

O PRODUTO DIDÁTICO

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 33

Marcelo Miranda Velten

PRODUTO EDUCACIONAL

DESVENDANDO A NATUREZA DA LUZ

CARIACICA
2025

MARCELO MIRANDA VETEN

DESVENDANDO A NATUREZA DA LUZ

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: Polarização da luz e de micro-ondas no ensino médio: na perspectiva da alfabetização científica por meio da pedagogia freiriana e dos três momentos pedagógicos, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 33 – IFES, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):
Prof. Dr. Fernando José Lira Leal

CARIACICA
2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais, José e Maria por sempre me apoiarem em tudo que faço desde que eu possa me lembrar, com certeza as sementes que possibilitaram este trabalho foram semeadas em mim por eles.

Agradeço a minha esposa, Isabela da Silva Santos, por dormir sozinha enquanto eu escrevo estas páginas.

Agradeço a todos os meus professores, em especial os que participaram da minha formação no Instituto Federal do Espírito Santo.

Agradeço imensamente ao meu orientador o professor Dr. Fernando José Lira Leal por todas as ideias, pela paciência e pela orientação durante esta dura jornada.

Agradeço aos meus estudantes, por me permitirem construir e aplicar esta sequência didática.

Agradeço a todos os meus colegas de curso pelas contribuições, sugestões e companheirismo. Em especial aos meus colegas Victor Ferreira Mendonça e Lehi Nazareth da Costa pelo apoio moral e intelectual além, da constante troca de informações.

Agradeço, também, às professoras Mariluza Sartori Deorce e Aline Costalonga Gama pela leitura deste trabalho e as valiosas considerações em sua etapa final.

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

APRESENTAÇÃO

Caro professor (a),

Este guia didático foi elaborado como parte da pesquisa científica intitulada Polarização da luz e de micro-ondas no ensino médio: na perspectiva da alfabetização científica por meio da pedagogia freiriana e dos três momentos pedagógicos, desenvolvida no programa Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), polo 33 – IFES, pelo mestrando Marcelo Miranda Velten orientado pelo Professor, Dr. Fernando José Lira Leal. Este guia está vinculado à dissertação de mestrado resultante da pesquisa.

A proposta aqui descrita foi aplicada integralmente a uma turma de primeira série do ensino médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Theodomiro Ribeiro Coelho, localizada no município de Cariacica, ES, no início do ano de 2024 em uma disciplina eletiva. Este guia conta com uma sequência didática (SD) e um conjunto de tutoriais para a produção de experimentos de baixo custo buscando auxiliar professores que porventura desejem integrá-lo em sua prática docente, seja de forma completa ou parcial.

As atividades da sequência didática estão estruturadas de acordo com a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP), que sintetizam as ideias da pedagogia de Paulo Freire, especialmente para o ensino de ciências. Na estrutura das atividades bem como dos materiais elaborados destacamos que há uma forte influência da obra de Freire “A importância do ato de ler” que o autor objetivou vincular à ideia Alfabetização Científica, de forma que a leitura de textos é um exercício central em todas as atividades.

SUMÁRIO

1. Introdução	6
1.1 – Objetivos.....	7
1.1.1 – Objetivo Geral	7
1.1.2 – Objetivos específicos de ensino geral	7
1.1.3 – Objetivos específicos de ensino de Física	7
2. A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, A PEDAGOGIA DE FREIRE, E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	9
2.1 O conceito de Alfabetização Científica	9
2.2 A pedagogia de Paulo Freire	9
2.3 – Os três momentos pedagógicos	11
3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.	12
3.1 – Atividade 01: Um monitor secreto?	12
3.1.1 – Materiais utilizados na “atividade 01 – Um monitor secreto”	19
3.2 – Atividade 02: E os óculos?.....	22
3.2.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 02 – E os óculos?	29
3.3 – Atividade 03: Lei de Malus.....	33
3.3.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 02 – E os óculos?	40
3.4 – Atividade 04: Polarização de Micro-ondas.....	45
3.4.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 04 – Polarização de Micro-ondas	54
4. RECURSOS NECESSÁRIOS PARA A APLICAÇÃO DESTE PRODUTO E COMO PRODUZÍ-LOS	59
4.1 – Os filtros polarizadores, os óculos de sol e as imagens	59
4.2 – Construção de um “polarímetro caseiro”.....	61
4.2.1 – Lista de materiais para a construção de um “polarímetro caseiro”	62
4.2.2 – Execução da construção de um “polarímetro caseiro”	62
4.2.3 – Uma breve explanação sobre a plataforma Arduino	63
4.3 – Construção de um experimento de polarização de micro-ondas	70
4.3. 2 – Execução da construção de um experimento de polarização de micro-ondas	71
5 UM POUCO SOBRE POLARIZAÇÃO DA LUZ	79
5.1 Polarização Linear	79
5.1.1 Filtros polarizadores	80
5.1.2 Lei de Malus	81
5.2 Polarização da luz nas telas LCD	82
6. ORIENTAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	89

1. INTRODUÇÃO

Essa sequência didática foi construída com o objetivo de promover uma forma de aprendizado que fosse crítico e agradável para os estudantes, ensinando uma Física voltada à leitura de mundo e que dialoga com elementos do cotidiano. Com este objetivo em mente foi necessário encontrar, um conteúdo adequado, que estivesse presente em muitas aplicações práticas, que fossem de certa maneira acessíveis aos estudantes.

Sob a orientação do Professor Dr. Fernando José Lira Leal determinamos que o conteúdo relacionado ao fenômeno de polarização da luz cumpria estes requisitos, devido a suas inúmeras aplicações: óculos antirreflexo, óculos 3D, telas LCD, detecção de substâncias via polarímetro e determinação de tensões por estresse mecânico em materiais anisotrópicos. Além destas aplicações, por vezes mais ligadas ao cotidiano e por vezes mais voltadas a ciência, temos experimentos que podem ser construídos com baixo custo, usando materiais acessíveis ou reciclados, por exemplo, filtros polarizadores retirados de telas LCD estragadas, pequenos lasers e lanternas. Os experimentos com luzes e geração de cores por sua vez tendem a ser esteticamente agradáveis, causando um maior engajamento dos estudantes e tornando as aulas potencialmente mais prazerosas. Para promover um aprendizado crítico por sua vez, foi necessária uma metodologia condizente e baseada em uma pedagogia firmada na educação crítica: os Três Momentos Pedagógicos (3MP).

Esperamos que este material gere impactos onde for aplicado, dando aos educandos uma nova visão da Física que tanto estudam, propiciando autonomia e criticidade para que nova visão da Física se alie a uma nova visão de mundo. Desejamos, também, outros impactos futuros caso o material seja porventura útil aos demais professores, sejam estes estudantes do MNPEF ou apenas professores de Física/Ciências interessados em fugir das aulas tradicionais.

1.1 – Objetivos

Nesta seção apresentaremos os objetivos da sequência didática, estão divididos em duas categorias, o objetivo geral, que engloba toda a visão do que pretendemos fazer com a sequência didática e os objetivos específicos, que são as etapas que devemos vencer para alcançar o objetivo geral.

1.1.1 – Objetivo Geral

Promover a autonomia, criticidade, leitura de mundo e alfabetização científica dos estudantes utilizando uma sequência didática centrada em polarização da luz e estruturada por meio dos Três Momentos Pedagógicos.

1.1.2 – Objetivos específicos de ensino geral

- I. Promover a leitura de textos lúdicos e informativos sobre conceitos científicos;
- II. Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano;
- III. Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento;
- IV. Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial;
- V. Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que permitam o julgamento fundamentado de certas questões.

1.1.3 – Objetivos específicos de ensino de Física

- I. Descrever a natureza ondulatória da luz;
- II. Descrever a luz como uma onda formada por vetores;
- III. Relacionar a luz visível com as demais ondas eletromagnéticas;
- IV. Explicar o fenômeno de polarização da luz visível;
- V. Relacionar o fenômeno de interferência da luz visível com a formação de cores a partir da luz branca;
- VI. Identificar a polarização da luz visível por reflexão;
- VII. Relacionar a formação de cores numa tela LCD com as características vetorial e ondulatória da luz, por meio dos fenômenos de interferência e polarização;

- VIII. Avaliar a eficácia dos óculos de Sol polarizados em prevenir acidentes de trânsito;
- IX. Relacionar a polarização da luz por reflexão com filtros polarizadores de câmeras fotográficas;
- X. Aplicar a Lei de Malus a problemas simples de Física contextualizados as tecnologias estudadas;
- XI. Identificar a presença do fenômeno de polarização em micro-ondas;
- XII. Aplicar a Lei de Malus a polarização linear de micro-ondas.

2. A ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA, A PEDAGOGIA DE FREIRE, E OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.

Nesta seção apresenta-se de forma resumida e introdutória o referencial teórico que se pretende utilizar durante a pesquisa: A ideia de educação científica e a pedagogia de Paulo Freire.

2.1 O conceito de Alfabetização Científica

De forma muito breve, o conceito de Alfabetização Científica engloba as preocupações dentro do ensino de ciências de se formar cidadãos que consigam dominar os conceitos científicos, aplicando-os em vários contextos de sua vida. Sasseron e Carvalho (2011) analisaram a ideia de alfabetização do ponto de vista de diversos autores e criaram três eixos estruturantes que utilizaremos como auxílio para este trabalho

Compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais;
Compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática;
Entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente (Sasseron e Carvalho, 2011, p.75-76)

Embora as ideias expressas nesta seção não deem conta de nem gerar uma definição rigorosa de Alfabetização Científica e nem a conceituar o bastante, vimos que as noções destes conceitos se atrelam fortemente ao uso da linguagem. Fazendo um paralelo com a seção anterior, o autor deste texto acredita que a alfabetização científica se dá quando o estudante consegue conectar seu pensamento com a linguagem científica, tendo assim o domínio necessário sobre os instrumentos fornecidos pela ciência para intervir em sua realidade.

2.2 A pedagogia de Paulo Freire

A pedagogia de Paulo Freire se alinha com a ideia de alfabetização científica. Todavia as ideias de Freire são muito amplas e partem da crítica daquilo que este chama de educação bancária. Uma visão de educação que por sua vez parece se opor ao que conceituamos como alfabetização científica. Na educação bancária prevalecem a

narração e a dissertação do professor, os temas estudados são abordados como um pedaço de conhecimento de mundo desconectado de tudo e, portanto, a palavra na educação bancária torna-se morta e estática.

Falar da realidade como algo parado, estático, compartmentado e bem comportado, quando não falar ou dissertar sobre algo completamente alheio à experiência existencial dos educandos vem sendo, realmente, a suprema inquietação desta educação. A sua irrefreada ânsia. Nela, o educador aparece como seu indiscutível agente, como o seu real sujeito, cuja tarefa indeclinável é "encher" os educandos dos conteúdos de sua narração. Conteúdos que são retalhos da realidade desconectados da totalidade em que se engendram e em cuja visão ganhariam significação. (Freire,1987, p.37)

A educação bancária parece fazer oposição à ideia de contexto e prejudica a significação das palavras. Deve ser estudada sob a justificativa de ser evitada, o que se acredita ser uma tarefa árdua, uma vez que permeia os ambientes formais de ensino e aprendizagem. Pode-se amenizar a aspereza desta empreitada dando-se a devida atenção aos pressupostos da educação bancária.

- a) o educador é o que educa; os educandos, os que são educados;
- b) o educador é o que sabe; os educandos, os que não sabem;
- c) o educador é o que pensa; os educandos, os pensados;
- d) o educador é o que diz a palavra; os educandos, os que a escutam docilmente;
- e) o educador é o que disciplina; os educandos, os disciplinados;
- f) o educador é o que opta e prescreve sua opção; os educandos os que seguem a prescrição;
- g) o educador é o que atua; os educandos, os que têm a ilusão de que atuam, na atuação do educador;
- h) o educador escolhe o conteúdo programático; os educandos, jamais ouvidos nesta escolha, se acomodam a ele;
- i) o educador identifica a autoridade do saber com sua autoridade funcional, que opõe antagonicamente à liberdade dos educandos; estes devem adaptar-se às determinações daquele;
- j) o educador, finalmente, é o sujeito do processo; os educandos, meros objetos. Se o educador é o que sabe, se os educandos são os que nada sabem, cabe àquele dar, entregar, levar, transmitir o seu saber aos segundos. Saber que deixa de ser de "experiência feito" para ser de experiência narrada ou transmitida. (Freire,1987, p.38)

Em oposição à educação bancária é proposta a educação dialógica e problematizadora, uma proposta de educação que se fundamenta no diálogo entre educador-educando, nunca impondo a visão de mundo de um sobre o outro:

Nosso papel não é falar ao povo sobre a nossa visão do mundo, ou tentar impô-la a ele, mas dialogar com ele sobre a sua e a nossa. Temos de estar convencidos de que a sua visão do mundo, que se manifesta nas várias formas de sua ação, reflete a sua situação no mundo, em que se constitui. A ação educativa e política não pode prescindir do conhecimento crítico dessa situação, sob pena de se fazer “bancária” ou de pregar no deserto. (Freire, 1987, p.55)

O que se visa nesta pesquisa é promover a alfabetização científica, ao passo que se evita a educação bancária, mas utiliza-se da dialogicidade problematizadora.

2.3 – Os três momentos pedagógicos

Para aplicar as ideias de Freire ao ensino de ciências foi desenvolvida metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (3MP) proposta inicialmente por Delizoicov e Angotti na década de 1980 (Muenchen e Delizoicov, 2011).

Essa estratégia consiste em organizar a abordagem temática (temas geradores de Freire) em três momentos distintos. A **problematização inicial (PI)**, consiste em apresentar aos estudantes questões ou situações reais que estes conhecem e presenciam e que estejam envolvidas nos temas científicos que se deseja abordar. Esta etapa tem por objetivo fazer com que os estudantes expressem seus conhecimentos prévios e percebam a necessidade de buscar novos conhecimentos. Segue-se da problematização inicial a etapa de **organização do conhecimento (OC)**, onde sob a orientação do professor os conhecimentos de ciências são estudados para compreensão do tema e das questões/situações problematizadoras. Por fim, se tem a **aplicação do conhecimento (AC)** onde o estudante deve interpretar tanto as questões/situações iniciais como outras ligadas ao tema de interesse. (Muenchen e Delizoicov, 2014)

Pode-se dizer que os três momentos pedagógicos reúnem em si a geração de temas, a problematização e são orientados a manter um constante diálogo entre o conhecimento científico e as vivências do estudante. Se corretamente empregados, evitam a educação bancária e promovem a educação freiriana.

3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA.

Agora apresentaremos a sequência didática em si, mostrando todas as atividades que nela constam, explicando cada aspecto abordado nelas, bem como os materiais de apoio produzidos ou utilizados.

