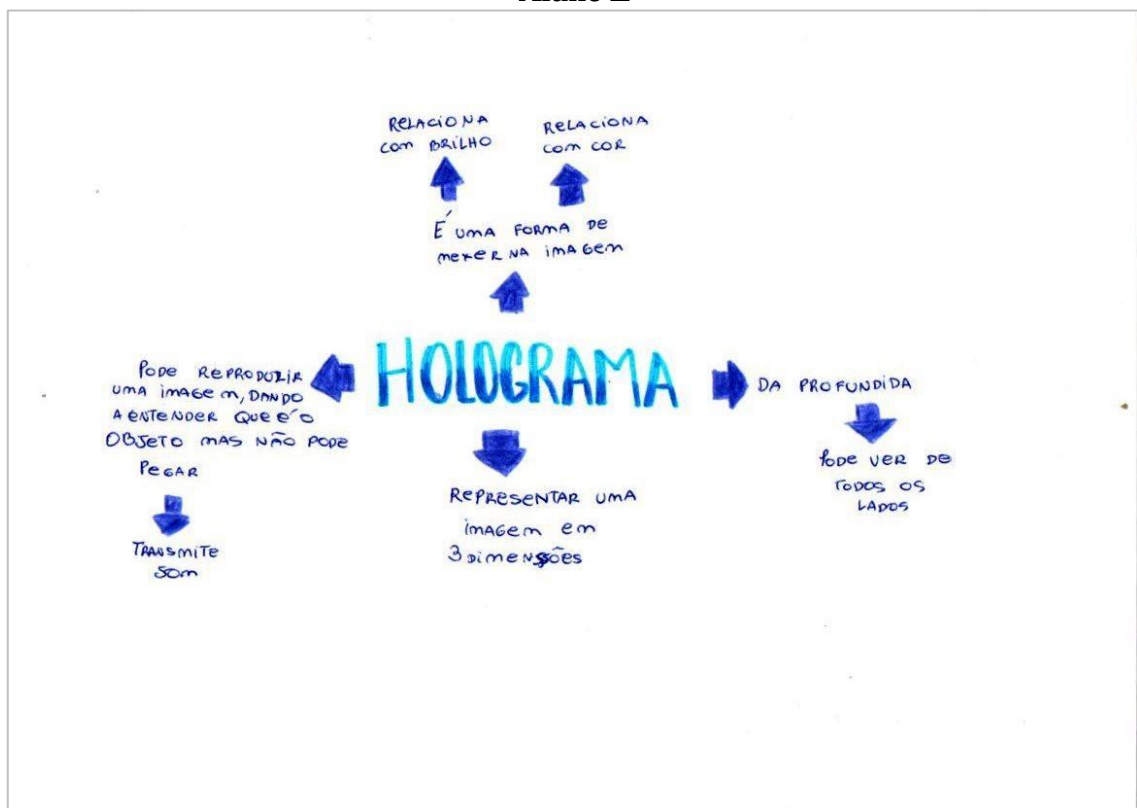
Aluno J



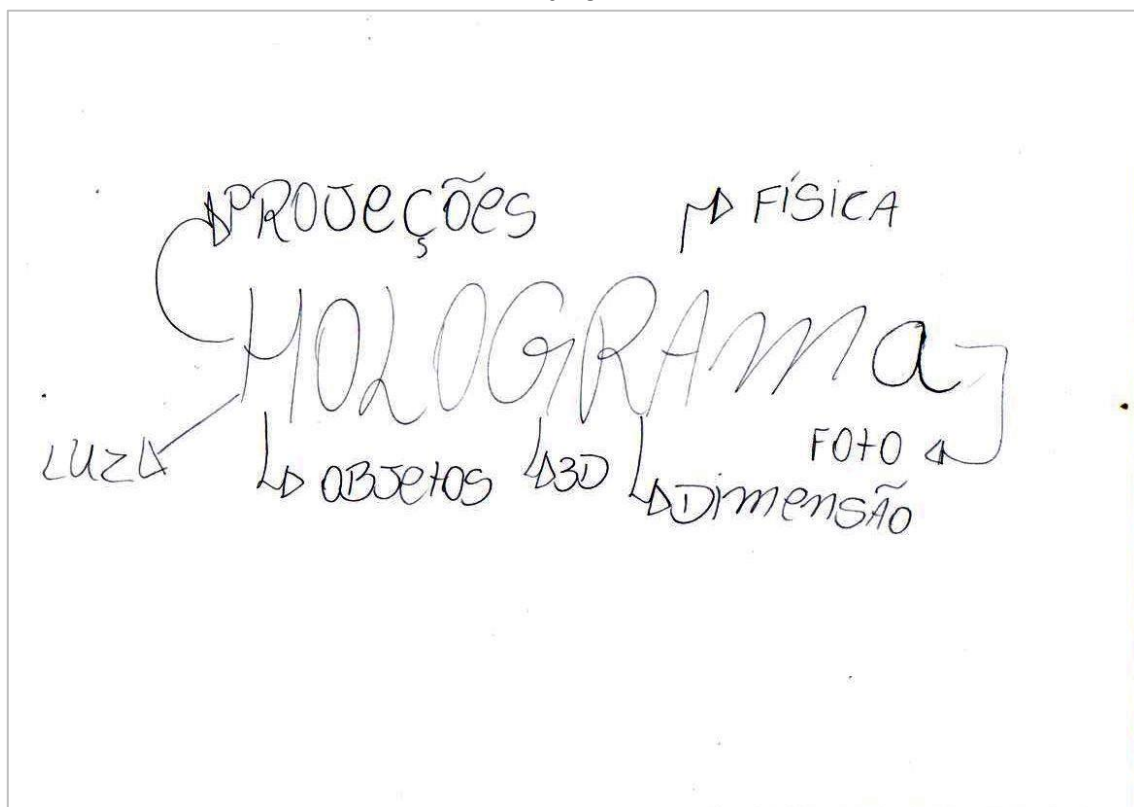
Aluno K



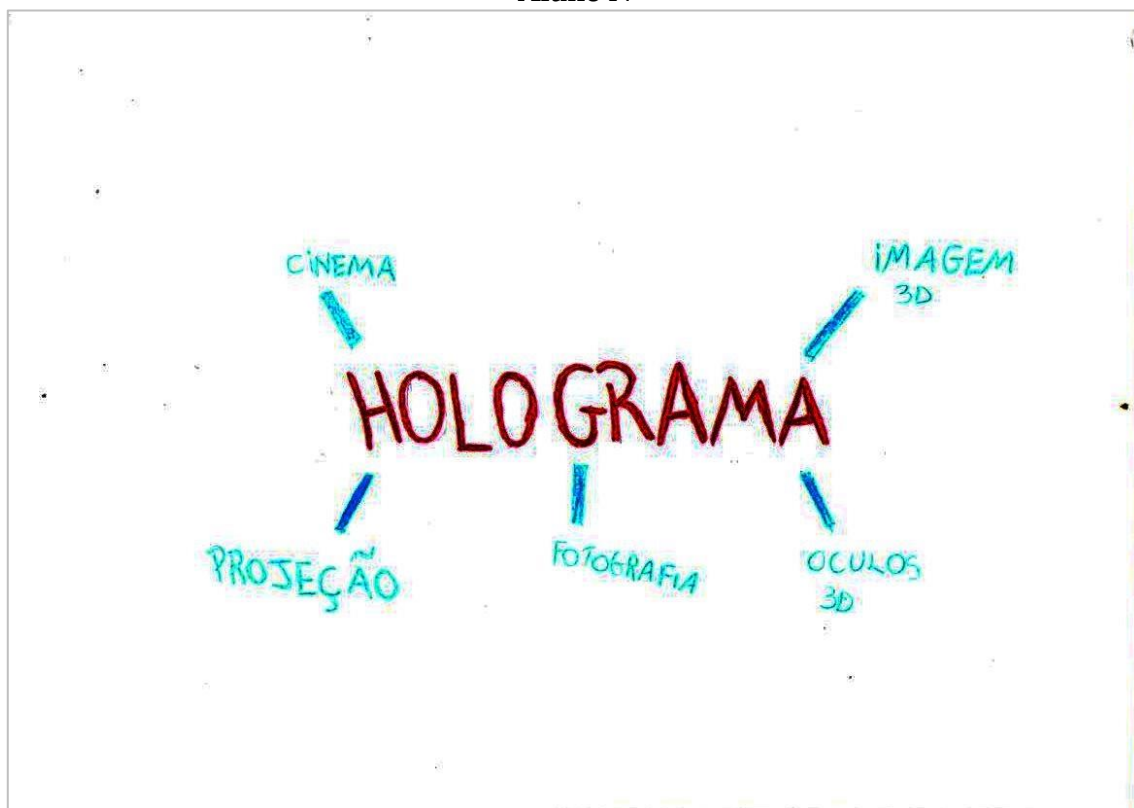
Aluno L



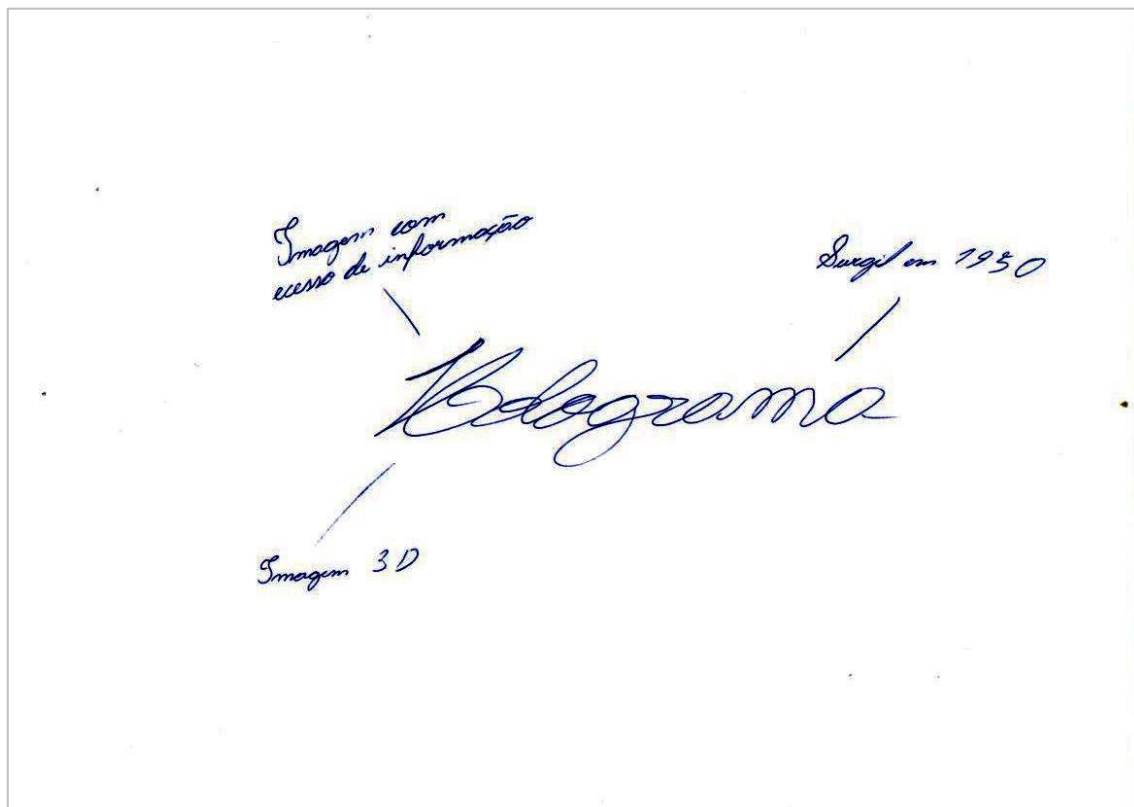
Aluno M



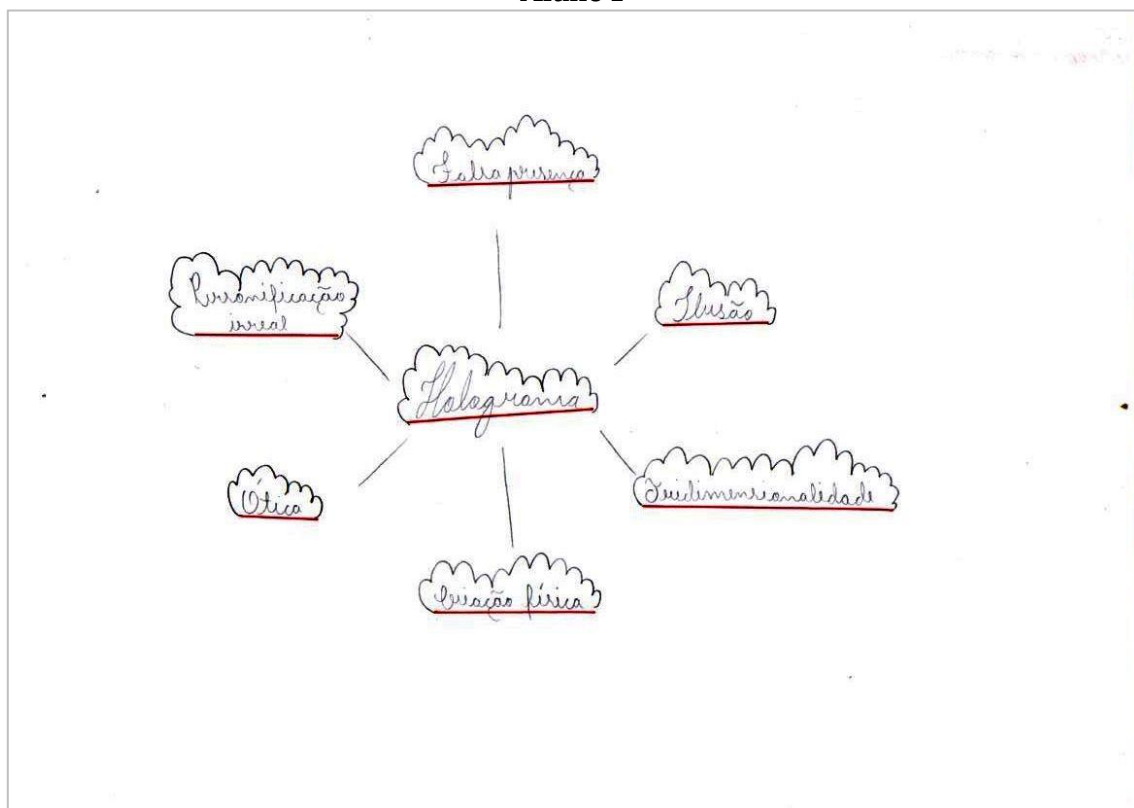
Aluno N



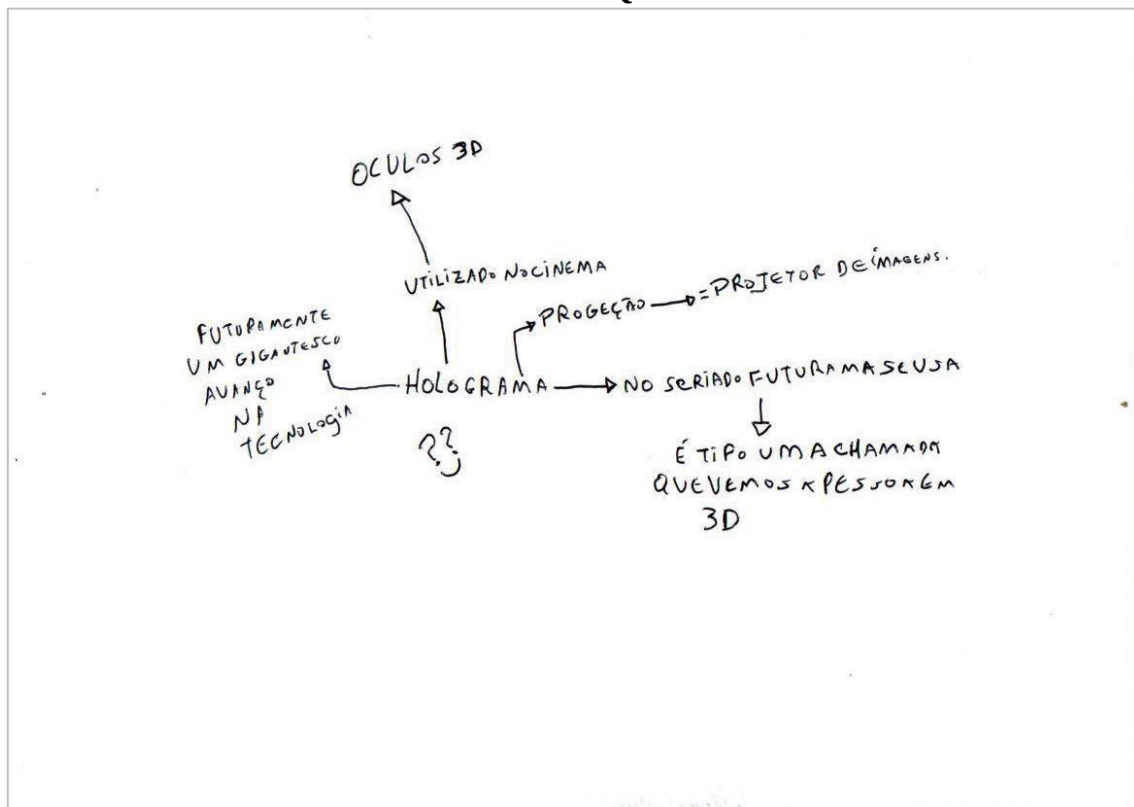