Todas as atividades da sequência são inspiradas na pedagogia freiriana, ou seja, prezam a dialogicidade, a participação do estudante como sujeito que constrói seu conhecimento por meio de um aprendizado crítico e cheio de significado. A metodologia aplicada promove a problematização como ponto de partida, o que implica incentivar o estudante a buscar o conhecimento, a partir da conscientização de que este conhecimento lhe escapa. O conhecimento buscado e adquirido deve por sua vez ser aplicado em alguma tarefa ou conjunto de exercícios.

A Física que buscamos explicar é a polarização da luz (visível e micro-ondas), retomamos que esta área da Física é rica em aplicações tecnológicas que são frequentemente presentes no cotidiano dos estudantes, tais como: óculos de sol, óculo 3D, o funcionamento de telas LCD como as encontradas em televisores, telas de celular e monitores. Há aplicações de cunho científico e tecnológico que se afastam um pouco do cotidiano do estudante, mas que apresentam potencial como a busca por estresse mecânico em materiais como o acrílico, que a princípio é isotrópico, mas que se torna anisotrópico ao ser submetido a tensões mecânicas. Ou mesmo a detecção de substâncias como o açúcar por meio de um polarímetro, mostrando que a polarização da luz pode ocorrer de formas diferentes, dependendo do material pelo qual ela está atravessando. Aproveitaremos o tema para estudar também a natureza da luz, que pode ser evidenciada como vetorial pelos fenômenos de polarização e ondulatória pelos de difração e interferência.

Aliando um tema tão rico a uma abordagem de ensino profunda e integral, esperamos causar impactos significativos na aprendizagem e formação dos estudantes.

3.1 - Atividade 01: Um monitor secreto?

Esta atividade iniciará com um pequeno experimento onde um par de óculos de sol polarizado é girado lentamente na frente de um monitor de notebook. Os estudantes

devem perceber que para determinadas posições é possível ver que a imagem na tela por trás da lente dos óculos, mas à medida que os óculos giram partindo desta posição a imagem vai escurecendo até que seja impossívelvê-la. Serão propostas um conjunto de questões, que se encontram no quadro resumo da atividade como o objetivo de conscientizar os educandos da necessidade de busca de conhecimento, concluindo a etapa de problematização inicial (PI) do ciclo.

Prosseguindo, o professor e os alunos farão a leitura do texto: “Um monitor secreto”, de caráter casual, mas repleto de informações interessantes que podem servir de aporte para que os educandos ampliem seu vocabulário científico. Permitindo uma apropriação destes termos para relacioná-los com o experimento visto na etapa anterior. Finalizando a leitura compartilhada haverá uma discussão mediada pelo professor, aos moldes de uma Tertúlia Dialógica Científica (TDC) (CALZOLARI, BATISTETI e DE MELLO, 2020). Depois de finalizada a discussão sobre o texto, o professor deve utilizar as ideias expostas pelos estudantes em uma aula expositiva e dialogada sobre o funcionamento das telas de LCD, abordando principalmente os fenômenos de polarização e interferência da luz visível, completando a etapa de Organização do Conhecimento (OC).

Ao final teremos um conjunto de tarefas por meio de um questionário final, para que os estudantes expressem indícios de aprendizagem no final deste ciclo, fechando o último momento pedagógico da primeira atividade, a Aplicação do Conhecimento (AC).

Apresentamos em seguida o quadro 01 com a estrutura planejada para a atividade, ressaltando que a cada segundo de aula, essa estrutura pode e deve ser alterada e replanejada dado o caráter dialógico da abordagem que a força a se adequar aos conhecimentos e saberes prévios dos estudantes, levando em consideração a experiência que estes trazem consigo para a sala de aula.

Quadro 01 – Organização proposta para a atividade 01 – Monitor secreto?

Etapa dos 3MP	Execução	Objetivos	Tempo
PI	<p>Situação problema:</p> <p>Apresentação de um experimento onde um par de óculos de sol polarizado gira na frente de um monitor de computador.</p> <p>Questões problematizadoras:</p> <p>Questão 01 – Por que para determinadas posições podemos ver a imagem atrás da lente dos óculos e para outras não?</p> <p>Questão 02 – O resultado do experimento muda se invertermos o sentido de rotação dos óculos?</p> <p>Questão 03 – Este experimento funciona para quaisquer óculos de sol?</p> <p>Questão 04 – O que observamos durante o experimento tem algo a ver com o funcionamento da tela do monitor?</p> <p>Questão 05 – Como funciona uma tela LCD?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Investigar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema. Instigar os estudantes partindo de uma situação que pode ocorrer no cotidiano. Fazer com que o aluno sinta necessidade de buscar novos conhecimentos para explicar a situação. <p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre 	50 min

	<p>Questão 06 – Por que os óculos de sol se comportam desta maneira quando giram na frente de uma tela LCD?</p> <p>Questão 07 – O que precisaríamos estudar para compreender o que está de fato ocorrendo neste experimento?</p>	<p>carregados de significado potencial.</p> <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrever a natureza ondulatória da luz. • Descrever a natureza vetorial da luz 	
OC	<p>Leitura compartilhada do texto “Um monitor secreto”.</p> <p>Discussão do texto aos moldes da TDC.</p> <p>Aula expositiva e dialogada sobre o funcionamento das telas LCD, com ênfase nos fenômenos de polarização e interferência.</p> <p>Nesta aula serão abordados os temas de polarização relacionados ao funcionamento de uma tela LCD.</p> <p>A aula deve ser iniciada apresentando a luz enquanto onda eletromagnética, mostrando a oscilação dos campos elétricos e magnéticos. Devemos ilustrar a diferença de magnitude entre estes campos e explicar que devido a isso passaremos a representar a onda</p>	<p>Abordar os conteúdos sobre a natureza da luz enquanto onda eletromagnética.</p> <p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover a leitura. • Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano. • Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. 	50 min

<p>apenas com o campo elétrico. Finalmente buscarmos explicar como ocorre a polarização desta onda de luz. Concluída a introdução da aula deve-se abordar como este fenômeno ocorre no LCD.</p> <p>Sendo assim, o professor deve discutir como é a estrutura interna desta tela. Salientamos a necessidade de informar os fenômenos de interesse que ocorrem em cada uma das suas camadas. Aconselhamos que o professor mostre o esquema completo das camadas desta tela e em seguida faça a seguinte transposição didática para simplificar a explicação:</p> <p>Cada pixel da tela é composta, de forma simplificada, das seguintes camadas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fonte de luz branca não polarizada. 2. Filtro polarizador horizontal. 3. Camada de cristal líquido (onde há moléculas cuja posição pode ser controlada eletricamente). 4. Filtro com as cores vermelho, verde e azul. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrever a natureza ondulatória da luz. • Descrever a luz como uma onda formada por vetores. • Relacionar a luz visível com as demais ondas eletromagnéticas. • Explicar o fenômeno de polarização da luz visível. • Relacionar o fenômeno de
--	--

<p>5. Filtro Polarizador vertical.</p> <p>Assim, a luz branca não polarizada é emitida do fundo da tela, quando passa pelo primeiro filtro polarizador se torna polarizada. Ao passar pelo cristal líquido com a posição das moléculas alteradas pela eletricidade, o eixo de oscilação da luz é girado. O ângulo em que este eixo é girado pode ser diferente para camadas de cristal líquido sobreposta aos filtros de cada cor (vermelho, verde e azul). Se desejarmos que o pixel emita a cor azul, basta girarmos o eixo de oscilação da onda que passa pelo cristal líquido sobreposto ao filtro azul em 90 graus. Dessa forma as luz que atravessa o filtro azul oscilará em um plano paralelo ao filtro polarizador vertical. Enquanto as ondas que atravessam os filtros vermelho e verde oscilarão em um plano ortogonal ao filtro polarizador vertical, não podendo atravessá-lo e garantindo que este pixel emite apenas a cor Azul.</p> <p>Para gerar cores diferentes das três cores citadas (vermelho, verde e azul) em um pixel, podemos girar o eixo de oscilação das ondas que</p>	<p>interferência da luz visível com a formação de cores a partir da luz branca.</p> <ul style="list-style-type: none">• Identificar a polarização da luz visível por reflexão.
--	--

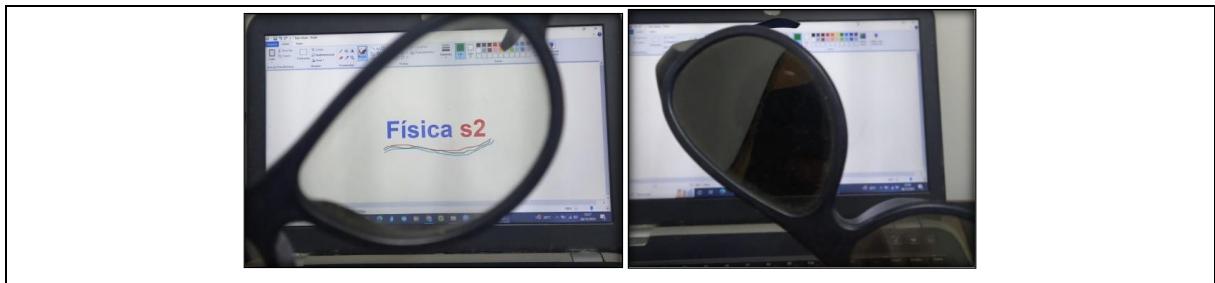
	atravessam cada filtro em um ângulo intermediário entre 0 e 90 graus, de forma a gerar a cor desejada.		
AC	<p>Retomada das questões iniciais por meio de um novo questionário, o questionário final.</p> <p>Questão 01 – Explique como o giro dos óculos em frente a tela causa o fenômeno observado. Ou seja, explique por que a imagem através da lente fica mais clara ou mais escura.</p> <p>Questão 02 – Como funciona a tela LCD e qual dos seus componentes causa o fenômeno observado no experimento?</p> <p>Questão 03 – O que há na lente dos óculos de sol que permite este comportamento quando ele gira em frente a uma tela LCD?</p> <p>Questão 04 – Uma atividade que realizamos foi a leitura do texto: “Um monitor secreto”. O monitor apresentado neste pequeno texto é de fato secreto? Ou seja, este monitor garante à pessoa o anonimato do que ela está vendo?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reinterpretar as situações e questões problematizadoras. • Confrontar os estudantes com um novo problema que aborda os conhecimentos que estes acabam de adquirir. 	50 min

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 – Materiais utilizados na “atividade 01 – Um monitor secreto”

Imagens relativas ao experimento mencionado na PI

Figura 01 – Figuras relativas ao experimento mencionado na PI.



Fonte: Acervo do autor.

Questionário Inicial utilizado na problematização inicial (PI)

Questão 01 – Por que para determinadas posições podemos ver a imagem atrás da lente dos óculos e para outras não?

Questão 02 – O resultado do experimento muda se invertermos o sentido de rotação dos óculos?

Questão 03 – Este experimento funciona para quaisquer óculos de sol?

Questão 04 – O que observamos durante o experimento tem algo a ver com o funcionamento da tela do monitor?

Questão 05 – Como funciona uma tela LCD?

Questão 06 – Por que os óculos de sol se comportam desta maneira quando giram na frente de uma tela LCD?

Questão 07 – O que precisaríamos estudar para compreender o que está de fato ocorrendo neste experimento?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Texto utilizado na OC

Orientações: Durante a leitura compartilhada anote suas dúvidas sobre o texto, bem como os termos que você não conhece. Caso tenha alguma consideração ou algo que queira compartilhar durante a discussão, anote.

Um monitor secreto

Não pude deixar de conter meu espanto quando o encontrei usando óculos escuros a noite no quarto olhando para uma tela branca com os fones *bluetooth* nos ouvidos.

Se espantou com meu grito

— Você está ficando louco, menino?

Ele retirou os fones, meio sem graça e os óculos em seguida, me respondeu que não... Havia feito aquilo por uma questão de privacidade.

— Eu vi no *youtube*, mãe.

Não pude suportar aquilo.

— E ainda estragou o monitor,

— Não está estragado, é um monitor secreto!

— Eu posso ver com isso!

Ele me disse, me passando os óculos que eu prontamente peguei, para meu espanto, onda havia uma tela branca a olho nu, se tornava um vídeo de um canal nerd no *youtube* através das lentes dos óculos.

— Tudo bem, mas você estragou o monitor para todo mundo.

— Mas mãe, esse é o monitor velho do seu antigo computador, ninguém mais ia usar isso.

— Tá bom, meu filho, eu só te peço que da próxima vez me pergunte antes de fazer essas coisas e tome cuidado ao desmontar, você pode acabar se machucando.

Eu disse pensando em terminar a conversa e descansar um pouco, mas ao ver seu rostinho se enrugando com o franzir da testa percebi: ele queria explicar o que fez...

— Mas como você fez isso?

— É o filtro polarizador, mãe. Eu o retirei...

— É o que, meu filho?

— A tela funciona como um grande mosaico, onde cada pixel é uma pecinha.

— Isso eu sei.

— Cada pixel vai ter uma dessas três cores, verde, azul ou vermelho. Mas essas cores são geradas a partir da luz branca que passa pelo cristal líquido. Só que pra isso, essa luz tem que passar por uma película chamada filtro polarizador.

— Então quando você removeu o filtro polarizador a tela ficou completamente branca.

— Isso! Eu também recortei parte da película e colei na lente destes óculos.

— Então é por isso que podemos ver o que está na tela através da lente dos óculos.

— Isso, mamãe! Agora eu posso ver o que está na tela sem que ninguém fique sabendo.

— Muito bem, meu pequeno Einstein, mas eu ainda tenho que saber tudo que você anda vendo pela internet afora...

— Mas mamãe...

— Foi um bom trabalho, meu amor, mamãe tem muito orgulho de você.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Imagens ilustrativas da situação descrita no texto

Figura 02 – Emulando a situação descrita no texto, a esquerda emula uma tela sem o filtro polarizador frontal e a direita emula a mesma tela através da lente de um par de óculos com filtro polarizador



Fonte: Acervo do autor.

Recomendamos ainda, caso o texto não seja o bastante para a compreensão dos estudantes sobre a situação descrita, que o professor apresente algum vídeo com a experiência descrita no texto, remoção do filtro polarizador externo de uma tela. Sugerimos os dois vídeos a seguir, um feito com um monitor de computador, como no texto (<https://www.youtube.com/watch?v=A7ITbEsACa8>) e outro feito com uma tela de celular. (<https://www.youtube.com/watch?v=YqRrOh7tFJA>)

Material de apoio para a produção da aula sobre telas LCD.

Em vista de fornecer subsídios ao professor para a elaboração e desenvolvimento da aula expositiva e dialogada sobre as telas de cristal líquido (LCD), separamos os seguintes materiais.

- [Introdução a Física dos Cristais Líquidos](#) (dissertação de mestrado, sobretudo a partir da página 73).
- [Cristais Líquidos como Ferramenta de ensino de Física Moderna e Contemporânea](#) (Trabalho de conclusão de curso, sobretudo o expresso a partir da página 49)
- [LCD ou LED: Qual a diferença? Como funcionam?](#) (divulgação científica)

Além disso, sugerimos a Leitura do quinto capítulo deste produto, bem como de suas referências para um maior aprofundamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionário final

Questão 01 – Explique como o giro dos óculos em frente a tela causa o fenômeno observado. Ou seja, explique por que a imagem através da lente fica mais clara ou mais escura.