Aluno O



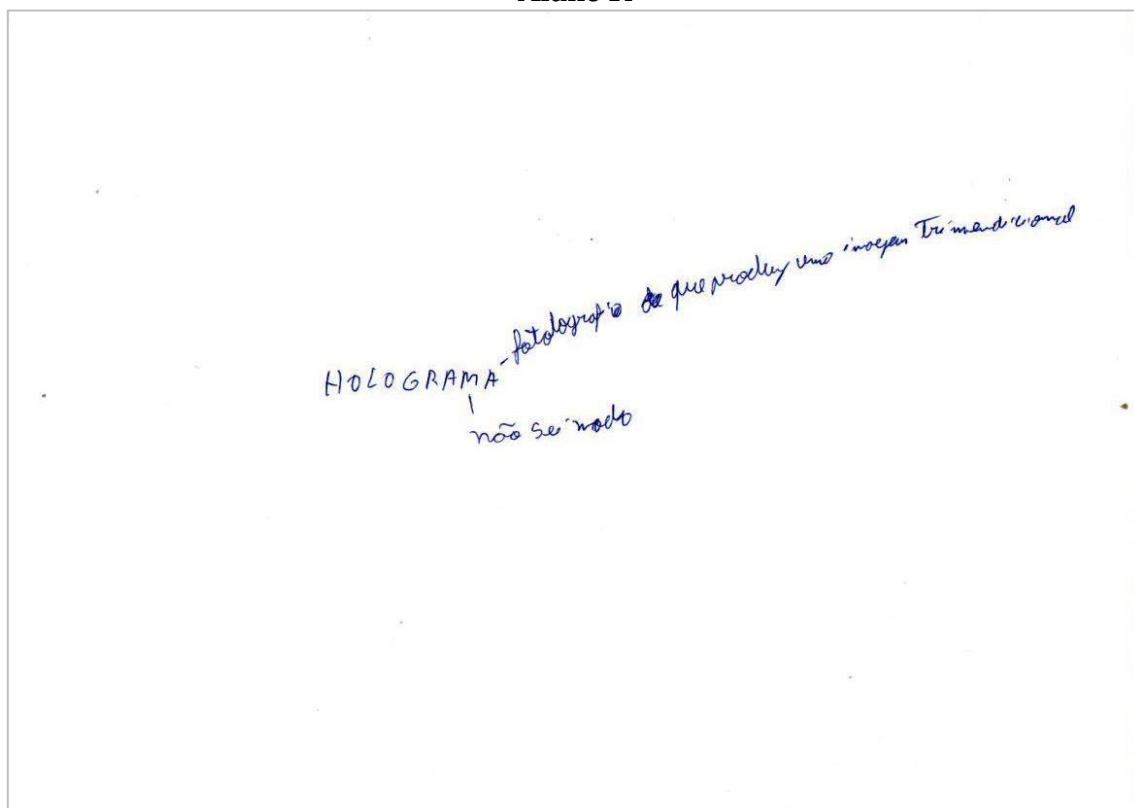
Aluno P



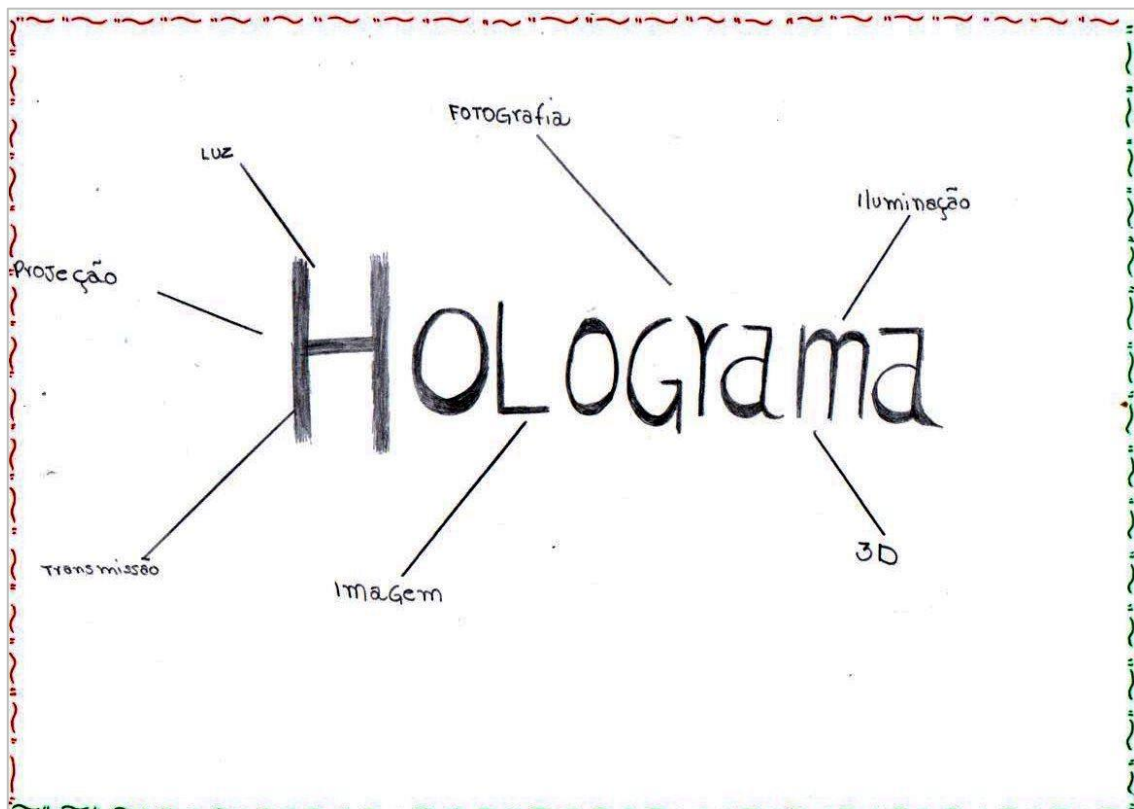
Aluno Q



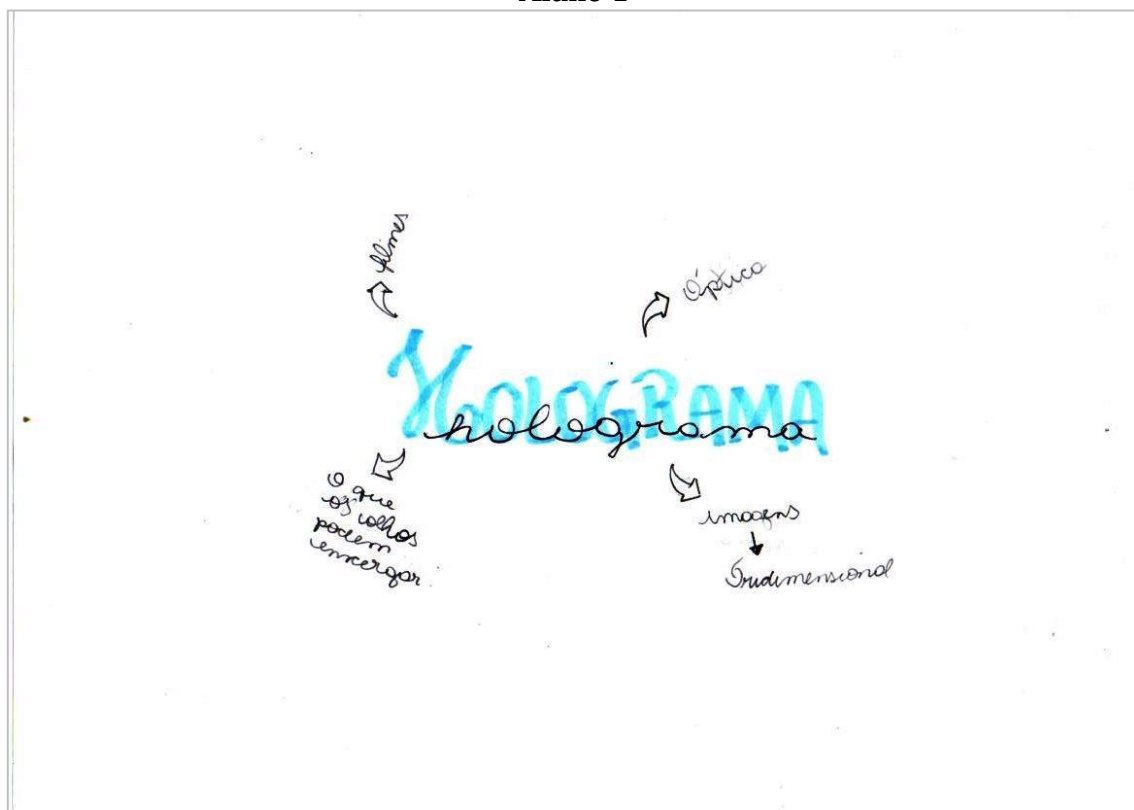
Aluno R



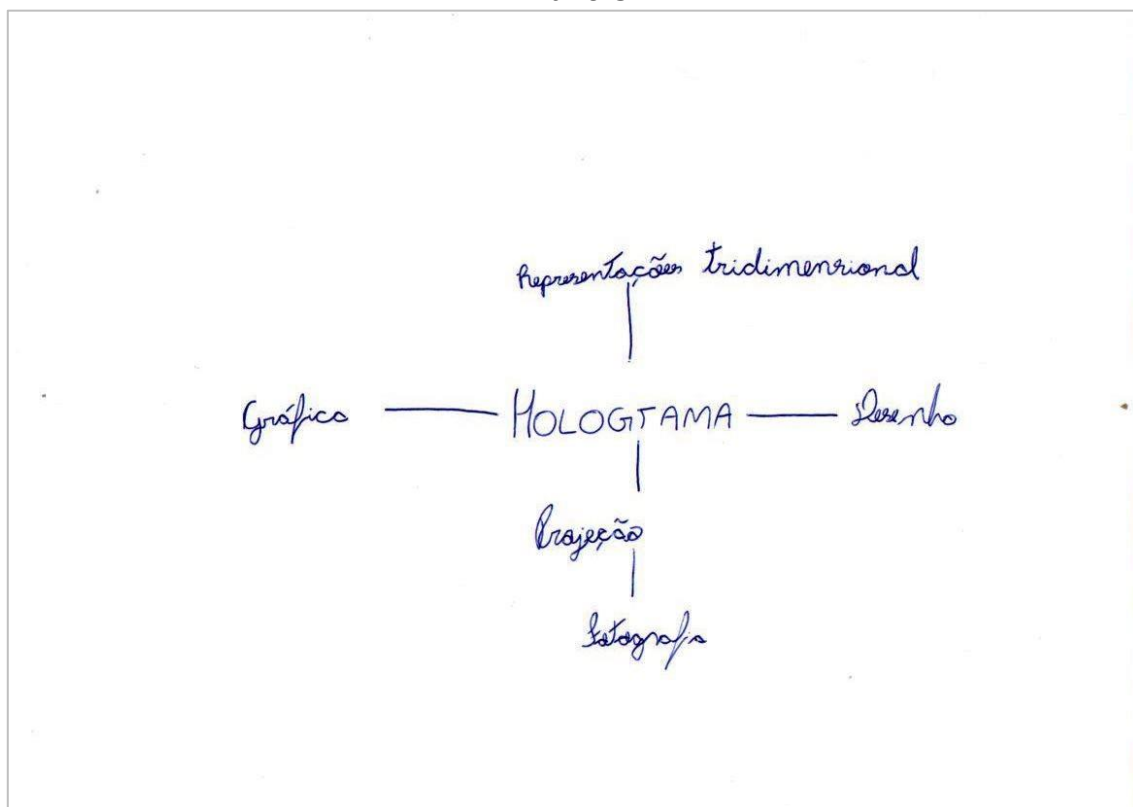
Aluno S



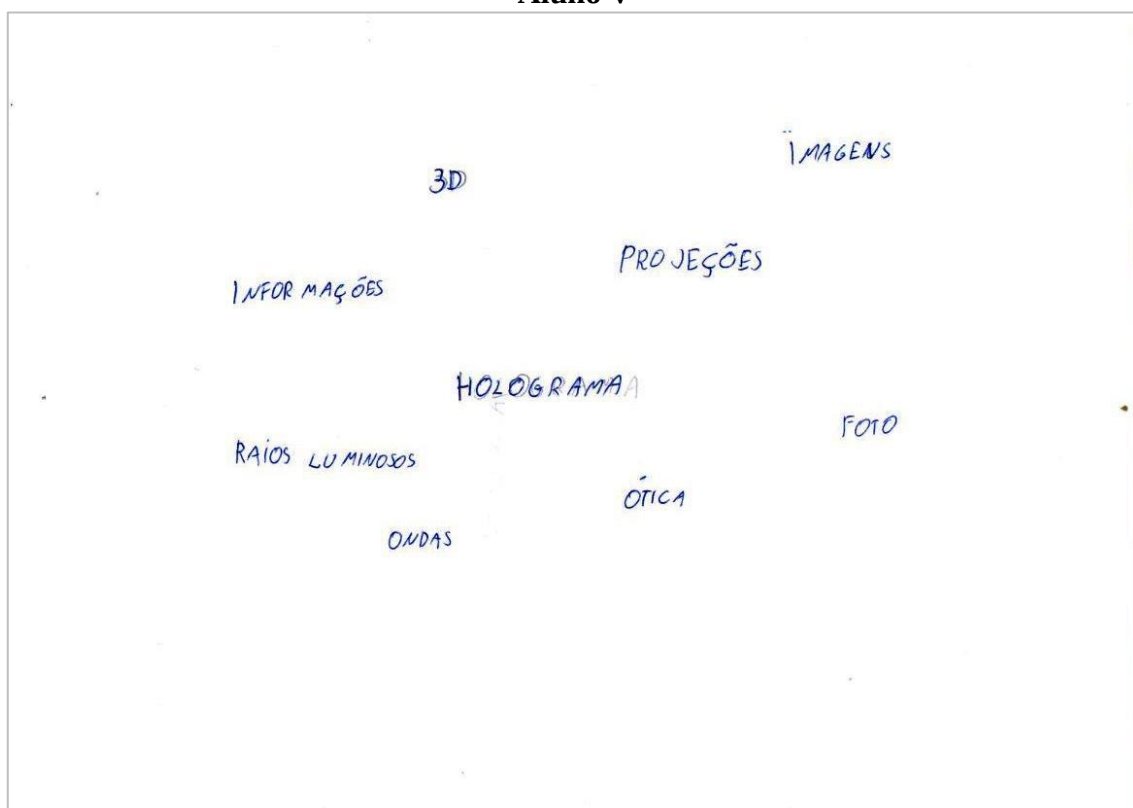
Aluno T