Questão 02 – Como funciona a tela LCD e qual dos seus componentes causa o fenômeno observado no experimento?

Questão 03 – O que há na lente dos óculos de sol que permite este comportamento quando ele gira em frente a uma tela LCD?

Questão 04 – Uma atividade que realizamos foi a leitura do texto: “Um monitor secreto”. O monitor apresentado neste pequeno texto é de fato secreto? Ou seja, este monitor garante a pessoa o anonimato do que ela está vendo?

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 – Atividade 02: E os óculos?

Esta atividade busca investigar o porquê da presença de filtros polarizadores em alguns óculos de sol. Deve iniciar com esta discussão, onde o professor relembra

brevemente os assuntos estudados na atividade anterior, ressaltando a importância dos filtros polarizadores na formação de imagens nas telas LCD. Todavia, qual seria a necessidade de um filtro polarizador em certos óculos de Sol? Qual benefício estes filtros trazem? Durante esta etapa da atividade serão mostradas as duas figuras a seguir:

Figura 03 – Duas fotos de um mesmo local, uma retirada direto da câmera e outra com a câmera sobre uma lente de óculos de sol polarizado.



Fonte: Acervo do autor.

Os estudantes serão questionados sobre em qual das fotos há uma interferência de um filtro polarizador e porque ele causa esse tipo de efeito na luz, e principalmente, em que tipo de luz. Estes questionamentos compõem o questionário inicial da atividade, que segue expresso na tabela abaixo. Estas questões problematizadoras irão compor a problematização inicial (PI).

Na organização do conhecimento (OC), os estudantes irão ler, em grupo, o texto “Polarização da luz por reflexão” com foco em utilizar as informações do texto para construção de argumentos usados no seguinte debate. Um debate com o seguinte tema: “Aplicações da polarização da luz: podem os óculos de sol polarizados prevenir acidentes?”

Por fim teremos a aplicação do conhecimento (AC), onde os estudantes deverão se dividir em dois grandes grupos, um defendendo a utilidade dos óculos de sol polarizados como uma ferramenta que previne acidentes de trânsito e outro que defenda a inutilidade dos mesmos.

Abaixo apresentamos o quadro 02 onde sugerimos a organização para a atividade 02.

Quadro 02 – Organização proposta para a atividade 02 – E os óculos?

Etapa dos 3MP	Execução	Objetivos	Tempo
PI	<p>Situação problema:</p> <p>Os estudantes serão questionados do porquê da presença de filtros polarizadores em óculos de Sol.</p> <p>Resposta às questões problematizadoras do Questionário Inicial.</p> <p>Questão 01 – Quais são as vantagens de se ter um par óculos de sol polarizado em detrimento de um não polarizado?</p> <p>Questão 02 – Os óculos de sol polarizados podem trazer algum benefício que as lentes escuras com proteção UV não trazem?</p> <p>Questão 03 – Para que os filtros polarizadores nos óculos apresentem algum efeito, é necessário que a luz que chegue até eles seja polarizada, mas como pode essa luz ser</p>	<ul style="list-style-type: none"> Confrontar os estudantes com uma questão que não foi respondida na atividade anterior, para que estes sintam a necessidade de respondê-la. <p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover a leitura. Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano. Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. 	50 min

<p>polarizada sem passar por um filtro polarizador?</p> <p>Questão 04 – Seria possível usar este efeito de polarização da luz para outras tecnologias? Quais?</p>	<ul style="list-style-type: none">• Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none">• Descrever a natureza ondulatória da luz.• Descrever a luz como uma onda formada por vetores.• Identificar a polarização da luz visível por reflexão.• Relacionar a polarização da luz por reflexão com filtros polarizadores de câmeras fotográficas.
---	--

OC	<p>Leitura do texto “Polarização da luz por reflexão” pelos estudantes em grupos.</p> <p>Elaboração de cinco argumentos a favor da eficiência dos óculos de sol polarizados para a prevenção de acidentes de trânsito e cinco argumentos contra esta tese.</p>	<p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. • Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrever a natureza ondulatória da luz. • a luz como uma onda formada por vetores. • Identificar a polarização da luz 	<p>26</p> <p>50 min</p>
----	--	--	-------------------------

		<p>visível por reflexão e por sua propagação em meios birrefringentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relacionar a polarização da luz por reflexão com filtros polarizadores de câmeras fotográficas. 	
AC	Os alunos divididos em dois grandes grupos deverão realizar um debate mediado pelo professor utilizando e treplicando os argumentos produzidos durante a leitura do texto.	<p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. • Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. 	50 min

	<p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none">• Descrever a natureza ondulatória da luz.• Descrever a luz como uma onda formada por vetores.• Identificar a polarização da luz visível por reflexão.• Relacionar a polarização da luz por reflexão com filtros polarizadores de câmeras fotográficas.
--	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 02 – E os óculos?

Questionário Inicial utilizado na problematização inicial (PI)

Questão 01 – Quais são as vantagens de se ter um par óculos de sol polarizado em detrimento de um não polarizado?

Questão 02 – Os óculos de sol polarizados podem trazer algum benefício que as lentes escuras com proteção UV não trazem?

Questão 03 – Para que os filtros polarizadores nos óculos apresentem algum efeito, é necessário que a luz que chegue até eles seja polarizada, mas como pode essa luz ser polarizada sem passar por um filtro polarizador?

Questão 04 – Seria possível usar este efeito de polarização da luz para outras tecnologias? Quais?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Imagens utilizadas na problematização inicial (PI)

Figura 04 – Duas fotos de um mesmo local, uma retirada direto da câmera e outra com a câmera sobre uma lente de óculos de sol polarizado.



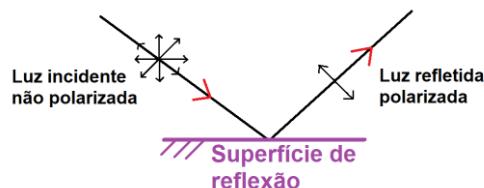
Fonte: Acervo do autor.

Texto utilizado na organização do conhecimento (OC)

Polarização da luz por reflexão

A polarização da luz é um fenômeno muito estudado quando tratamos de tecnologias que vão desde filtros fotográficos até mesmo a monitores LCD. Todavia, como todo fenômeno físico, a polarização da luz ocorre na natureza, e justamente por isso pode ser utilizada em algumas aplicações.

Dois fenômenos conhecidos por gerar a polarização, da luz são a reflexão e a birrefringência, o primeiro ocorre com os raios de luz refletidos, estes são parcialmente polarizados. O segundo, o qual estudaremos mais a frente se trata da passagem da luz por certos meios, quando isso acontece o raio de luz que incide no material é dividido em dois raios, ambos polarizados.



Quando a luz é refletida com uma inclinação específica, o ângulo de Brewster, ela fica totalmente polarizada, como na figura indicada acima, mas, quando a inclinação é diferente, a luz fica parcialmente polarizada. Quando mais distante é o ângulo de reflexão do raio de luz em relação ao ângulo de Brewster, menor será o efeito de polarização no raio refletido.

A reflexão, todavia, causa um fenômeno muito interessante, o ofuscamento. Superfícies de reflexão irregulares geram raios vindos de diferentes direções, o que pode causar desde uma dificuldade de enxergar um objeto, até a cegueira temporária.

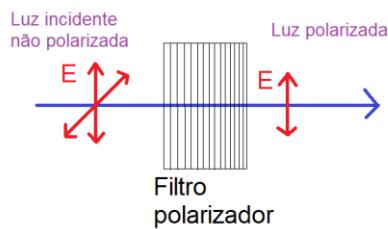
A esquerda o coqueiro e parte do oceano são ofuscados pela luz do Sol, a direita vemos o tanto o coqueiro quanto o oceano através da lente de um óculo de sol polarizado.



Como consequência deste fenômeno físico da polarização, é que podemos, por exemplo construir filtros polarizadores para câmeras fotográficas de forma que estes permitam uma visão mais nítida de uma determinada paisagem ou objeto. O filtro reduz a intensidade da luz que o atravessa. Devemos nos lembrar, no entanto, que essa redução depende do tipo de luz (polarizada ou não) que o atravessa, e no caso da luz polarizada, depende da sua direção de polarização.

A lei de Malus, nos indica que a luz não polarizada ao passar por um filtro polarizador perde metade de sua intensidade. Já para a luz polarizada, o quanto da intensidade que será reduzida depende do ângulo entre o eixo do filtro polarizador e a direção de polarização da luz incidente. Não há perda de intensidade para ângulo zero, a perda será de 100% para um ângulo de 90° . Para outros ângulos, obedece a uma lei matemática que em breve estudaremos.

Esquema mostrando o que ocorre quando a luz atravessa um filtro polarizador.



Como os filtros polarizadores podem reduzir a intensidade de luzes refletidas, é comum vermos propagandas de óculos de sol polarizados afirmando que estes podem ajudar a reduzir acidentes de trânsito. De fato, a luz refletida pelo sol pode causar ofuscamento, mas, em geral o fenômeno ocorre à noite, devido ao farol de

outros carros. A luz do farol também é refletida, porém a direção dos filtros polarizadores dos óculos é estabelecida para reduzir a reflexão da luz solar. Não bastando isso, a luz não polarizada tem a sua intensidade reduzida pela metade, o que pode dificultar muito a visão de obstáculos à noite.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Formulário de proposta e regras do debate realizado na aplicação do conhecimento (AC)

Para a realização do debate os alunos serão divididos em dois grandes grupos, um que defenderá a tese de que óculos de sol com filtros polarizadores podem prevenir acidentes de trânsito, outro que defenda a tese oposta. Cada um dos grandes grupos deverá ler o texto e produzir cinco argumentos a favor e cinco argumentos contra a sua tese, sendo necessário preparar contra-argumentos para os últimos, como uma estratégia de antecipação para o debate que se seguirá.

Cada um dos grandes grupos irá escolher seus representantes, estudantes responsáveis por apresentar os argumentos produzidos. A dinâmica consistirá em: Apresentação do argumento (3 min), réplica (3 min) e tréplica (3 min). O tempo e a cordialidade serão mediados pelo professor.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Material de apoio sobre ofuscamento e propagandas de óculos de sol polarizados.

Para melhor subsidiar os estudantes de exemplos, sugerimos que o professor em algum momento de sua escola (PI ou OC) mostre aos estudantes ao menos um texto sobre ofuscamento em acidentes de trânsito e uma propaganda sobre óculos de sol polarizados onde estes são indicados para prevenir acidentes de trânsito. Abaixo deixamos duas sugestões.

Sobre o ofuscamento: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/causa-de-muitos-acidentes-o-ofuscamento-pode-ser-evitado-veja-como-2/>.

Propaganda de um par de óculos de sol polarizado:

<https://www.lowstore07.com.br/products/oculos-polarizado-para-dirigir-noite-e-em-dias->

chuva?pr_prod_strat=collection_fallback&pr_rec_id=2c091da53&pr_rec_pid=8522795450662&pr_ref_pid=8522796728614&pr_seq=uniform

Fonte: Elaborado pelo autor.

Texto da propaganda:

"O vision plus é um par de óculos com lentes foto cromáticas. Possui lentes que se adaptam a exposição da luz, impedindo ofuscamento por luzes e faróis. Desenvolvido com materiais de altíssima qualidade, ideal para dirigir ou pilotar com segurança, evitando acidentes.

- As lentes amarelas são ideais para a noite e as pretas ideais para o dia.

Benefícios:

- Lentes amarelas são ideias para a noite – impedem o ofuscamento;
- Lentes pretas são ideias para o dia – impedem a exposição ao Sol;
- Seguro e testado por especialistas;
- Evita acidentes de trânsito;

Design ergonômico e moderno."

Fonte: Adaptado de Ls Store, 2023.

3.3 – Atividade 03: Lei de Malus.

Esta atividade se iniciará com a leitura compartilhada e comentada do texto "O polarímetro". Em seguida o professor apresentará o experimento do polarímetro caseiro, que se trata de um filtro polarizador colado a um CD que por sua vez é fixado ao anel externo de um rolamento. O anel interno deste mesmo rolamento é fixado em um colimador, cuja extremidade oposta é ligada a um luxímetro. O anel externo do rolamento ainda é utilizado como uma polia, ligada a outra polia na ponta do eixo de um motor de corrente contínua. Assim, ao ligarmos o motor, garantimos o movimento do CD e por consequência temos um filtro polarizador girante.

Figura 05 – “polarímetro” caseiro.



Fonte: Acervo do autor.

O luxímetro do experimento foi construído para medir a intensidade luminosa em Lux e foi feito com uma placa Arduino nano, sendo assim os valores da intensidade luminosa podem ser representados como um gráfico em função do tempo.

Uma vez que os estudantes estiverem cientes de como o experimento funciona, iniciaremos a problematização inicial (PI) desta atividade, para isso faremos uma série de experimento que em suma se resumem em colocar fontes de luz na frente do polarizador girando:

- A luz de uma lanterna LED comum;
- A luz desta mesma lanterna após passar por uma das lentes de um par de óculos escuros;
- A luz desta mesma lanterna após passar por um filtro polarizador.
- A luz de um laser verde;
- A luz de um laser roxo;
- A luz da mesma lanterna ao passar por um cristal de calcita;
- A luz da mesma lanterna de led, porém refletida por um espelho em direção ao polarizador girante.

À medida que os experimentos forem feitos, os estudantes serão incentivados a observar os gráficos gerados pelo luxímetro e indicar se a fonte de luz é polarizada ou não. Bem como a responder as perguntas do questionário inicial presente no quadro resumo abaixo.

Nossa organização do conhecimento (OC) será direcionada ao gráfico gerado quando a luz é polarizada. Os alunos serão incentivados a responder que tipo de gráfico é esse e como ele se relaciona com a matemática. Em seguida faremos a leitura compartilhada do texto: “Lei de Malus” para que os estudantes possam compreender a lei matemática por trás da geração do gráfico quando a luz é polarizada.

Como aplicação do conhecimento optamos por respostas ao questionário final contendo um conjunto de perguntas em que o estudante deve usar a sua compreensão da Lei de Malus para fazer as associações corretas com os fenômenos mostrados. Indicando como a intensidade luminosa deve se comportar em função do ângulo de polarização.