Aluno U



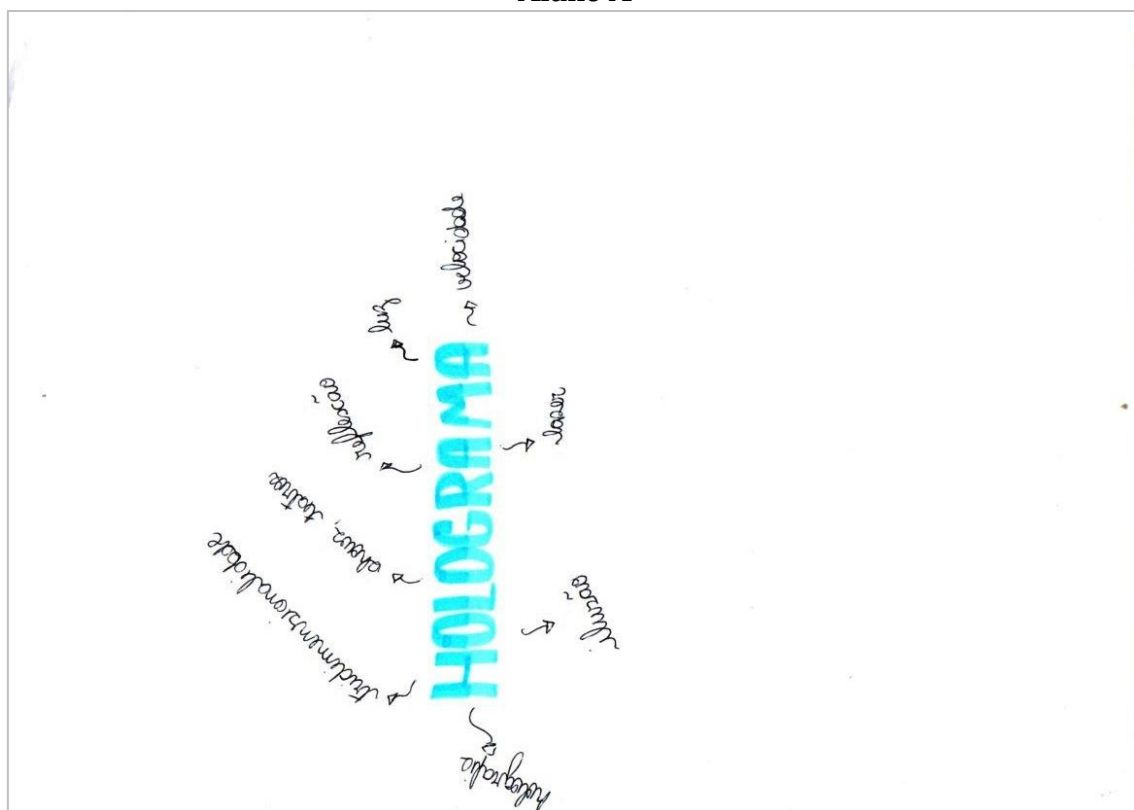
Aluno V



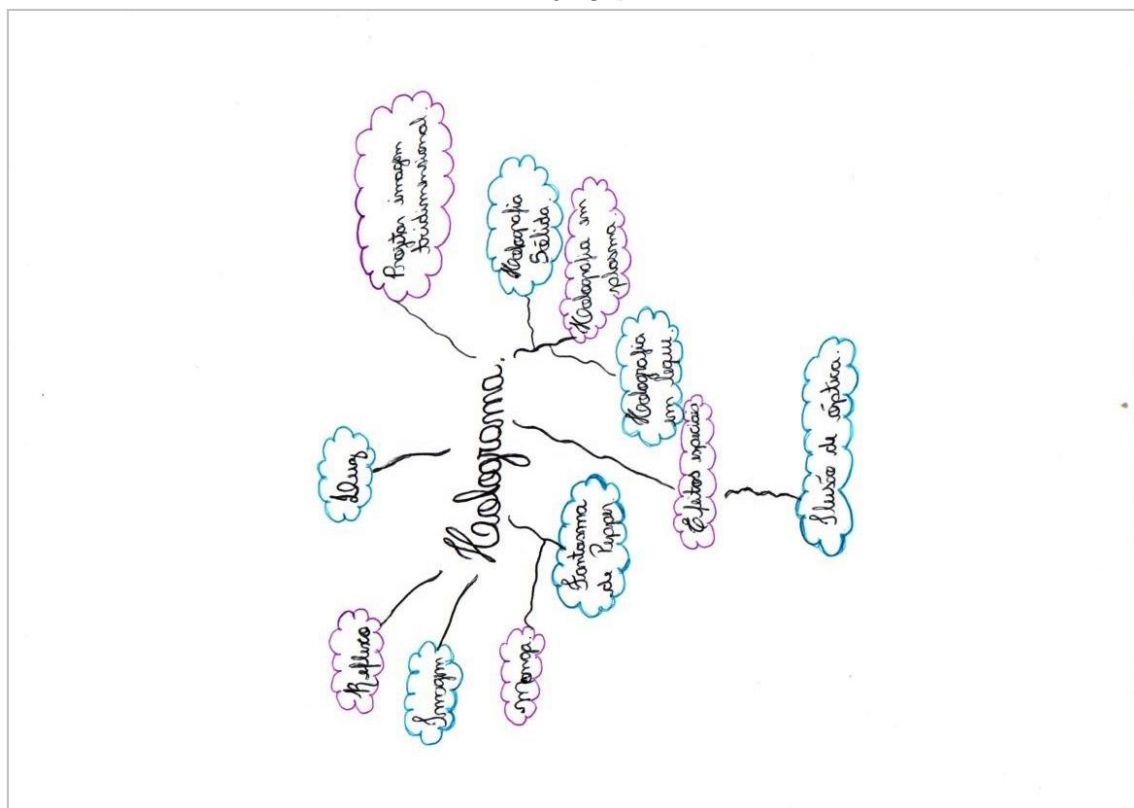
O aluno W e aluno X não compareceram na primeira aula em que os mapas mentais prévios foram elaborados, mas compareceram nas aulas seguintes e na produção dos mapas mentais finais.

APÊNDICE F: MAPAS MENTAIS FINAIS

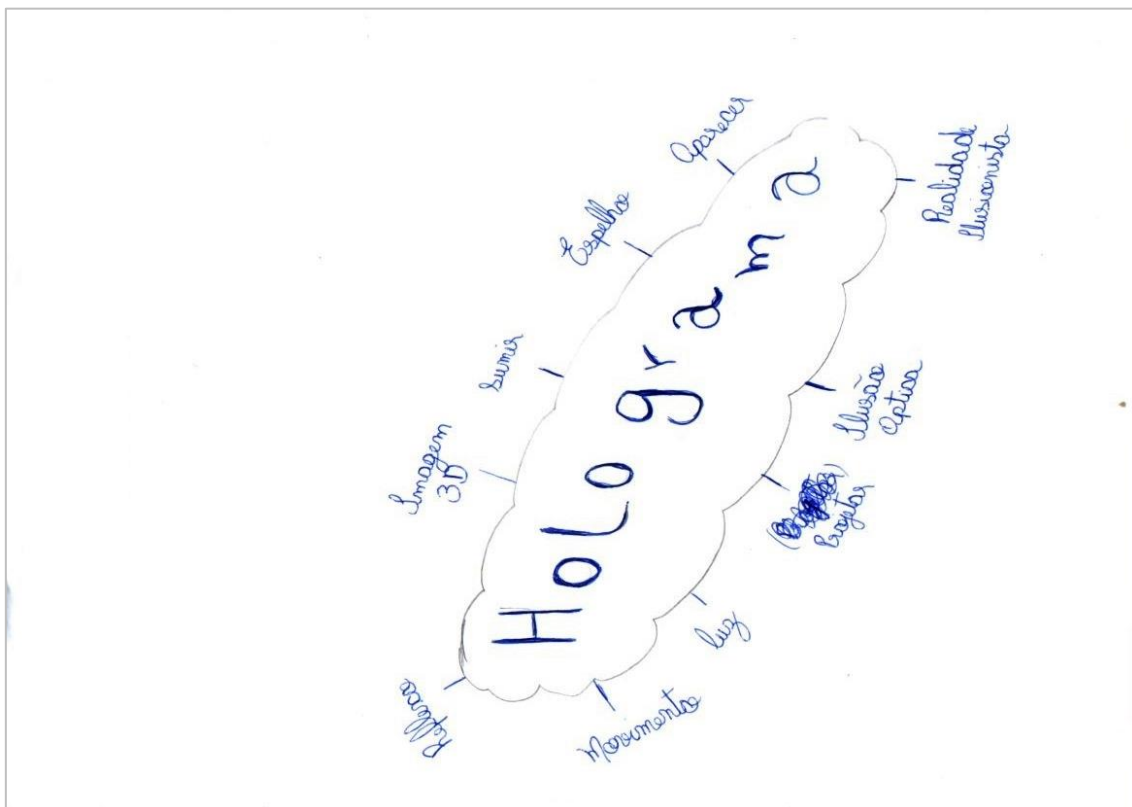
Aluno A



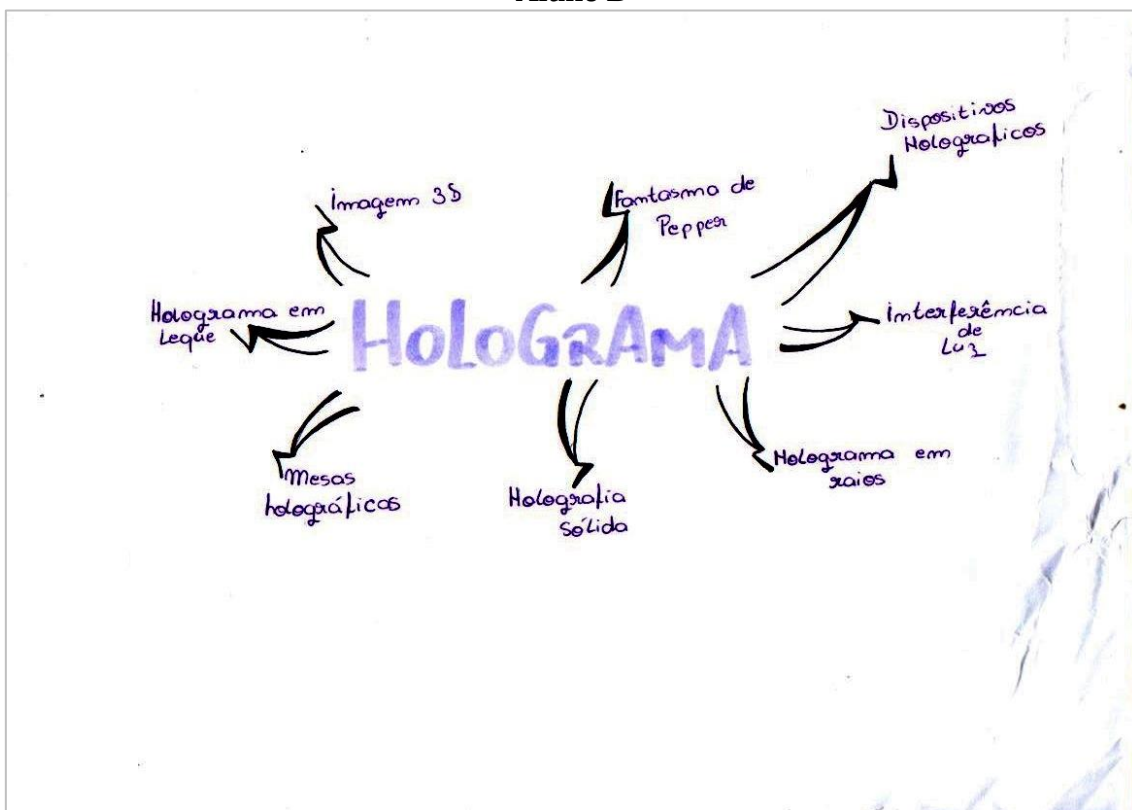
Aluno B



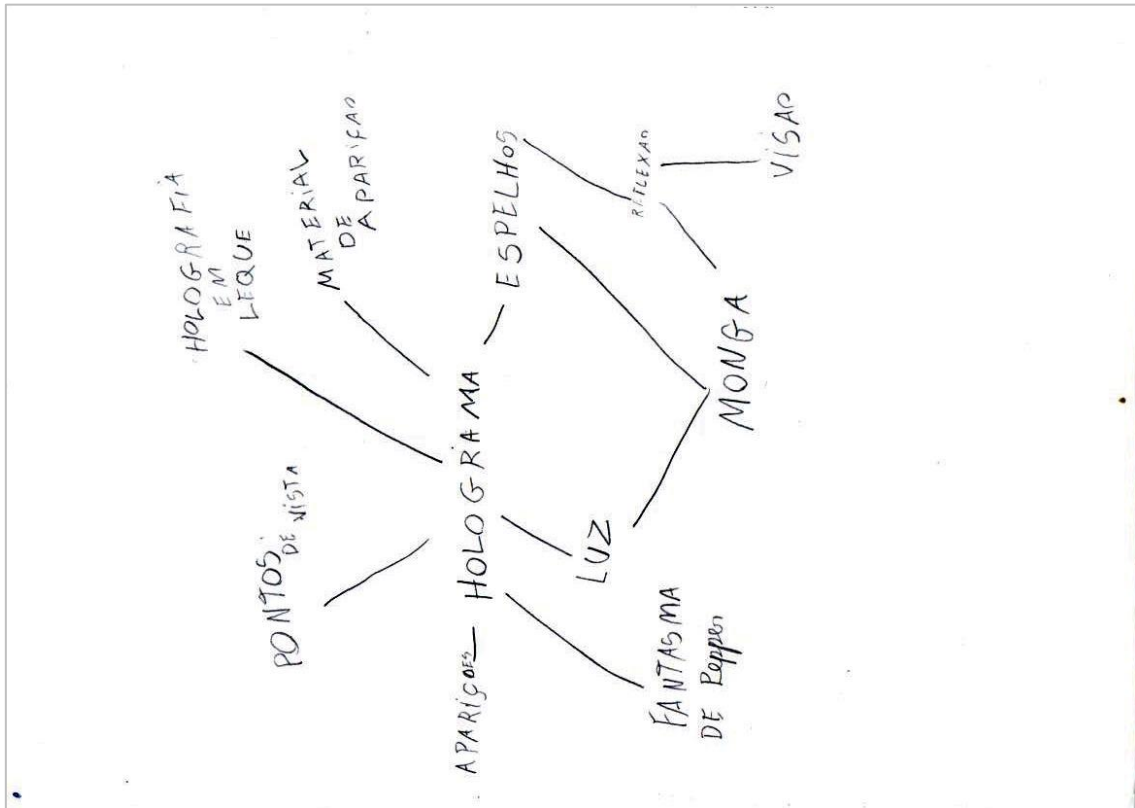
Aluno C



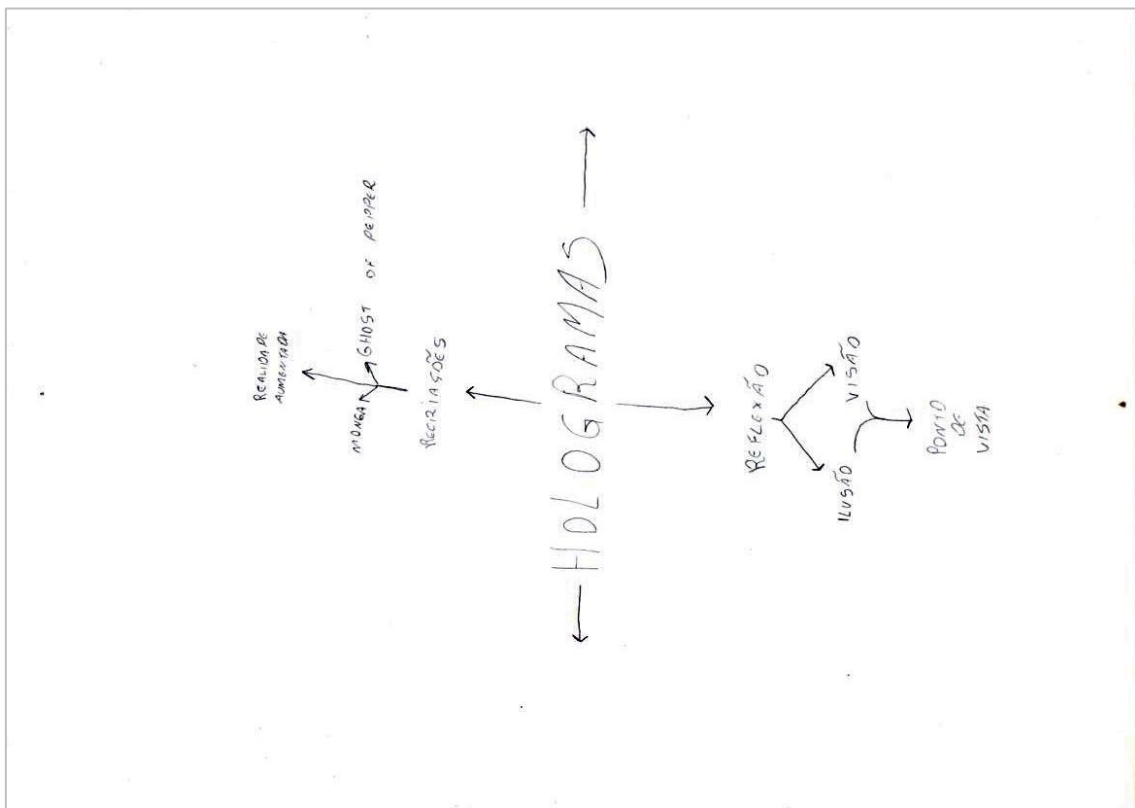
Aluno D



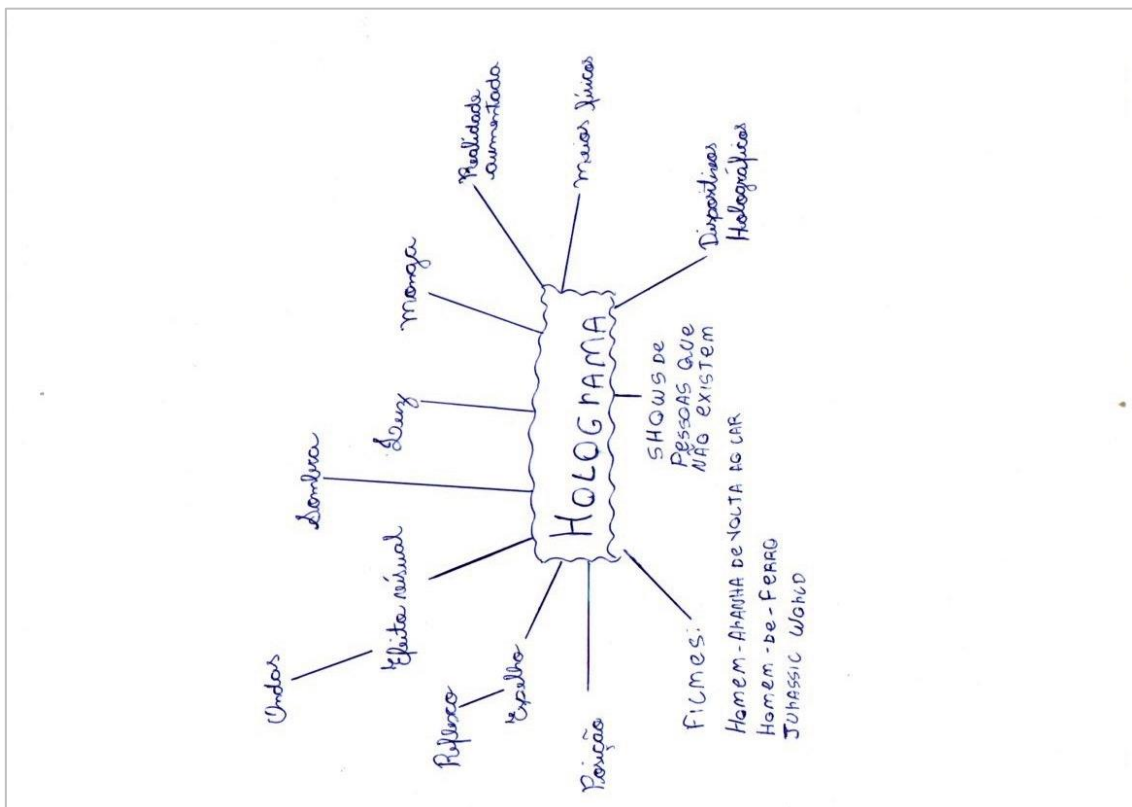
Aluno G



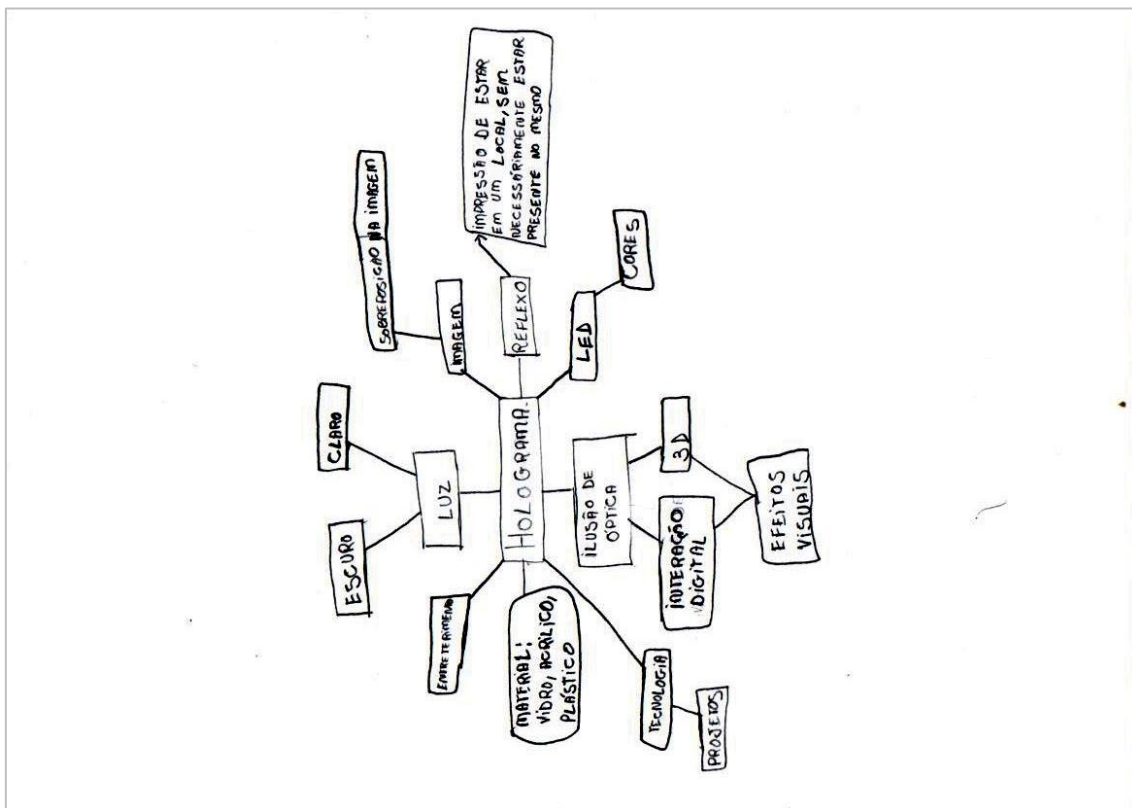
Aluno H



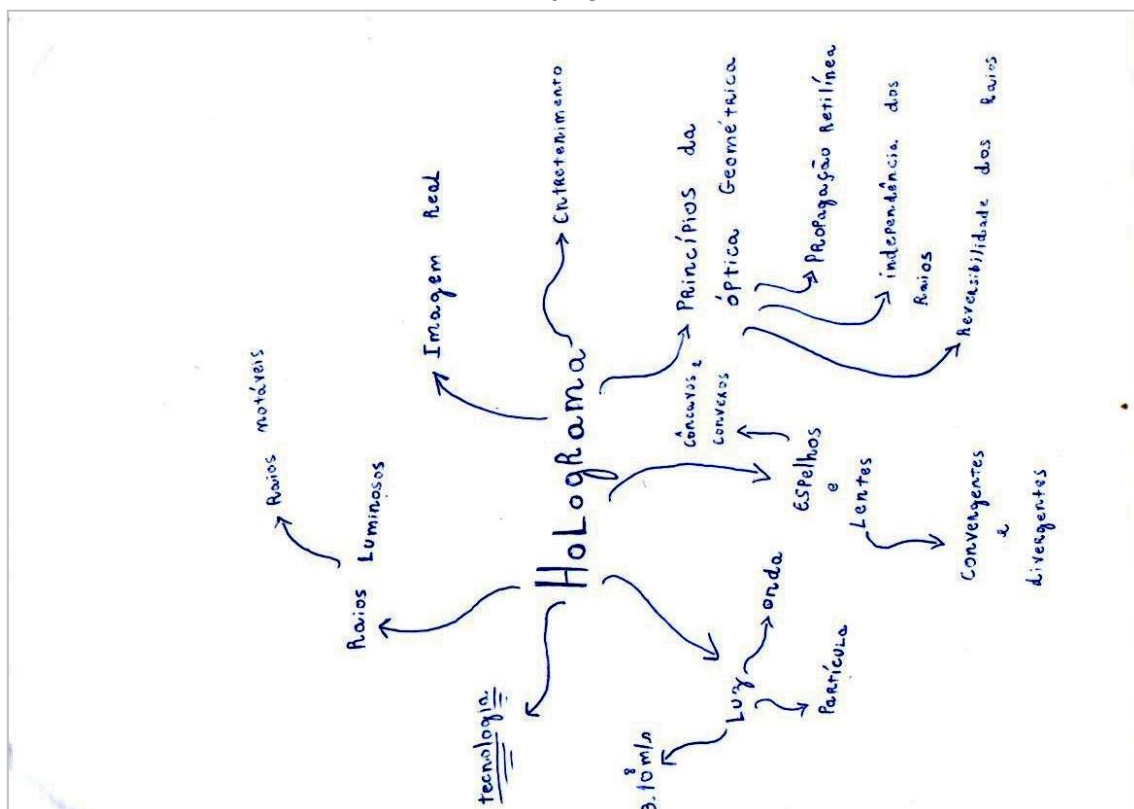
Aluno I



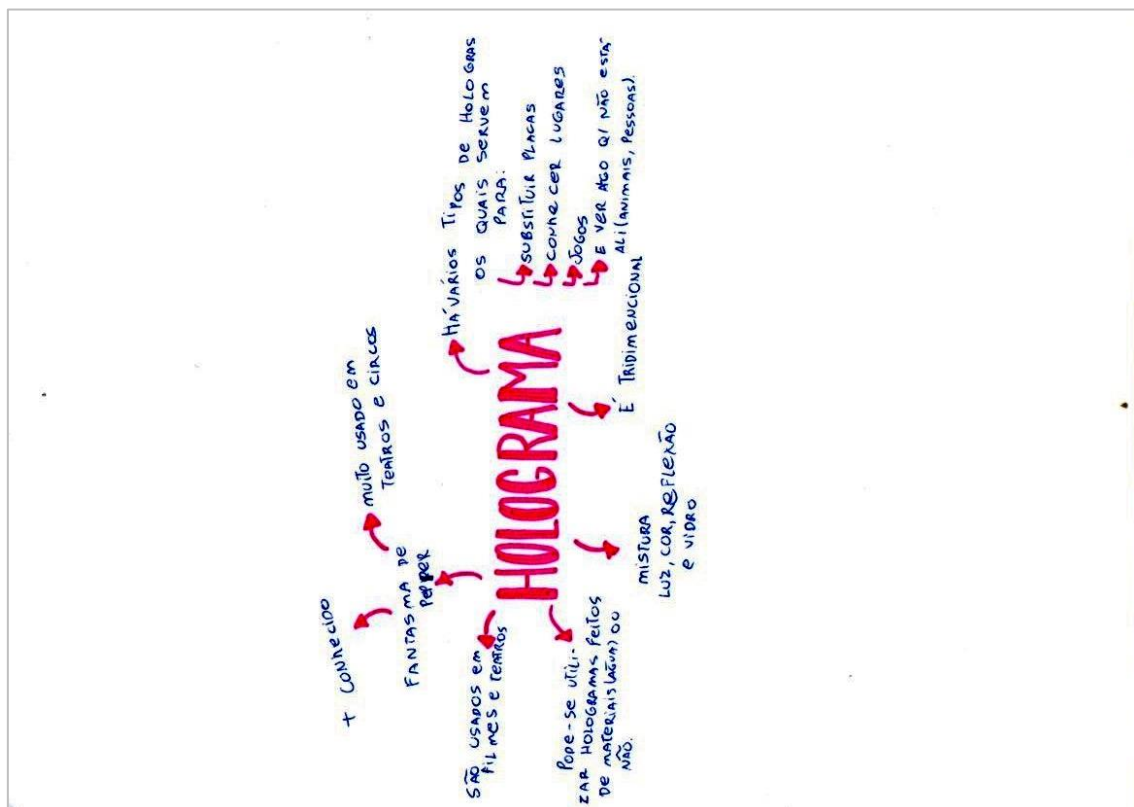
Aluno J



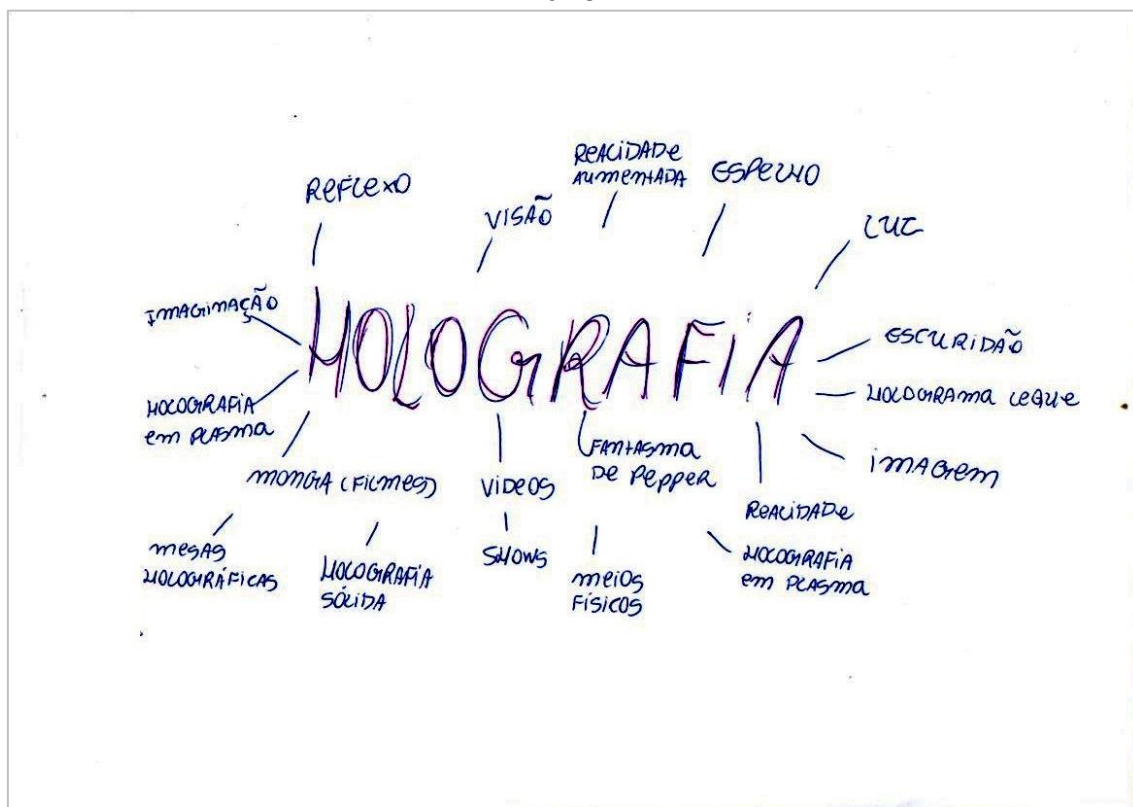
Aluno K



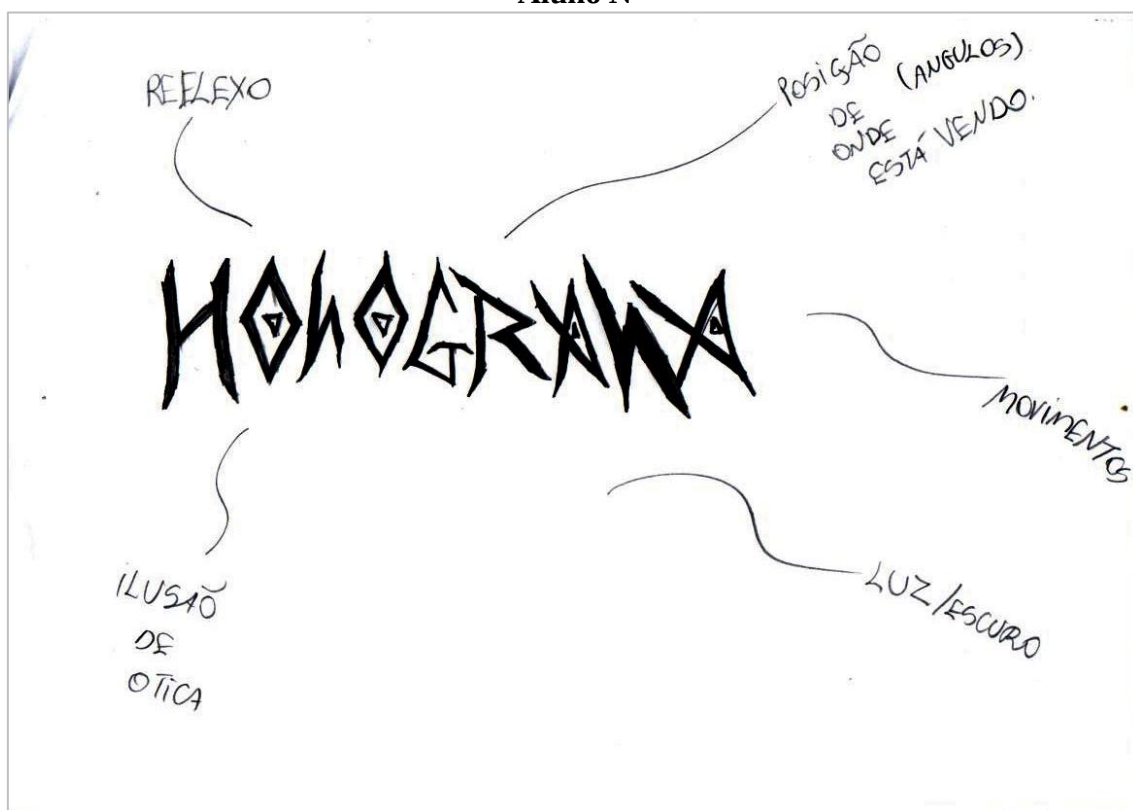
Aluno L



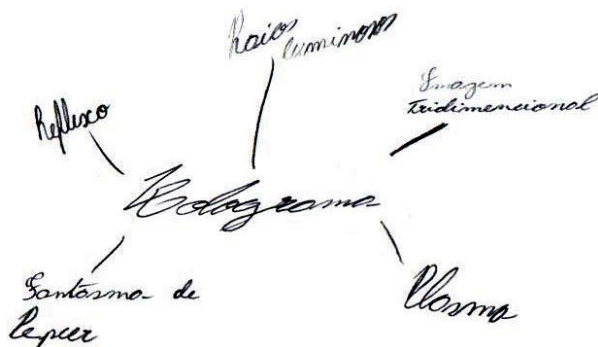
Aluno M



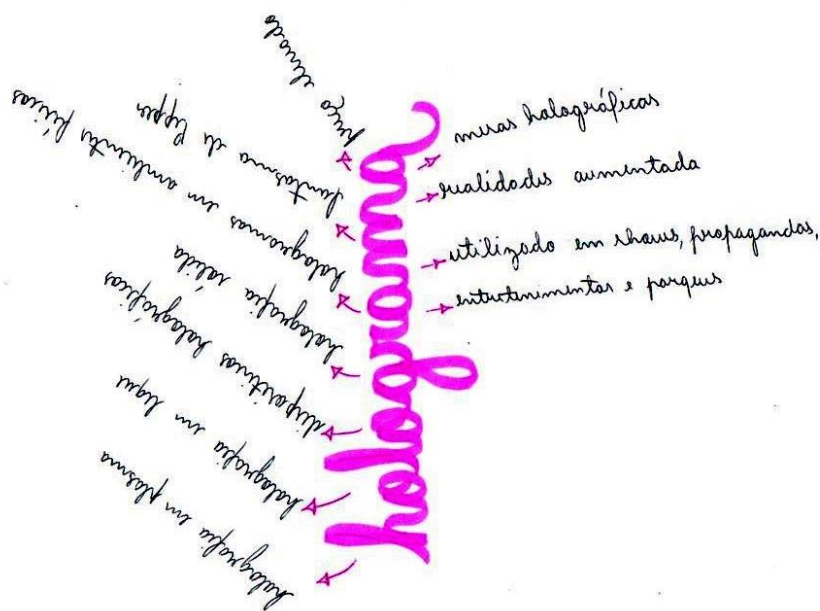
Aluno N



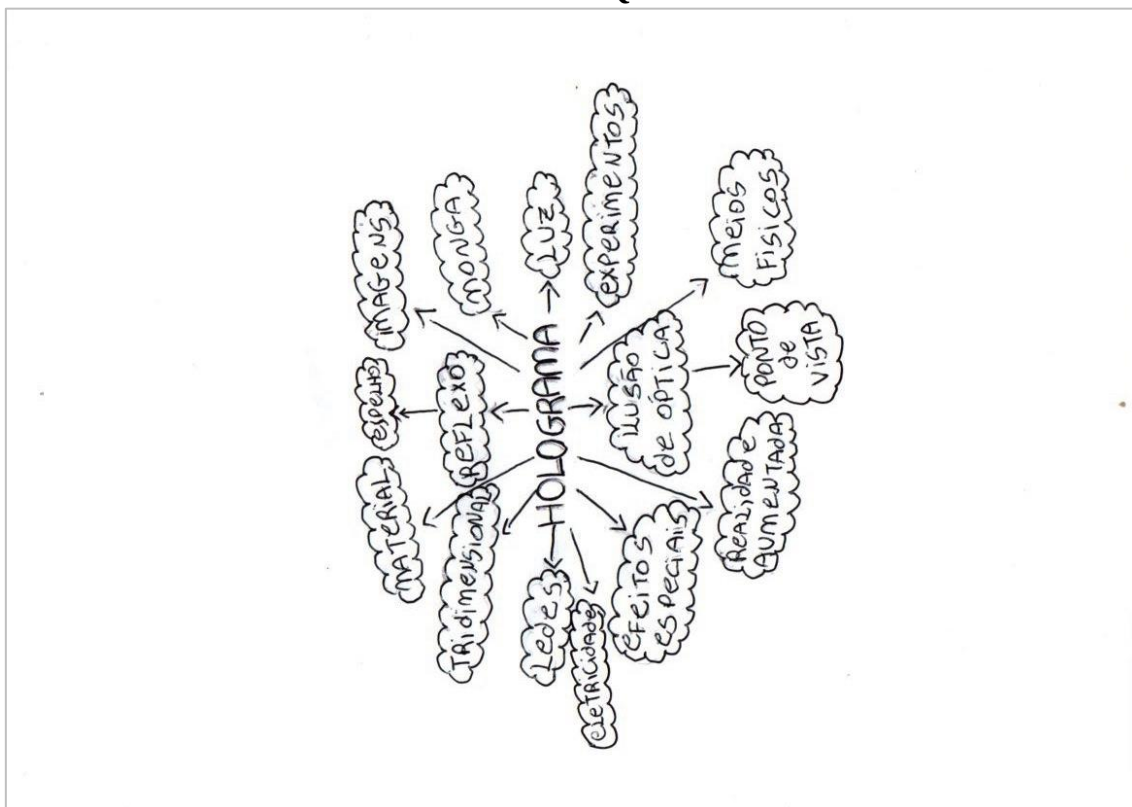
Aluno O