Quadro 03 – Organização proposta para a atividade 03 – Lei de Malus

Etapa dos 3MP	Execução	Objetivos	Tempo
PI	<p>Situação-Problema:</p> <p>Leitura do texto “O polarímetro” e apresentação do experimento polarímetro caseiro. Execução do experimento e respostas às questões problematizadoras presentes no questionário inicial.</p> <p>Questão 01 – Quando aplicamos a luz da lanterna no filtro polarizador girante você observa algum padrão se formando? Se observa, explique.</p> <p>Questão 02 – Quando a luz da lanterna atravessa a lente do óculo antes de passar pelo polarizador</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer com que os estudantes percebam as regularidades naturais da polarização da luz a partir de gráficos. • Instigar os estudantes a buscar uma explicação científica para tais regularidades. <p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p>	50 min

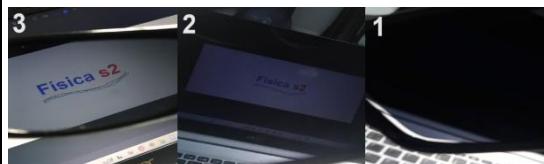
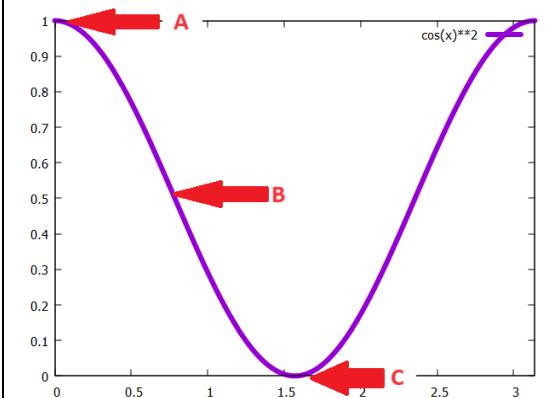
	<p>girante existe algum padrão formado? Explique que padrão é esse.</p> <p>Questão 03 – Podemos dizer que os óculos de sol utilizados neste experimento são polarizados? Se sim, explique o porquê.</p> <p>Questão 04 – A luz de um laser é polarizada? Como ela pode ser polarizada sem um filtro polarizador?</p> <p>Questão 05 – Quando a luz da lanterna é refletida antes de passar pelo filtro polarizador girante, o gráfico formado é o mesmo do gerado quando apontamos a lanterna diretamente para o filtro?</p> <p>Questão 06 – Podemos dizer que a luz refletida pelo espelho é polarizada?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano. Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que permitam o julgamento fundamentado de certas questões. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <p>I</p> <ul style="list-style-type: none"> Explicar o fenômeno de polarização da luz visível. Identificar a polarização da luz visível por reflexão e por sua propagação em meios birrefringentes. 	
OC	<p>Nesta etapa da atividade os estudantes deverão fazer a leitura compartilhada e comentada do texto “Lei de Malus”.</p>	<p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> Promover a leitura. Relacionar os textos lidos com fenômenos 	50 min

<p>Antes da leitura os estudantes serão orientados a buscar responder às seguintes questões:</p> <ul style="list-style-type: none">• Existe algum padrão matemático por trás dos gráficos que observamos?• Qual o significado físico dos picos e dos vales que vimos nos gráficos?	<p>presentes no cotidiano.</p> <ul style="list-style-type: none">• Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetor, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial.• Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que permitam o julgamento fundamentado de certas questões. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none">• Explicar o fenômeno de polarização da luz visível.• Identificar a polarização da luz visível por reflexão.
---	---

AC	<p>Por fim, os estudantes utilizarão os conhecimentos adquiridos no texto para responder ao questionário final.</p> <p>Questão 01 – No gráfico gerado pela Lei de Malus explique o significado dos picos e dos vales.</p> <p>Questão 02 – Um laser atravessa o filtro polarizador do polarímetro caseiro com ângulo de polarização igual a 30°, de forma que o detector indique uma intensidade luminosa, I. Quando o filtro polarizador gira até que o ângulo seja 60° a intensidade luminosa aumenta, diminui ou permanece a mesma? Justifique.</p> <p>Dados:</p> <p>Gráfico da função cosseno quadrado para ângulos de 20° a 70°</p> $\cos(30^\circ) = \sqrt{3}/2,$ $\cos(60^\circ) = 1/2,$ <p>Questão 03 – Uma lanterna emite uma luz com intensidade luminosa I, ao</p>	<p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explicar o fenômeno de polarização da luz visível. • Identificar a polarização da luz visível por reflexão. • Aplicar a Lei de Malus a problemas simples de Física contextualizados as tecnologias estudadas. 	50 min

passar pelo filtro polarizador girante quanto dessa intensidade se perde?

Questão 04 – Associe as imagens 1, 2 e 3 de um filtro polarizador de óculos de sol girando frente à uma tela de computador com os pontos A, B e C no gráfico, da intensidade luminosa que atravessa a lente dos óculos justifique suas escolhas:



Questão 05 – Duas películas polarizadoras são colocadas uma em frente a outra de forma que o ângulo de polarização entre elas seja de 90° , não permitindo nenhuma passagem de luz do primeiro filtro para o segundo. Uma terceira película polarizadora é inserida entre as duas primeiras fazendo um ângulo de 60° com um dos filtros citados. Indique o que vai acontecer com intensidade da

luz que atravessa as duas películas perpendiculares. Justifique.

Fonte: Elaborado pelo autor.

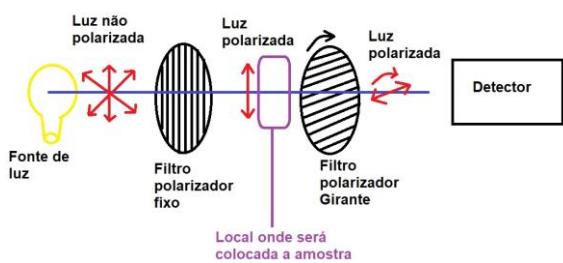
3.3.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 02 – E os óculos?

Texto utilizado na PI

O polarímetro

O polarímetro é um instrumento capaz de determinar a concentração de certas substâncias a partir do desvio no ângulo de polarização da luz. Esta é uma área da Física chamada polarimetria, e só é possível pois certos materiais são capazes de mudar a direção de polarização da luz. Um exemplo de aplicação da polarimetria é na determinação da concentração de açúcar em uma solução com água. Outras aplicações se encontram na indústria farmacêutica para determinar a concentração de substâncias quiralmente ativas (capazes de desviar o eixo de polarização da luz). A figura abaixo exemplifica o funcionamento de um tipo de polarímetro:

Funcionamento de um polarímetro:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionário inicial

Questão 01 – Quando aplicamos a luz da lanterna no filtro polarizador girante você observa algum padrão se formando? Se observa, explique.

Questão 02 – Quando a luz da lanterna atravessa a lente do óculo antes de passar pelo polarizador girante existe algum padrão formado? Explique que padrão é esse.

Questão 03 – Podemos dizer que os óculos de sol utilizados neste experimento são polarizados? Se sim, explique o porquê.

Questão 04 – A luz de um laser é polarizada? Como ela pode ser polarizada sem um filtro polarizador?

Questão 05 – Quando a luz da lanterna é refletida antes de passar pelo filtro polarizador girante, o gráfico formado é o mesmo do gerado quando apontamos a lanterna diretamente para o filtro?

Questão 06 – Podemos dizer que a luz refletida pelo espelho é polarizada?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Texto: Utilizado na OC

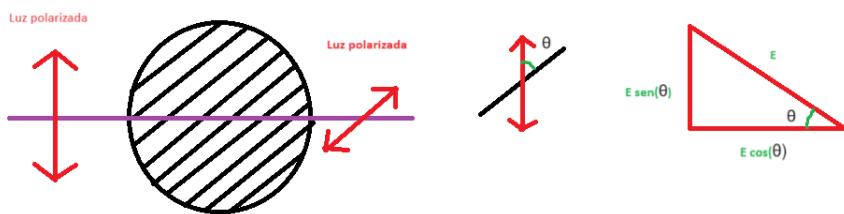
“Lei de Malus”

A Lei de Malus é a representação matemática do fenômeno da polarização da luz, mostrando o que ocorre com a intensidade luminosa quando a luz atravessa um filtro polarizador. Para o caso em que a luz não polarizada atravessa um polarizador, temos uma redução de sua intensidade pela metade, isto é:

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

Isso significa que sempre que uma luz não polarizada passa por um filtro polarizador tem sempre sua intensidade reduzida pela metade, ou em termos mais simples a imagem fica um pouco mais escura quando olhamos através do filtro.

Algo mais interessante ocorre quando passamos a luz já polarizada pelo filtro polarizador, sabemos que a componente do campo elétrico que passa pelo filtro é paralela às suas ranhuras, isso demonstra a natureza vetorial da luz.



Como podemos observar pelo triângulo retângulo o campo elétrico que atravessa o filtro é:

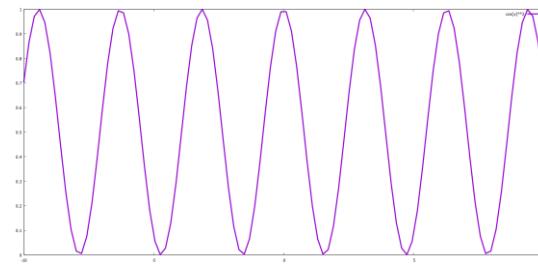
$$E_{após\ filtro} = E_{antes\ do\ filtro} \cos(\theta),$$

Como a intensidade é proporcional ao quadrado do campo elétrico podemos dizer que a intensidade da luz já polarizada ao atravessar o filtro é dada pela seguinte equação:

$$I_{após\ filtro} = I_{antes\ do\ filtro} \cos^2(\theta),$$

Tal equação indica que os valores da intensidade de uma luz já polarizada ao passar por um filtro polarizador oscilam de acordo com um cosseno ao quadrado. Para os casos em que este ângulo, θ , varia uniformemente, a intensidade se comportará como uma função cosseno ao quadrado cujo gráfico está explícito na figura.

Gráfico da função cosseno quadrado:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionário Final

Questão 01 – No gráfico gerado pela Lei de Malus explique o significado dos picos e dos vales.

Questão 02 – Um laser atravessa o filtro polarizador do polarímetro caseiro com ângulo de polarização igual a 30° , de forma que o detector indique uma intensidade luminosa, I . Quando o filtro polarizador gira até que o ângulo seja 60° a intensidade luminosa aumenta, diminui ou permanece a mesma? Justifique.

Dados:

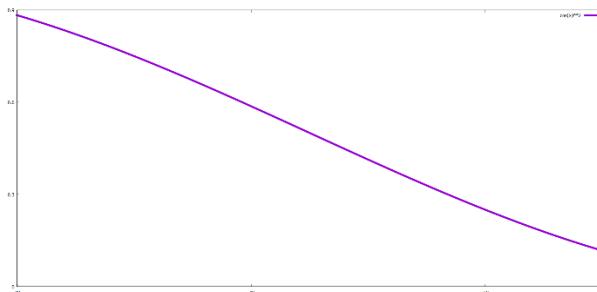


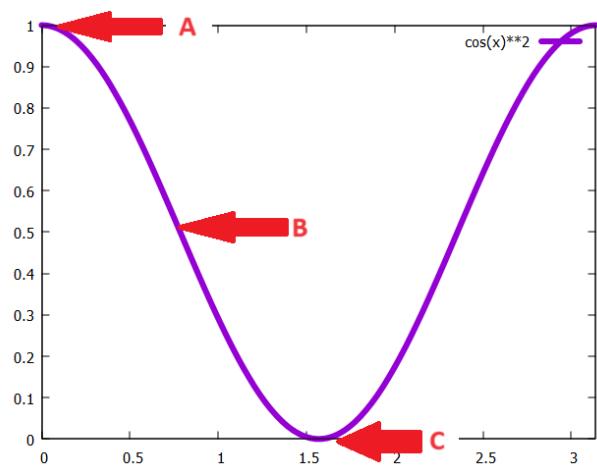
Gráfico da função cosseno quadrado para ângulos de 20° a 70°

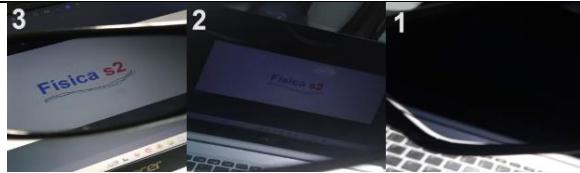
$$\cos(30^\circ) = \sqrt{3}/2,$$

$$\cos(60^\circ) = 1/2,$$

Questão 03 – Uma lanterna emite uma luz com intensidade luminosa I , ao passar pelo filtro polarizador girante quanto dessa intensidade se perde?

Questão 04 – Associe as imagens 1, 2 e 3 de um filtro polarizador de óculos de sol girando frente a uma tela de computador com os pontos A, B e C no gráfico, da intensidade luminosa que atravessa a lente dos óculos justifique suas escolhas:





Questão 05 – Duas películas polarizadoras são colocadas uma em frente à outra de forma que o ângulo de polarização entre elas seja de 90° , não permitindo nenhuma passagem de luz do primeiro filtro para o segundo. Uma terceira película polarizadora é inserida entre as duas primeiras fazendo um ângulo de 60° com um dos filtros citados. Indique o que vai acontecer com intensidade da luz que atravessa as duas películas perpendiculares. Justifique.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 – Atividade 04: Polarização de Micro-ondas.

Esta atividade, composta de três aulas, objetiva estimular a capacidade dos estudantes de generalizar os conceitos sobre polarização de ondas eletromagnéticas aprendidos com enfoque na luz para outras ondas eletromagnéticas. Isso será feito abordando o fenômeno de polarização em escala macroscópica através de um experimento com micro-ondas. Tal experimento, mostrado na figura 22 se constitui de um magnetron acoplado a uma guia de ondas que direciona as micro-ondas emitidas.

Na saída da guia de ondas colocaremos filtros polarizadores construídos com folhas de papelão (translúcidas para as micro-ondas) e vários arames metálicos (raios de roda de bicicleta feitos de aço inox). Desta forma podemos observar quando as esperamos que superpondo dois filtros com a angulação diferente de 90° tenhamos a passagem de micro-ondas entre eles, e superpondo dois filtros com o ângulo de 90° não haja passagem de micro-ondas.

Por fim, resta descrevermos a forma pela qual as micro-ondas foram detectadas, o método deveria estar em concordância com o restante da sequência didática de forma que fosse visual e agradável. Para tanto, optamos por não utilizar aparelhos de medida de campos elétricos/magnéticos, que seriam funcionais, porém poderiam desestimular os estudantes. Ao invés disso utilizamos uma lâmpada fluorescente que se acende na presença de uma certa intensidade de micro-ondas, um método que apresenta certas limitações e, com certeza é muito impreciso, todavia, demonstra a passagem destas de maneira visual e agradável.

Figura 06– Experimento de polarização de micro-ondas.



Fonte: Acervo do autor.

Como problematização inicial (PI) os estudantes serão confrontados com o experimento e as perguntas do questionário inicial, onde deverão responder quando a lâmpada fluorescente acenderá. Primeiro a lâmpada será colocada sobre uma folha de papelão e o professor mostrará que ela acende, explicando que o papelão é “translúcido” para as micro-ondas, em seguida serão apresentadas as seguintes situações: lâmpada sobre um filtro polarizador, a lâmpada sobre dois filtros paralelos, a lâmpada sobre dois filtros com ângulo de aproximadamente 15º entre si e, por fim a lâmpada sobre dois filtros polarizadores com um ângulo de 90º entre si.

Como organização do conhecimento (OC) será feita uma leitura compartilhada e comentada do texto “espectro eletromagnético” que busca apresentar ondas eletromagnéticas para além da Luz visível. De forma que os estudantes possam inferir que devido à natureza comum entre elas, deve haver características compartilhadas entre tais ondas, sobretudo no fenômeno de polarização, onde este deverá ocorrer de acordo com o comprimento da onda eletromagnética observada.

Por fim como aplicação do conhecimento (AC) teremos um questionário final onde os estudantes avaliarão os fatores necessários para a polarização da luz e outras ondas eletromagnéticas, comparar a polarização da luz visível com a polarização de micro-ondas e deverão avaliar uma alternativa que permitiria a polarização de ondas de rádio. A seguir apresentamos o quadro resumo da atividade 04: Polarização de Micro-ondas.

Quadro 04 – Organização proposta para a atividade 04 – Polarização de Micro-ondas.

Etapa dos 3MP	Execução	Objetivos	Tempo
PI	Situação problema: Observação do experimento de polarização de micro-ondas e resposta das perguntas no questionário inicial enquanto o experimento é executado.	Objetivos específicos de ensino em geral: <ul style="list-style-type: none"> • Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que 	50 min

<p>O professor irá explicar em seguida um experimento envolvendo um emissor de micro-ondas, que serão guiadas por uma guia de ondas em direção a uma lâmpada depositada na saída da guia. Preste atenção em toda a explicação e anote as informações que julgar necessárias.</p> <p>Questão 01 – A lâmpada acenderá se a primeira grade for colocada sobre a guia de onda? Justifique.</p> <p>Questão 02 – A lâmpada acenderá com duas grades colocadas em paralelo sobre a guia de onda? Justifique.</p> <p>Questão 03 – A lâmpada acenderá caso coloquemos as duas grades sobre a guia de onda com um ângulo de aproximadamente 15° entre elas? Justifique?</p> <p>Questão 04 – A lâmpada acenderá se as grades forem colocadas sejam colocadas com um ângulo de aproximadamente 90° entre si? Justifique.</p> <p>Questão 05 – Explique como os fenômenos que acabamos de</p>	<p>permitam o julgamento fundamentado de certas questões.</p> <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none">• Descrever a natureza ondulatória da luz.• Relacionar a luz visível com as demais ondas eletromagnéticas.• Identificar a presença do fenômeno de polarização em micro-ondas.
---	---

	visualizar com as micro-ondas podem estar relacionados a polarização que estudamos para a luz visível?		
OC	Leitura do Texto: “Espectro eletromagnético” de forma compartilhada e com discussão e comentários em sala de aula.	<p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover a leitura. • Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano. • Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. • Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetorial, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. 	50 min

		<ul style="list-style-type: none"> • Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que permitam o julgamento fundamentado de certas questões. <p>Objetivos específicos de ensino de Física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descrever a natureza ondulatória da luz. • Relacionar a luz visível com as demais ondas eletromagnéticas. • Identificar a presença do fenômeno de polarização em micro-ondas. • Aplicar a Lei de Malus a polarização linear de micro-ondas. 	
AC	<p>Resposta ao questionário final.</p> <p>Questão 01 – Qual das alternativas abaixo indica o que é necessário para que ocorra a polarização de uma</p>	<p>Objetivos específicos de ensino em geral:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Promover a leitura da palavra escrita. 	50 min

<p>onda eletromagnética por filtros polarizadores.</p> <p>a) As ranhuras do filtro polarizador devem ter um comprimento próximo da amplitude da onda a ser polarizada.</p> <p>b) As distâncias entre as grades do filtro polarizador devem ser da ordem (tamanho aproximado) do comprimento da onda.</p> <p>c) Para que a onda seja polarizada precisamos de no mínimo dois filtros polarizadores colocados em uma posição ortogonal entre sim.</p> <p>d) Para que a onda seja polarizada precisamos de no mínimo dois filtros polarizadores com suas grades paralelas.</p> <p>Questão 02 – Quando colocamos a lâmpada sobre o papelão em cima da guia de ondas e ligamos o magnetron (aparelho que produz as micro-ondas) observamos a lâmpada acender com uma intensidade considerável. Agora quando a lâmpada é colocada sobre um filtro</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar os textos lidos com fenômenos presentes no cotidiano. • Acrescer a autonomia do estudante através de tarefas que permitam certa liberdade de decisão, criatividade e desenvolvimento. • Ampliar o vocabulário científico dos estudantes, adicionando termos científicos, como polarização, vetorial, birrefringência, dentre outros, sempre carregados de significado potencial. • Elevar a criticidade dos estudantes por meio de tarefas que permitam o julgamento fundamentado de certas questões
---	--

polarizador em cima da guia de ondas e ligamos o aparelho, observamos um brilho menos intenso. Explique por que isso acontece, sabendo que o brilho da lâmpada está associado a intensidade das micro-ondas.

Questão 03 – As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda é da ordem de quilômetros, muito utilizadas em comunicação, como o próprio nome sugere, as ondas de rádio são usadas por emissoras de rádio, além disso, também são usadas podem ser usadas para transmitir o sinal de TV e outros aparelhos de comunicação. Dentre os objetos abaixo quais teriam maior probabilidade de polarizar uma onda de rádio?

- a) Filtros polarizadores de luz
- b) Os filtros que usamos para polarizar as micro-ondas.
- c) Uma sequência de prédios de esqueleto metálicos separados por avenidas de 100 metros
- d) Um portão com grades metálicas.

Objetivos específicos de ensino de Física:

- Descrever a natureza ondulatória da luz.
- Relacionar a luz visível com as demais ondas eletromagnéticas.
- Identificar a presença do fenômeno de polarização em micro-ondas.
- Aplicar a Lei de Malus a polarização linear de micro-ondas.

Justifique sua resposta.

Questão 04 – Associe o efeito que observamos no filtro polarizador da luz com o observado no filtro polarizador girante.



Questão 05 – Imagine que colocamos um filtro polarizador de micro-ondas girante na saída da guia de onda ligada ao magnetron e um filtro fixo, acima do girante. Sobre o filtro fixo depositaríamos um sensor capaz de medir a intensidade das micro-ondas que o atravessam. Indique qual o gráfico que seria gerado pelo sensor.

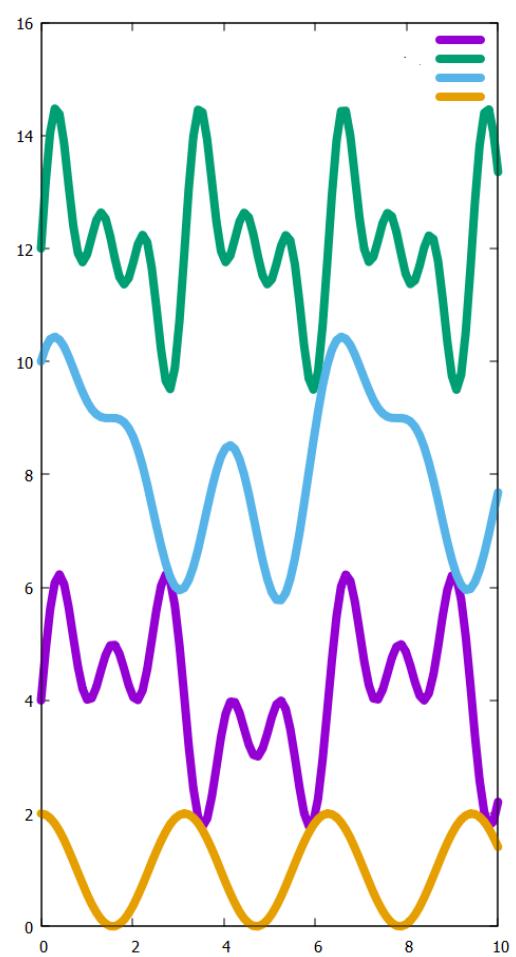


Gráfico verde.

Gráfico azul.

Gráfico roxo.

Gráfico laranja.

Justifique sua resposta.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1 – Materiais de apoio utilizados na atividade 04 – Polarização de Micro-ondas

Questionário inicial

O professor irá explicar em seguida um experimento envolvendo um emissor de micro-ondas, que serão guiadas por uma guia de ondas em direção a uma lâmpada depositada na saída da guia. Preste atenção em toda a explicação e anote as informações que julgar necessárias.

Questão 01 – A lâmpada acenderá se a primeira grade for colocada sobre a guia de onda? Justifique.

Questão 02 – A lâmpada acenderá com duas grades colocadas em paralelo sobre a guia de onda? Justifique.

Questão 03 – A lâmpada acenderá caso coloquemos as duas grades sobre a guia de onda com um ângulo de aproximadamente 15° entre elas? Justifique?

Questão 04 – A lâmpada acenderá se as grades forem colocadas sejam colocadas com um ângulo de aproximadamente 90° entre si? Justifique.

Questão 05 – Explique como os fenômenos que acabamos de visualizar com as micro-ondas podem estar relacionados a polarização que estudamos para a luz visível?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Texto: utilizado na OC

Espectro Eletromagnético

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas de acordo com seu comprimento de onda ou com sua frequência, chamamos o conjunto de tipos de ondas eletromagnéticas de espectro eletromagnético. Dentro deste espectro encontramos sete tipos de radiação:

- Ondas de rádio;

- Micro-ondas;
- Infravermelho;
- Luz visível;
- Ultravioleta;
- Raios X;
- Radiação gama.

Onde o comprimento de onda é menor quando mais embaixo a onda está na lista, i.e., ondas de rádio tem comprimento maior que as micro-ondas, que tem comprimento maior que o infravermelho e assim sucessivamente. O espectro eletromagnético é rico em influências ao nosso cotidiano, o exemplo mais óbvio é o da luz visível, que tem comprimentos de onda na faixa de centenas de nanômetros e é o meio que possibilita o sentido da visão. As ondas de rádio, usadas para comunicação de longo alcance e as micro-ondas, que tem comprimentos de onda na faixa de 12,5 cm são frequentemente utilizadas em tecnologias como o forno de micro-ondas, para aquecer os alimentos e o sinal de Wi-fi que usamos para conectar computadores e celulares à internet. Os infravermelhos, outro exemplo de radiação são largamente utilizados em controles remotos ou em câmeras termográficas para identificar o sobreaquecimento de materiais e/ou peças.

Em resumo o espectro eletromagnético se apresenta na forma de diferentes tipos de ondas, mas todas construídas pela oscilação de campos elétricos e magnéticos e sujeitas a muitos fenômenos em comum.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Questionário Final

Questão 01 – Qual das alternativas abaixo indica o que é necessário para que ocorra a polarização de uma onda eletromagnética por filtros polarizadores.

- a) As ranhuras do filtro polarizador devem ter um comprimento próximo da amplitude da onda a ser polarizada.
- b) As distâncias entre as grades do filtro polarizador devem ser da ordem (tamanho aproximado) do comprimento da onda.

- c) Para que a onda seja polarizada precisamos de no mínimo dois filtros polarizadores colocados em uma posição ortogonal entre si.
- d) Para que a onda seja polarizada precisamos de no mínimo dois filtros polarizadores com suas grades paralelas.

Questão 02 – Quando colocamos a lâmpada sobre o papelão em cima da guia de ondas e ligamos o magnetron (aparelho que produz as micro-ondas) observamos a lâmpada acender com uma intensidade considerável. Agora quando a lâmpada é colocada sobre um filtro polarizador em cima da guia de ondas e ligamos o aparelho, observamos um brilho menos intenso. Explique por que isso acontece, sabendo que o brilho da lâmpada está associado a intensidade das micro-ondas.

Questão 03 – As ondas de rádio são ondas eletromagnéticas cujo comprimento de onda é da ordem de quilômetros, muito utilizadas em comunicação, como o próprio nome sugere, as ondas de rádio são usadas por emissoras de rádio, além disso, também são usadas podem ser usadas para transmitir o sinal de TV e outros aparelhos de comunicação. Dentre os objetos abaixo quais teriam maior probabilidade de polarizar uma onda de rádio?

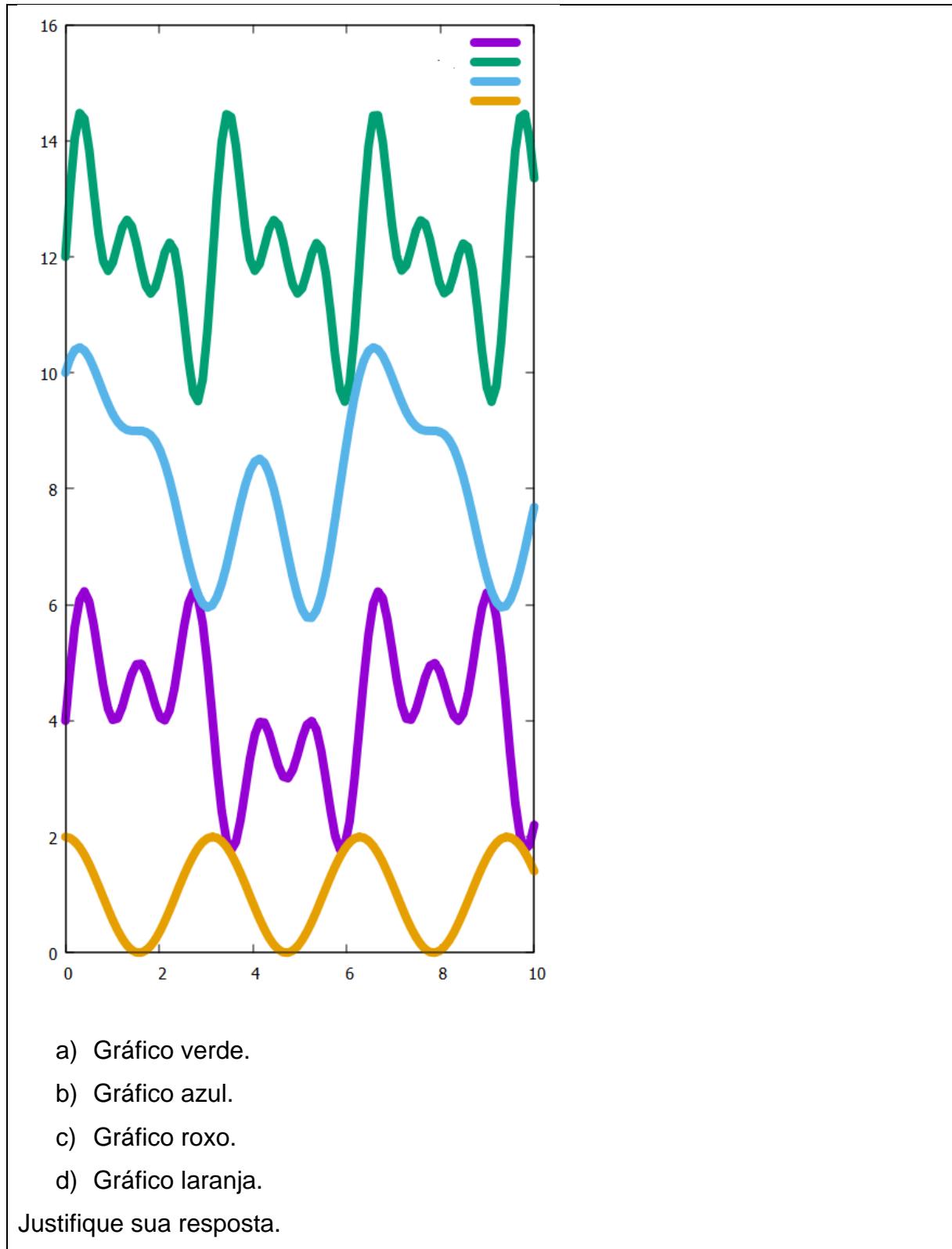
- a) Filtros polarizadores de luz
- b) Os filtros que usamos para polarizar as micro-ondas.
- c) Uma sequência de prédios de esqueleto metálicos separados por avenidas de 100 metros.
- d) Um portão com grades metálicas.