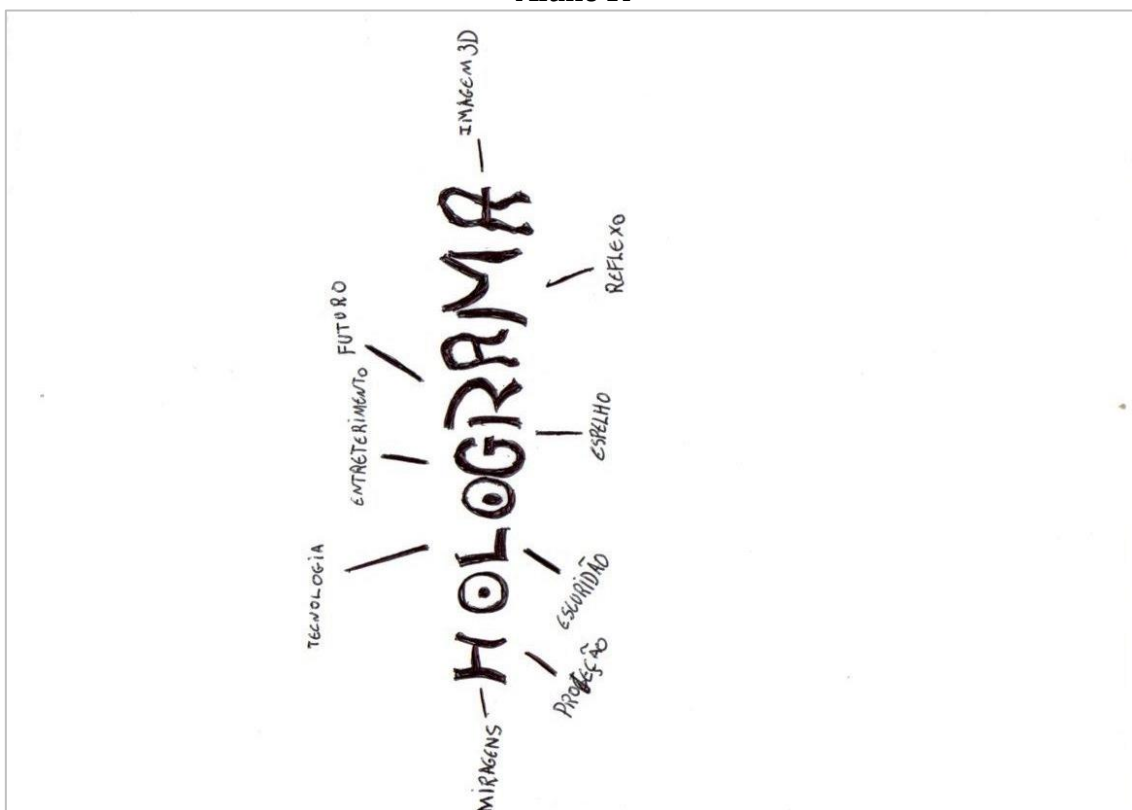
Aluno P



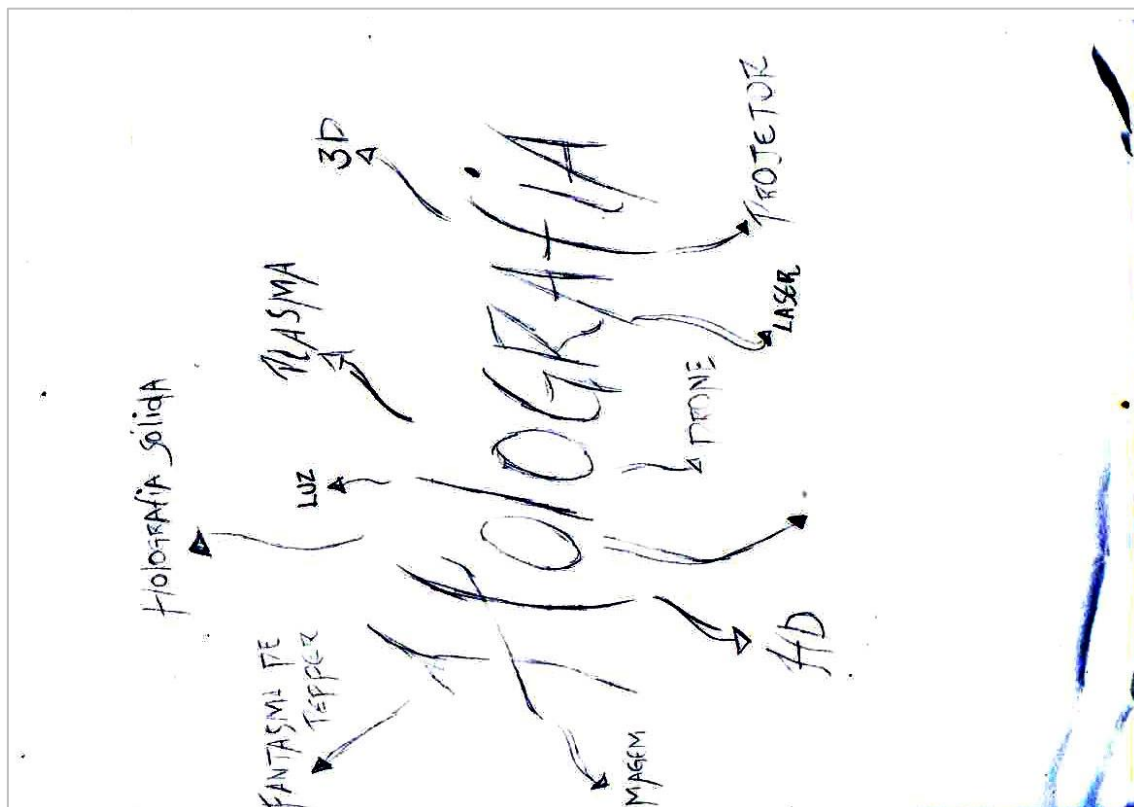
Aluno Q



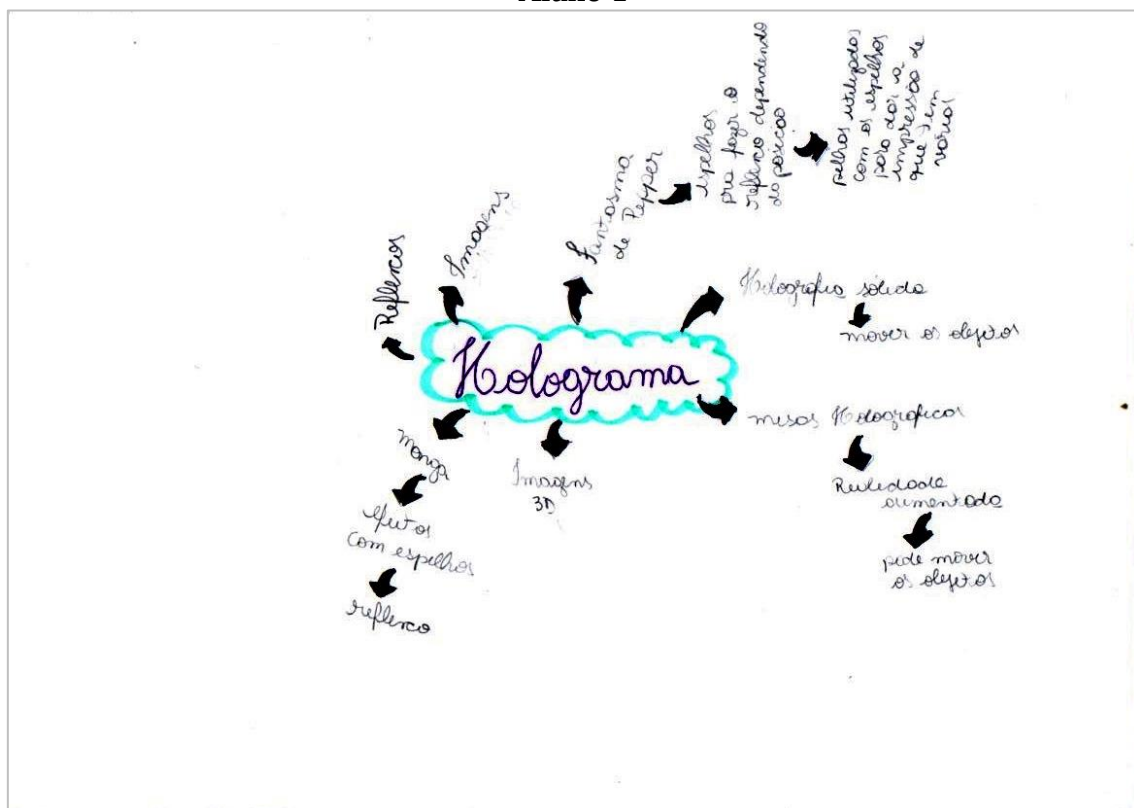
Aluno R



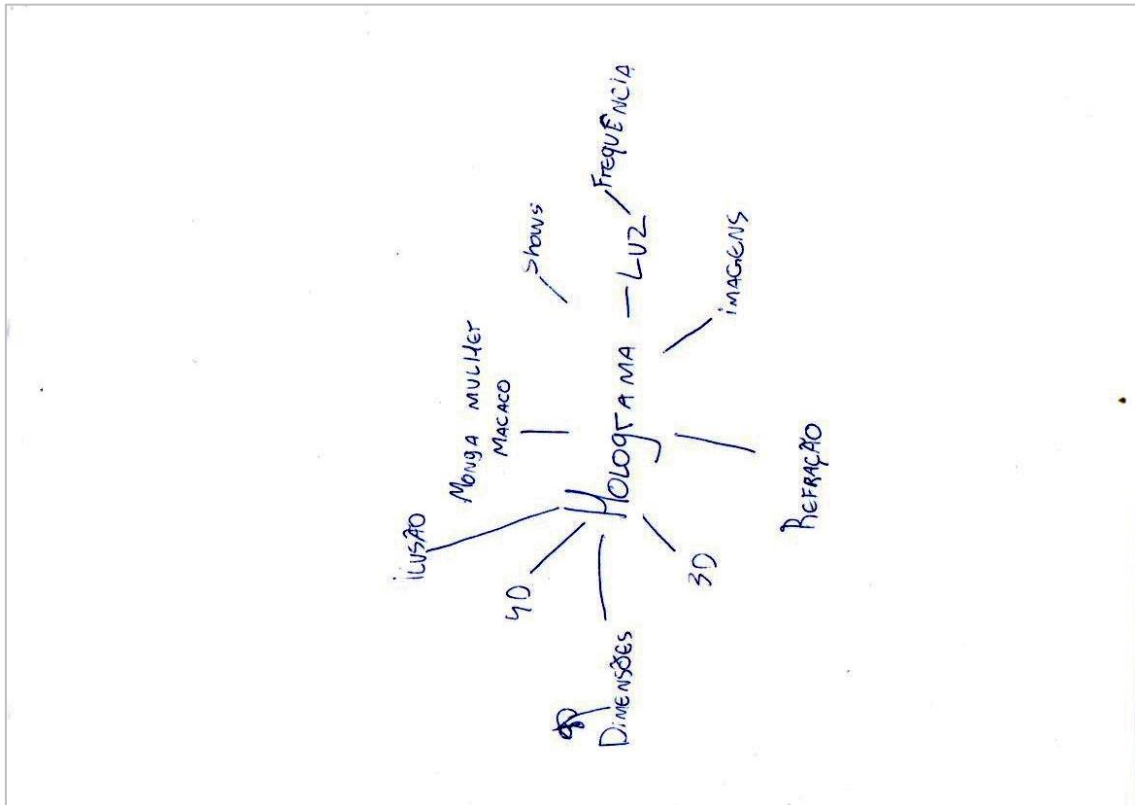
Aluno S



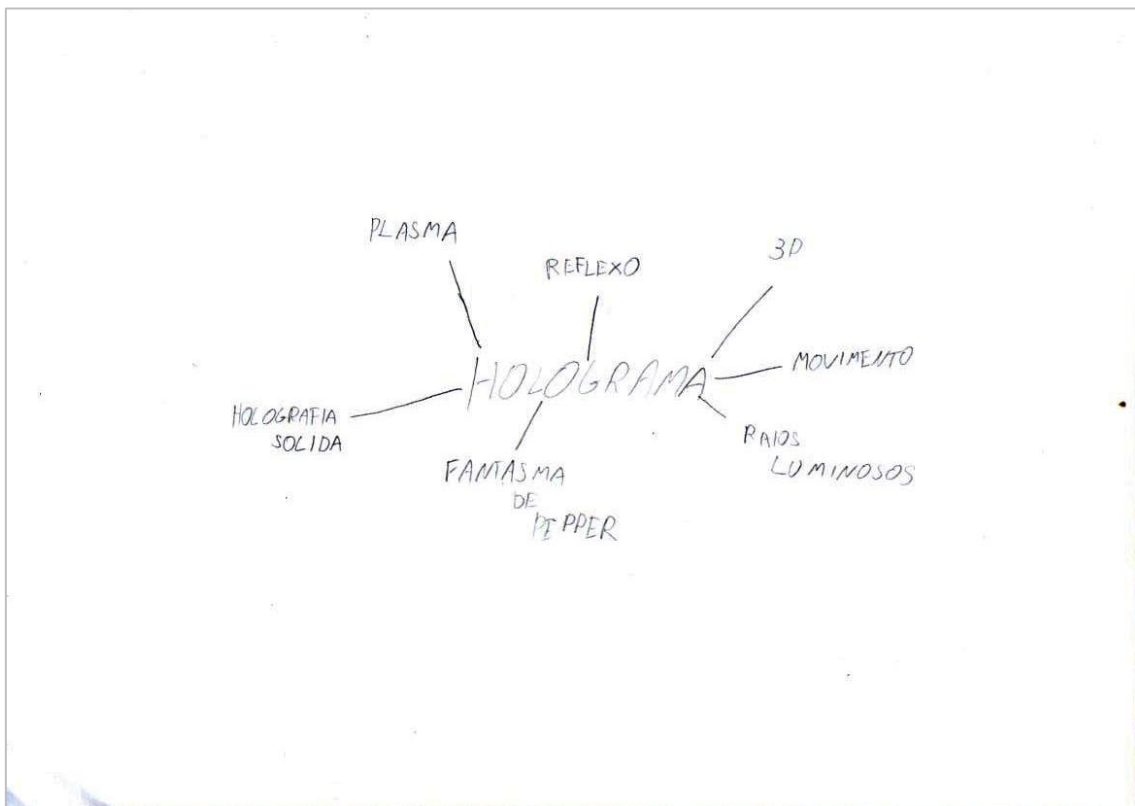
Aluno T



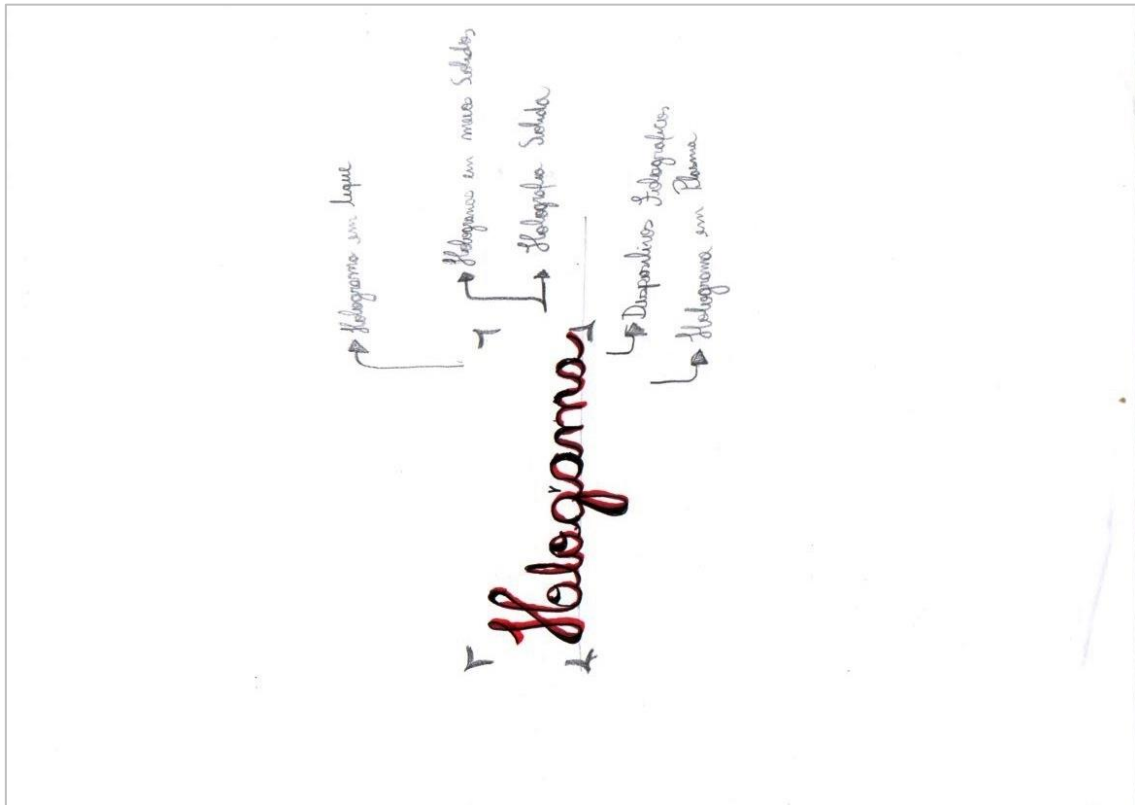
Aluno U



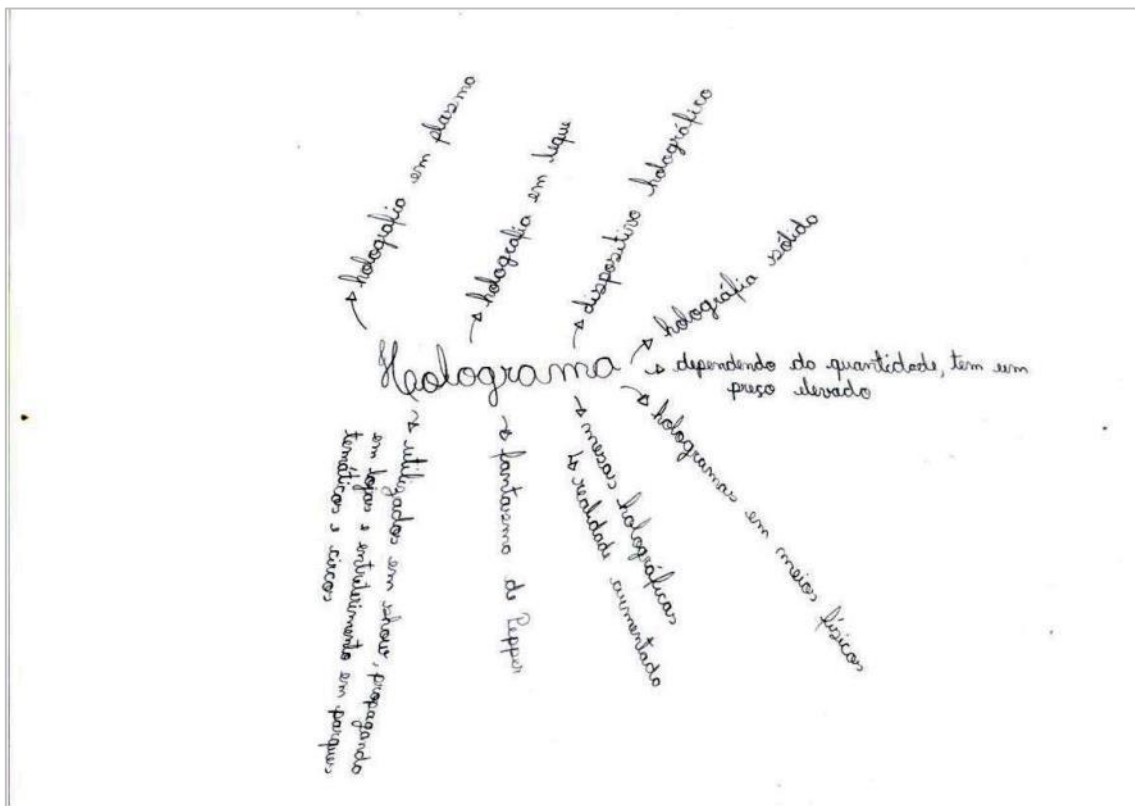
Aluno V



Aluno W



Aluno X



APÊNDICE G: APRESENTAÇÃO NO “ENCONTRO REGIONAL SUL DO MNPEF – 2019”

Chave de Autenticidade: 9995.CF80.1E2D.1C16

https://sistemas.furg.br/sistemas/sedoc/aplicacoes/cria_doc/tela_visuali...

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E
FÍSICA- IMEF
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física –