Justifique sua resposta.

Questão 04 – Associe e efeito que observamos no filtro polarizador da luz com o observado no filtro polarizador girante.



Questão 05 – Imagine que colocamos um filtro polarizador de micro-ondas girante na saída da guia de onda ligada ao magnetron e um filtro fixo, acima do girante. Sobre o filtro fixo depositaríamos um sensor capaz de medir a intensidade das micro-ondas que o atravessam. Indique qual o gráfico que seria gerado pelo sensor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4. RECURSOS NECESSÁRIOS PARA A APLICAÇÃO DESTE PRODUTO E COMO PRODUZÍ-LOS.

Nesta secção faremos uma pequena apresentação dos recursos necessários para aplicar a sequência didática bem como das possibilidades que dispomos para os adquirir ou construir. Iniciaremos com os filtros polarizadores e imagens utilizadas na atividade 01, os óculos de Sol polarizados utilizados na atividade 02 e, por fim, os experimentos de baixo custo construídos para as atividades 03 e 04. Os primeiros itens podem ser adquiridos de forma simples com baixo ou nenhum custo, os últimos itens, no entanto, apresentam certa complexidade de construção, motivo pelo qual elaboramos tutoriais sobre sua construção e funcionamento que possam ajudar a qualquer pessoa que deseje construí-los.

4.1 – Os filtros polarizadores, os óculos de sol e as imagens.

Os filtros polarizadores podem ser comprados com baixo custo pois são comercializados de diferentes formas e para diversos fins: filtros para telas LCD de celulares, *tablets*, televisores, filtros para máquinas fotográficas etc. Para a aplicação desta sequência, verificamos que os filtros com melhor custo-benefício são os comercializados para telas de celulares. Outra opção viável, porém, trabalhosa para a obtenção dos filtros é a sua remoção de telas LCD estragadas. Esta remoção deve ser realizada com cuidado pois a tela pode ser fraturada facilmente, inviabilizando o processo. Caso o professor deseje optar por este caminho, sugerimos que isole a tela de um equipamento defeituoso, e a deixe em um recipiente submersa em água por no mínimo três dias antes de realizar a extração do filtro.

Figura 07 – Filtros polarizadores a esquerda um filtro removido de uma tela LCD descartada colado sobre uma superfície de vidro, a direita um filtro comercial vendido para telas de celular.



Fonte: Acervo do autor.

Ainda para o caso dos filtros extraídos de telas LCD descartadas, ainda vale a pena ressaltar que estes apresentam muitas tensões internas, o que faz com que o filtro tenda a se enrugar, dessa forma é necessário colá-los em um suporte para trabalhar com eles. Para os experimentos das atividades 01 e 02, aconselhamos ou um suporte de vidro, ou um suporte com um furo para evitar interferências no fenômeno de polarização.

Os óculos de sol polarizados são objetos de uso comum, de forma que seja provável que o professor ou algum dos estudantes os possua, em caso negativo, existem inúmeros modelos de óculos com filtros polarizadores de baixo custo acessíveis em lojas virtuais. Existe ainda a possibilidade de, na posse dos filtros polarizadores, construir os óculos utilizando os filtros em suas lentes. Neste trabalho, optamos por adquirir um par de óculos polarizado de baixo custo.

Figura 08 – Óculos com lentes polarizadas de baixo custo.



Fonte: Acervo do autor.

As imagens por sua vez podem ser tiradas de câmeras comuns de *smart-phones* registrando superfícies que refletem luz. Sugerimos que escolha superfícies onde a reflexão gere muito ofuscamento e registre duas fotos, uma “comum”, apontando a câmera para a superfície e registrando a imagem e outra “polarizada” colocando um filtro polarizador sobre a câmera antes de registrar a foto.

Figura 09– Imagens mostrando o efeito dos filtros polarizadores sobre o ofuscamento, a esquerda mal se pode ver o mar devido ao reflexo da luz do Sol na água. A esquerda podemos observar o mar com nitidez identificando as ondas e sua espuma, o que ocorre devido a polarização da luz refletida que atravessa os óculos.



Fonte: Acervo do autor.

4.2 – Construção de um “polarímetro caseiro”

Para a atividade 03 construímos um “polarímetro caseiro” capaz de demonstrar graficamente a Lei de Malus e o utilizamos para investigar a polarização em diversas situações. Este polarímetro é composto por um CD com um filtro polarizador e um rolamento ligados a seu furo. Conectamos a parte interna do rolamento a um pequeno cano de PVC e a externa a um motor DC por meio de elásticos, assim o CD gira junto com o filtro e o motor, enquanto o cano de PVC permanece estático. No final do cano colocamos um sensor de Luz, LDR conectado a uma placa Arduino de modo a coletarmos a intensidade luminosa que incide sobre o LDR.

Figura 10 – O “polarímetro caseiro”.



Fonte: acervo do autor.

4.2.1 – Lista de materiais para a construção de um “polarímetro caseiro”

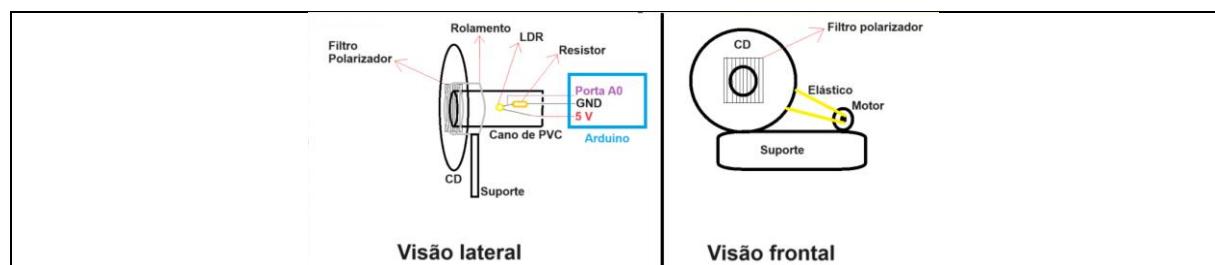
- Um CD ou DVD descartado;
- Um motor DC que pode ser encontrado em carrinhos de controle remoto ou impressoras de descarte;
- 10 elásticos de latex;
- Um pequeno pedaço de filtro polarizador;
- Uma base de madeira que sirva como suporte geral para o experimento;
- Um tubo de PVC;
- Um rolamento que encaixe no tubo de PVC;
- Um suporte alto para fixar o tubo de PVC;
- Um suporte baixo para fixar o motor DC;
- Supercola;
- Cabos de ligação;
- Um resistor de $10\text{ k}\Omega$;
- Um resistor sensível a luz (LDR) de 5 mm;
- Um ferro de solda;
- Estanho para a solda;
- Uma placa Arduino Nano com o processador ATmega328P (*old bootloader*) ou similar.
- Uma *protoboard* (opcional)
- Cabos de ligação próprios para as ligações dos terminais do Arduino.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 – Execução da construção de um “polarímetro caseiro”

Para uma melhor compreensão de como este aparelho deve funcionar foi elaborado um pequeno esquemático com as visões frontal e lateral do polarímetro caseiro:

Figura 11 – esquemático do polarímetro caseiro.



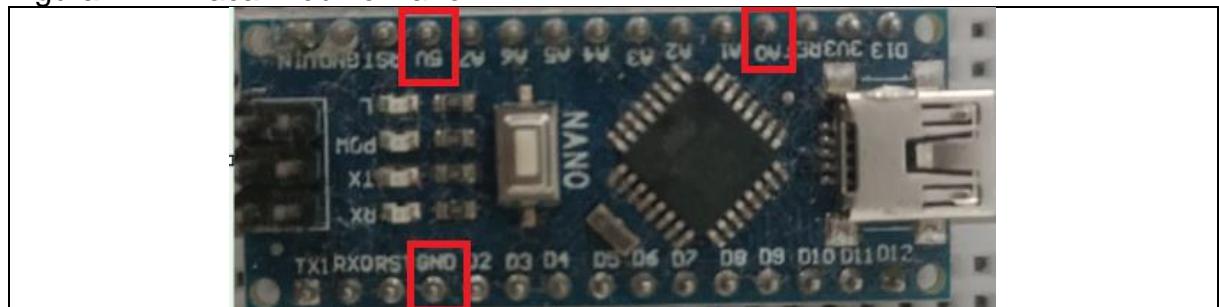
Fonte: Acervo do autor.

Uma vez que a parte mecânica esteja montada, precisamos construir a parte elétrica e de instrumentação. Para isso, será necessário que tenhamos uma visão geral do funcionamento da plataforma Arduino, ao menos em sua função de leitura de variáveis analógicas.

4.2.3 – Uma breve explanação sobre a plataforma Arduino

Podemos dizer que o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica composta por uma única placa programável de *software* e *hardware* livres. A placa única contém um microcontrolador, um chip capaz de executar operações com as variáveis de entrada e saída em suas portas (terminais). (Arduino, 2024) Existem muitos modelos e variações das placas Arduino. Neste trabalho, utilizaremos as placas Arduino Nano, conforme a placa na imagem abaixo:

Figura 12 – Placa Arduino Nano.



Fonte: Acervo do autor.

As portas destacadas em vermelho, 5 V, GND e A0 são as que utilizaremos para a entrada de dados e a alimentação de nosso sensor de luz, como fica evidente as duas primeiras são portas de alimentação, enquanto a última é de entrada de dados. Podemos conectar as portas conforme descrito no esquemático da Figura 13. No entanto, é conveniente compreendermos um pouco mais sobre o funcionamento da porta A0. Esta porta lê valores analógicos de tensão entre 0 V e 5 V e os representa como números binários entre 0 e 1024.

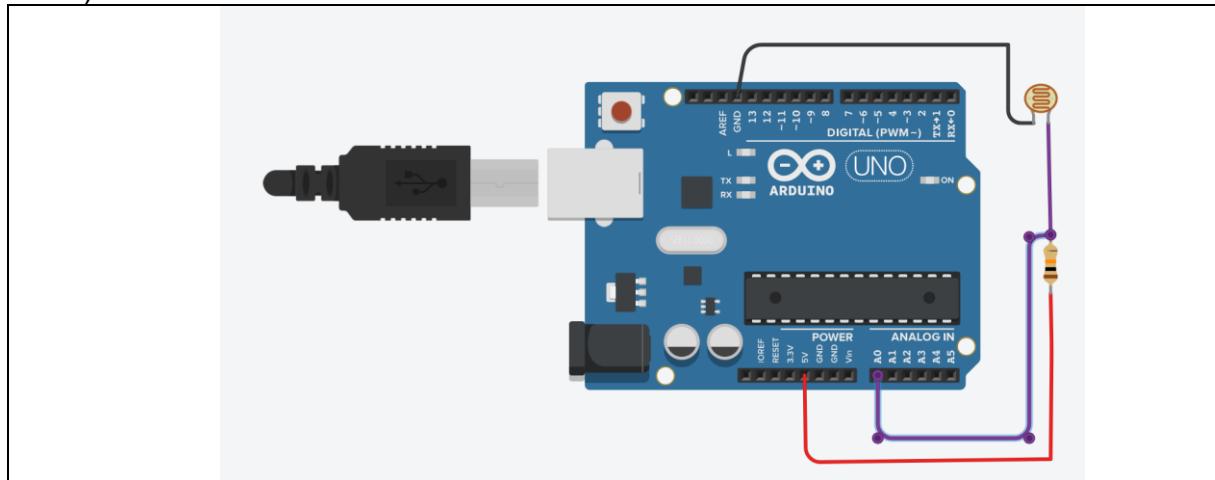
Desta forma podemos concluir que o valor de tensão medido pela porta A0 pode ser calculado por regra de três:

$$\begin{aligned} 5 \text{ V} &= 1024 \\ X \text{ V} &= n \end{aligned}$$

Este valor de tensão medido será fundamental para determinarmos o valor da variável analógica de interesse, a intensidade luminosa. Para que tenhamos tal valor de tensão, vamos utilizar uma abordagem simples: faremos um divisor de tensão composto por um LDR em série com um resistor de valor conhecido, para o caso 10 k Ω . Neste divisor, a tensão sobre o resistor de 10 k Ω vai depender da queda de tensão sobre o LDR que por sua vez dependerá da luminosidade que incide sobre este. Com um pouco de matemática básica e uma compreensão mais aprofundada de como funciona o LDR, encontraremos uma expressão matemática que nos permita determinar a intensidade luminosa incidente sobre o LDR em função da medida da porta A0.

O circuito que devemos construir (divisor de tensão) para realizar à medida que desejamos é o apresentado na figura 13

Figura 13 – Divisor de tensão Ligado a uma placa Arduino Uno (similar a placa Arduino Nano).



Fonte: Acervo do autor.

Figura 14 – Divisor de tensão composto por LDR e resistor.



Fonte: Acervo do autor.