MNPEF



Av. Itália, km 8, Bairro Carreiros, Rio Grande - RS, CEP: 96.203-900 - Fone (53)3233.6500 /
(53)3233.8600 Homepage: <http://www.furg.br>



O Comitê Organizador certifica que o trabalho "PEPPER'S GHOST": COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA" de autoria de **GILVAN CHAVES FILHO** E **LUIZ ANTÔNIO BASTOS BERNARDES** foi apresentado nas sessões oral e de pôster, pelo primeiro autor, no Encontro Regional Sul do MNPEF 2019, realizado de 15 a 16 de maio de 2019 na Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil.

Comissão Organizadora do ERSMNPEF 2019

Rio Grande, 03 de junho de 2019.

APÊNDICE H: APRESENTAÇÃO NA “VI ESCOLA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA”

VI Escola Brasileira em Ensino de Física

18 a 23 de Agosto de 2019, Cariacica

CERTIFICADO

O Comitê Organizador certifica que o trabalho “PEPPER’S GHOST”: COMO ENSINAR/APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA” de autoria de Gilvan Chaves Filho, Luiz Antônio Bastos Bernardes foi apresentado na sessão na VI Escola Brasileira em Ensino de Física, realizada de 18 a 23 de Agosto de 2019 em Cariacica, ES, Brasil.

Cariacica, 23 de Agosto de 2019




Beatriz Matos
Secretária Executiva da
Sociedade Brasileira de Física



APÊNDICE I: APRESENTAÇÃO NA “XXII SEMANA DA FÍSICA DA TERRA À LUA 50 ANOS DE UM SONHO”



Certificamos que

GILVAN CHAVES FILHO

apresentou na forma de PÔSTER o trabalho intitulado **PEPPER'S GHOST: COMO ENSINAR / APRENDER CONCEITOS DE FÍSICA ATRAVÉS DE UMA SIMPLES ILUSÃO DE ÓPTICA** na XXII SEMANA DA FÍSICA – DA TERRA À LUA: 50 ANOS DE UM SONHO, realizada de 08 a 14 de novembro de 2019, na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa, PR, tendo como autor(es): Gilvan Chaves Filho; Luiz Antônio Bastos Bernardes.

Ponta Grossa, 14 de novembro de 2019

Prof. Dr. Alexandre Camilo Junior
Coordenador da XXII SEMANA DA FÍSICA

APÊNDICE J: SUBMISSÃO DE TRABALHO NO “XVIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA”

Submissão de trabalhos (Trabalhos submetidos) - Mozilla Firefox

https://seccbfisica.org.br/eventos/epenf/xviii/sys/listaresumo.asp

</