Com o circuito montado e funcionando precisamos programar o Arduino para obter o valor da luminosidade, todavia, o Arduino lê na porta A0 apenas um número de 0 a 1024, equivalente ao valor de tensão sobre o resistor de $10k\Omega$. Assim por meio da regra de três sabemos que o valor da resistência do LDR será

$$R_{LDR} = \frac{1024 \times 10k\Omega}{n} - 10k\Omega$$

A relação entre a resistência do LDR e a luminosidade que incide sobre ele é $R_{LDR} = R_{DARK}L^\gamma$, onde R_{DARK} é a resistência do LDR no total escuro e γ é um fator construtivo. Para o LDR de 5 mm temos: $R_{DARK} = 5M\Omega$ e $\gamma = -0,8$. Fazendo as devidas alterações temos que:

$$L = \left(\frac{R_{LDR}}{R_{DARK}} \right)^{\frac{1}{\gamma}}$$

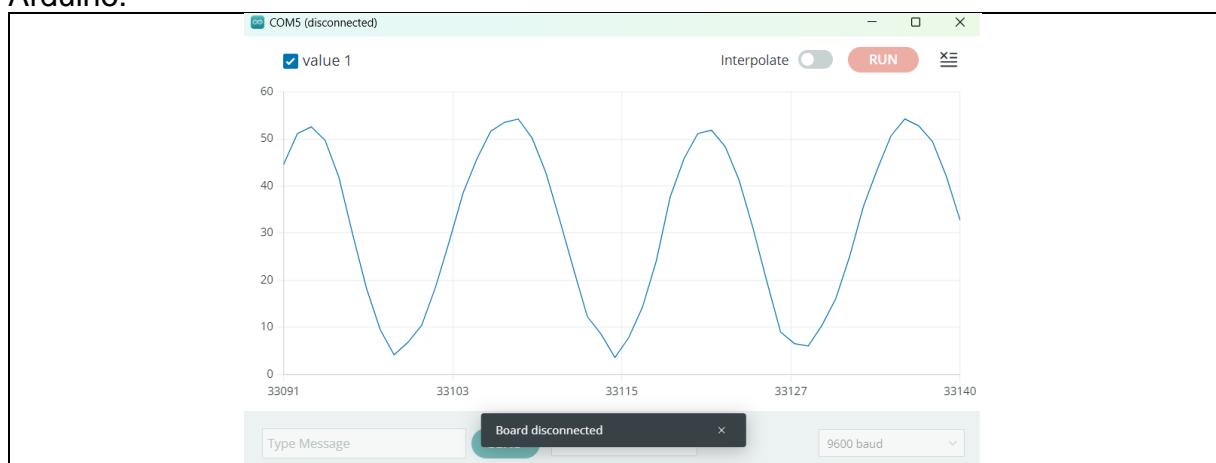
Abaixo segue o código fonte para ler o valor de L em linguagem C do Arduino.

```
/*Montagem: Um ldr em serie com um resistor de 10k ligar;
Ligar o nó de encontro do ldr e do resistor no pino A0
Ligar o resistor no GND
Ligar o ldr no 5v*/
const int leitura = 0; // Vou ler do pino A0 do conversor AD
float volt = 0; // Voltagem lida pelo conversor AD (aqui é um numero, eu coloco
voltagem por que o conversor associa um numero de 0 a 1023 para sinais de
voltagem de 0 a 5 V)
float res = 0; //resistencia do ldr
float rd = 5000000; // Resistencia do ldr no escuro
float L = 0; // luminosidade incidente sobre o LDR
void setup() {
Serial.begin(9600); // Inicio a porta serial na velocidade de 9600 bps
pinMode(leitura,INPUT);
pinMode(3,OUTPUT);
}
void loop() {
// começamos lendo o conversor DA
volt = analogRead(leitura);
res = (10240000/volt) -10000;
// A principio com a luminosidade da lampada no meu quarto o ldr apresenta 55
kohm, ou seja vou converter na faixa de kohm aqui.
// O ldr esta ligado em serie com um resistor de 10 kohm por isso o "- 10000"
L =pow(res/rd, -1.25);
Serial.println(L);
delay(1);
L = 0;
}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Captura da função cosseno quadrado da Lei de Malus na saída serial da Arduino IDE

Figura 15 – Gráfico da Lei de Malus capturado pelo luxímetro caseiro feito com Arduino.



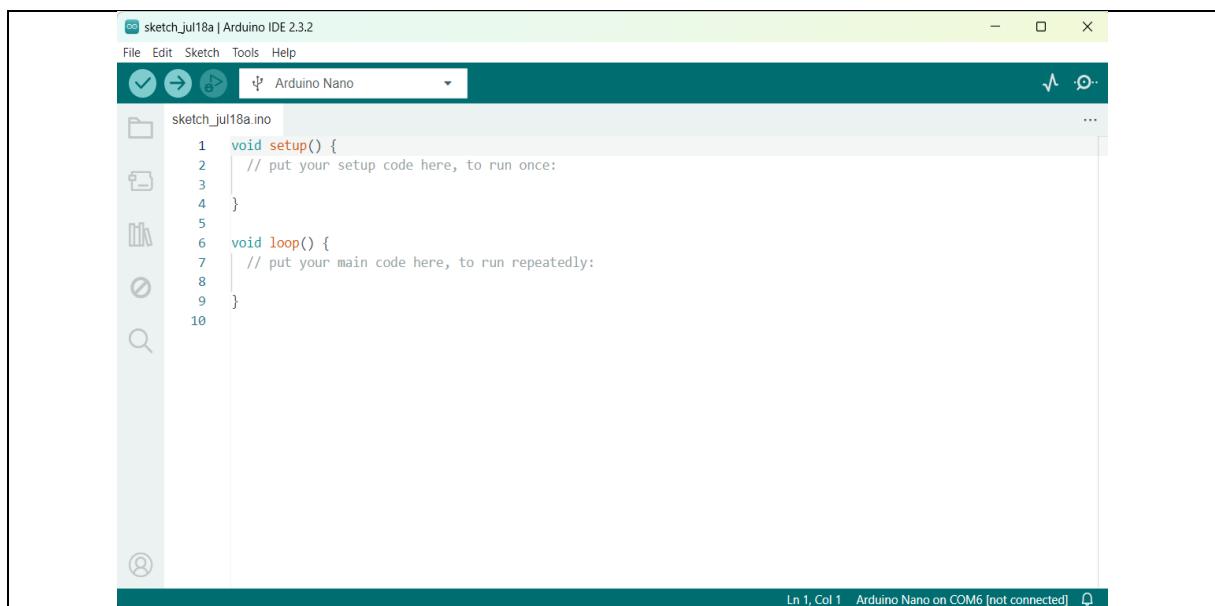
Fonte: Acervo do autor.

Caso o Leitor ainda apresente dificuldade em conseguir baixar e instalar a plataforma Arduino IDE e utilizá-la para executar os experimentos com o luxímetro caseiro, deixamos abaixo o tutorial de instalação da plataforma, e compilação / carregamento do código no Arduino nano:

1. Acesse a página do Arduino: <https://www.arduino.cc/>
2. Clique na aba *Software*.
3. Escolha a versão mais atualizada da Arduino IDE.
4. Baixe o instalador para o seu sistema operacional.
5. Execute o instalador e siga as instruções de instalação.

Execute a Arduino IDE, copie o código fonte acima e cole na tela inicial conforme as figuras abaixo:

Figura 16 – Área de trabalho inicial da Arduino IDE.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 17 – Área de trabalho da Arduino IDE com o código do polarímetro caseiro.

The screenshot shows the Arduino IDE interface with the following details:

- Title Bar:** polarimetrocaseiro | Arduino IDE 2.3.2
- Sketch Menu:** File, Edit, Sketch, Tools, Help
- Board Selection:** Arduino Nano
- Code Area:**

```

1  /*Montagem: Por o ldr em serie com um resistor de 10k ligar;
2   Ligar o nó de encontro do ldr e o resistor no pino A0
3   Ligar o reesistor no GND
4   Ligar o ldr no 5v
5   */
6  const int leitura = 0; // Vou ler do pino A0 do conversor AD
7  float volt = 0; // Voltagem lida pelo conversor AD (aqui é um numero, eu coloco voltagem por que o conversor associa um numero)
8  float res = 0; //resistencia do ldr
9  float rd = 5000000; // Resistencia do ldr no escuro
10 float L = 0;
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600); // Inicio a porta serial na velocidade de 9600 bps
13   pinMode(leitura,INPUT);
14   pinMode(3,OUTPUT);
15 }
16 void loop() {
17   // começamos lendo o conversor DA
18   volt = analogRead(leitura);
19   res = (10240000/volt) -10000;
20   // A principio com a luminosidade da lampada no meu quarto o ldr apresenta 55 kohm, ou seja vou converter na faixa de kohm
21   // o ldr esta ligado em serie com um resistor de 10 kohm por isso o "- 10000"
22   L =pow(res/rd, -1.25);
23   Serial.println(L);
24   delay(1);
25   L=0;

```
- Status Bar:** Ln 5, Col 12 Arduino Nano on COM6 [not connected]

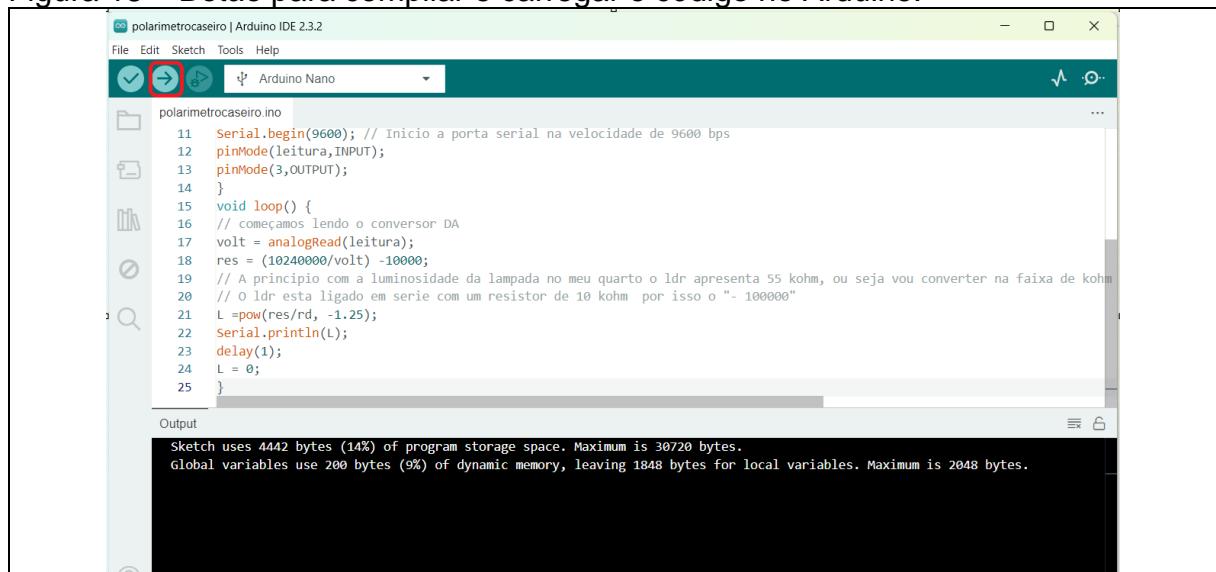
Fonte: Acervo do autor.

Salve o arquivo como o nome: “polarimetrocaseiro.ino”, em seguida, antes de carregarmos o código na placa Arduino, precisamos escolher a placa e a porta de comunicação.

1. Conecte seu Arduino ao computador usando o cabo usb
2. Na Arduino IDE clique em *Tools* > *port* e selecione a porta que aparecer “COM X”
3. Ainda na aba *Tools* selecione *Board* > *Arduino AVR Boards* > *Arduino Nano*.
4. Por último na aba *Tools*, selecione *Processor* > *ATmega328P (Old Bootloader)*

Com todas as configurações feitas podemos carregar o código para leitura da luminosidade no Arduino nano, para isso basta apertar o botão compilar e carregar, na área de trabalho da Arduino IDE e aguardar o processo ser finalizado. Quando isso ocorrer o programa já estará em execução dentro da placa.

Figura 18 – Botão para compilar e carregar o código no Arduino.



Fonte: Acervo do autor.

Para conectar os pinos de entrada e saída do Arduino com o circuito da Figura 19 optamos por utilizar uma *protoboard*, mas existem outras opções: professores que desejam um equipamento mais robusto podem soldar diretamente os cabos nos pinos mencionados, além disso existem *jumpers* (cabos de ligação) próprios para os pinos do Arduino, o que também é viável.

Figura 19 – Exemplo de *Jumper* próprio para a ligação nas portas do Arduino.

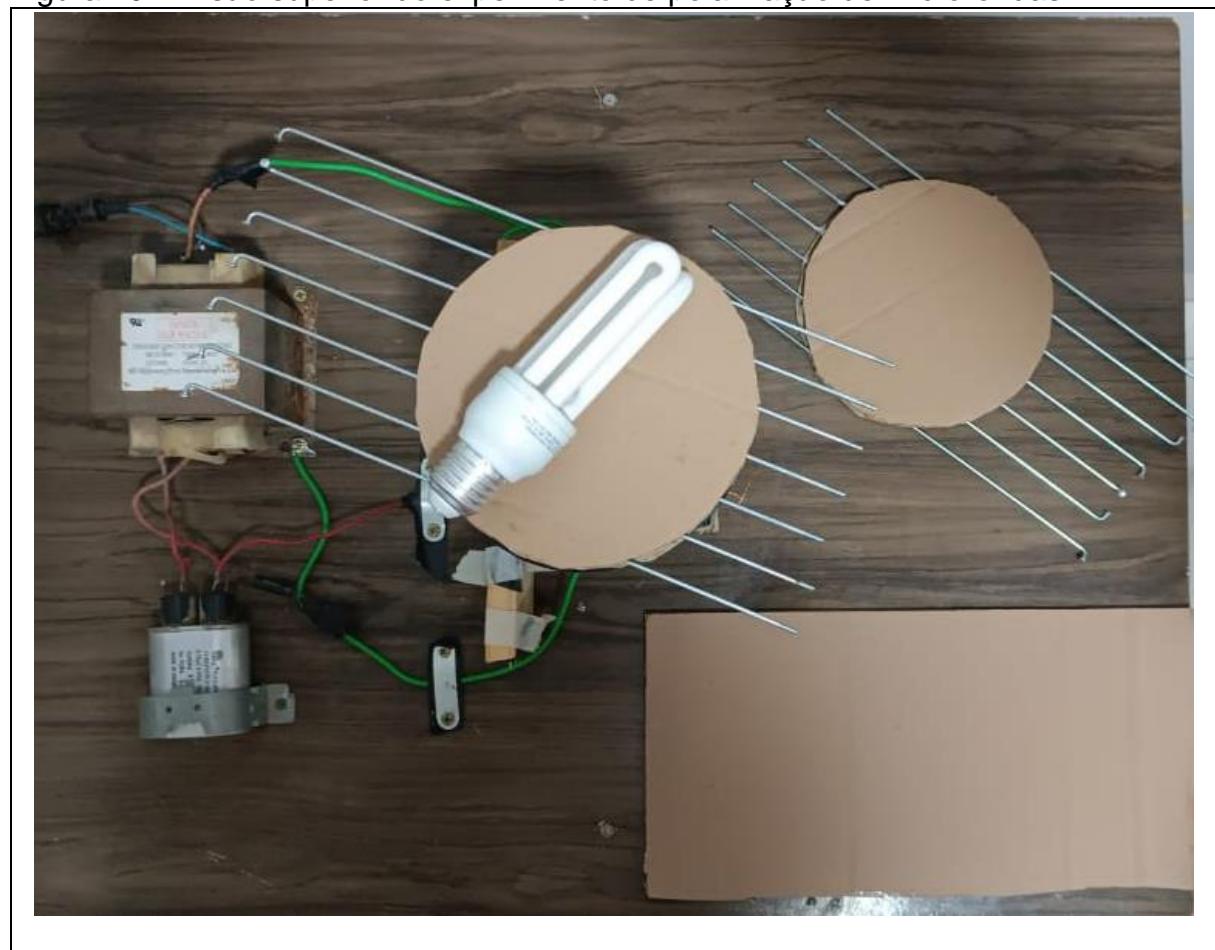


Fonte: Acervo do autor.

4.3 – Construção de um experimento de polarização de micro-ondas

Este experimento é utilizado fundamentalmente na atividade 04 da sequência didática e é construído inteiramente com materiais de baixo custo. Seu objetivo é demonstrar o fenômeno da polarização ocorrendo em uma escala de comprimento de onda macroscópica, a das micro-ondas (na ordem de centímetros). Para isso, precisamos de uma fonte destas ondas, e, a mais conveniente para o autor foi um magnetron reciclado de um forno micro-ondas com defeito. Além disso, podem ser reciclados de um ou mais fornos os componentes necessários para o funcionamento do magnetron, um capacitor e um transformador. Uma guia de onda construída com um vaso de plantas de plástico foleada com papel alumínio foi acoplada na saída do magnetron. Os filtros polarizadores foram feitos com lâminas de papelão coladas em pequenas hastes de metal (raios de roda de bicicleta) e como detector de micro-ondas, utilizamos uma lâmpada fluorescente que se acende sempre que uma determinada intensidade de micro-ondas incide sobre ela.

Figura 20 – Visão superior do experimento de polarização de micro-ondas.



Fonte: Acervo do autor.

1 – Lista de materiais necessários para a construção de um experimento de polarização de micro-ondas.

- Fornos de micro-ondas descartados por avarias (aconselhamos que sejam no mínimo três, podem ser encontrados em descartes de eletrodomésticos e/ou em ferros velhos);
- Ferramentas como chaves de Fenda e *Philips* além de outras pontas, que podem variar de acordo com os fornos que obtiver. Alicates de corte e universal, ferro de solda, estanho e um multímetro;
- Uma base de madeira, compensado ou aglomerado para fixação dos componentes;
- Parafusos para fixação;
- Fita isolante;
- Papel alumínio;
- Um vaso para plantas de plástico com cerca de 10 cm de altura, 9 cm de diâmetro na base e 14 cm de diâmetro no topo;
- Um conjunto de raios de roda de bicicleta com cerca de 50 raios;
- Cola quente e uma pistola;
- Duas lâminas de papelão com cerca de 1 m².

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3. 2 – Execução da construção de um experimento de polarização de micro-ondas

Para este experimento precisamos de alguns materiais reciclados, por sorte eles podem ser encontrados dentro de um único aparelho: o forno micro-ondas. O que significa que é necessário buscar ao menos um destes fornos descartados. Caso algum dos componentes necessários esteja estragado no forno, é preciso que encontremos outro. Para a construção do experimento utilizado neste trabalho foram necessários três fornos micro-ondas descartados, encontrados em lixeiras e ferros velhos. Para extrair os componentes precisamos desmontar o forno, as imagens abaixo devem auxiliá-lo a encontrar os componentes dentro do forno descartado.

Figura 21 – Um magnetron de forno micro-ondas.



Fonte: Acervo do autor.

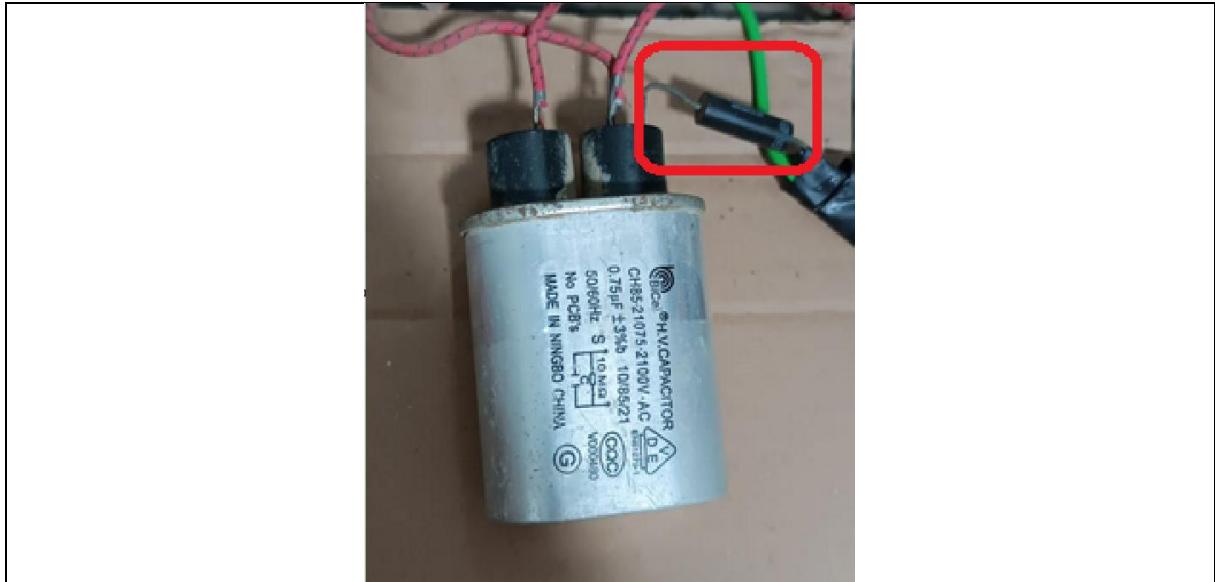
Figura 22 – Um transformador de forno micro-ondas.



Fonte: Acervo do autor.

O próximo componente a ser encontrado é o capacitor, todavia antes de encostar neste componente precisamos garantir que ele esteja descarregado. Capacitores de fornos micro-ondas tendem a acumular uma quantidade significativa de carga e sua descarga sobre o corpo humano pode ocasionar ferimentos. Para uma maior segurança podemos descarregar o capacitor colocando uma chave metálica entre seus terminais conforme a figura 24. Além disso é necessário que o capacitor tenha um diodo retificador acoplado em um dos seus terminais, conforme a figura 23.

Figura 23 – Capacitor de forno micro-ondas, dentro do retângulo em vermelho o seu diodo retificador.



Fonte: Acervo do autor.

Uma observação importante que devemos fazer é que o defeito do forno descartado poder estar no diodo retificador. Testá-lo, todavia, é algo muito simples: basta verificar com um multímetro a sua condutividade. Um diodo funcionando conduz apenas em um sentido. Caso seu diodo apresente defeito ele pode ser substituído por outro diodo reciclado ou por um diodo comprado em lojas de eletrônica. O custo deste componente tende a ser baixo.

Figura 24 – Descarregando o capacitor com uma chave *phillips* de cabo isolado.

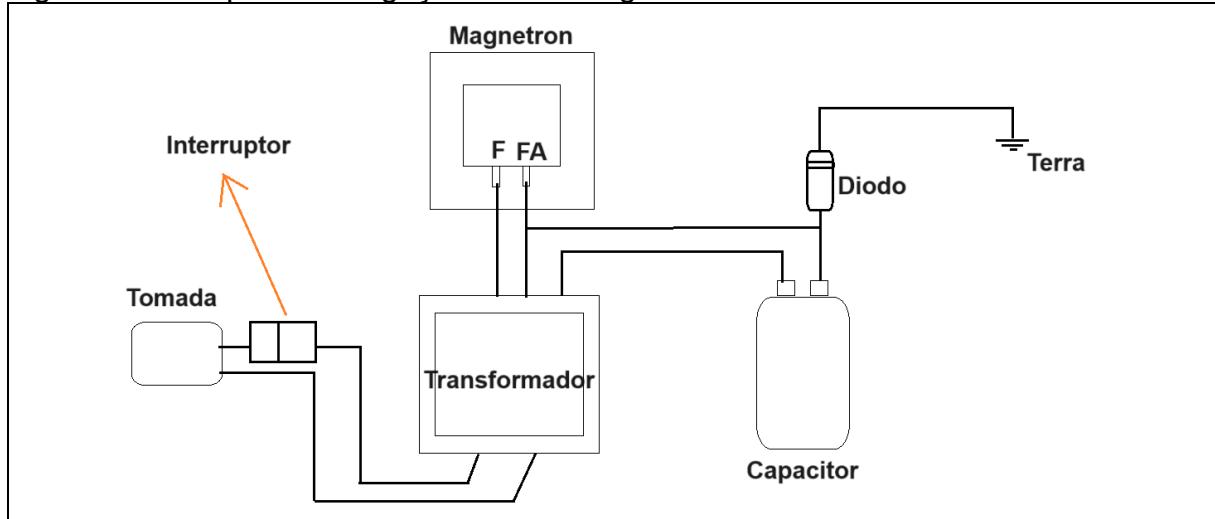


Fonte: Acervo do autor.

Para construir o experimento fixaremos os três componentes em uma base de madeira, compensado ou aglomerado. Tome o cuidado de fixar o magnetron posicionando a sua antena para cima, onde será acoplada a guia de onda, este

detalhe fará com que as micro-ondas sejam direcionadas para cima, evitando exposições indesejadas a esta radiação durante a utilização, o que torna o experimento seguro. Com os três componentes fixados faremos as ligações elétricas entre eles e a uma tomada externa. Para facilitar o seu trabalho nas ligações consulte o diagrama esquemático abaixo:

Figura 25 – Esquema de ligação de um magnetron.



Fonte: Acervo do autor.

Para evitar problemas de ligação siga as orientações a seguir: Na saída do transformador há três cabos, um deles com um *jumper*, ou seja, um cabo de saída com duas pontas, este deve ser ligado ao terminal FA, do magnetron e ao terminal do capacitor onde o diodo será ligado. Um dos outros dois cabos que saem do transformador, estará ligado a ele por uma lâmina. Este é o cabo de alta-tensão e deve ser ligado ao terminal do capacitor onde o diodo não estará ligado. O cabo de saída que resta deve ser ligado ao terminal F do magnetron. Na entrada do transformador temos dois cabos, que devem ser ligados a uma tomada de 110 V ou 220 V conforme indicado na placa do forno micro-ondas reciclado. Lembre-se de colocar um interruptor nesta tomada para que possa controlar o circuito, faça isso de forma que o interruptor sempre possa estar na sua mão durante a execução do experimento, garantindo a segurança dos estudantes. Outro ponto relevante é na ligação do diodo já que seu ânodo (terminal oposto a faixa desenhada no componente) ligado ao capacitor e seu cátodo ligado ao fio terra (carcaça do transformador e do magnetron).

Figura 26 – Um diodo e seus terminais.



Fonte: Acervo do autor.

A guia de onda para as micro-ondas foi construída usando um vaso para plantas de plástico com 10 cm de altura, cerca de 9 cm de diâmetro na base e 14 cm de diâmetro na “boca”, foi feito um furo no fundo do vaso com o diâmetro da antena dos micro-ondas. O vaso foi revestido de papel alumino de modo a refletir as micro-ondas em seu interior as direcionando na vertical para cima.

Figura 27 – Visão frontal externa da guia de ondas.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 28 – Visão superior interna da guia de ondas, em seu centro a antena do magnetron.



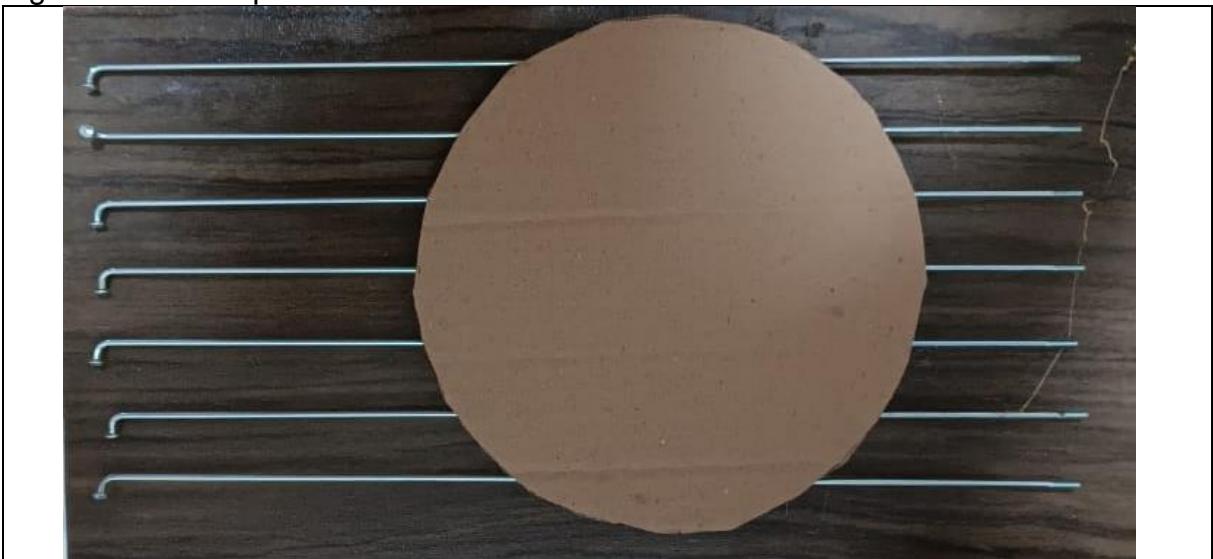
Fonte: Acervo do autor.

As grades polarizadoras foram construídas com raios de roda de bicicleta, mas podem ser construídas com qualquer arame metálico similar. Os raios devem formar uma grade sendo posicionados de forma a ficarem paralelos. A distância entre um raio e outro deve ser da ordem do comprimento de onda que se deseja polarizar, como os fornos de micro-ondas emitem radiação com frequência de aproximadamente 2,5 GHz basta aplicarmos a equação fundamental da ondulatória para estimar o comprimento destas ondas:

$$\lambda = C/f = \frac{0,3G \text{ m/s}}{2,5\text{GHz}} = 0,12m$$

Ou seja, o comprimento destas micro-ondas é de aproximadamente 12 cm, construímos os filtros com uma distância de 2 cm entre os raios, dentro da ordem deste comprimento. Para dar sustentação aos raios utilizamos duas lâminas de papelão cortadas em formato circular com o diâmetro de 16 cm.

Figura 29 – Filtro polarizador de micro-ondas.



Fonte: Acervo do autor.

Como detector das micro-ondas utilizamos uma lâmpada fluorescente. Esta lâmpada acende quando há uma certa intensidade de micro-ondas incidindo sobre ela. Deve-se observar que ao colocar dois filtros polarizadores com ângulos desfavoráveis pode haver passagem de micro-ondas, mas não em intensidade suficiente para acender a lâmpada. Aconselhamos a realizar o experimento com os ângulos de 0º, 180º, 15º, 90º, pois estes funcionaram perfeitamente para o autor

Figura 30 – “Detector de micro-ondas”.



Fonte: Acervo do autor.

O experimento em funcionamento:

Figura 31 – Experimento funcionando com ângulo de zero graus.



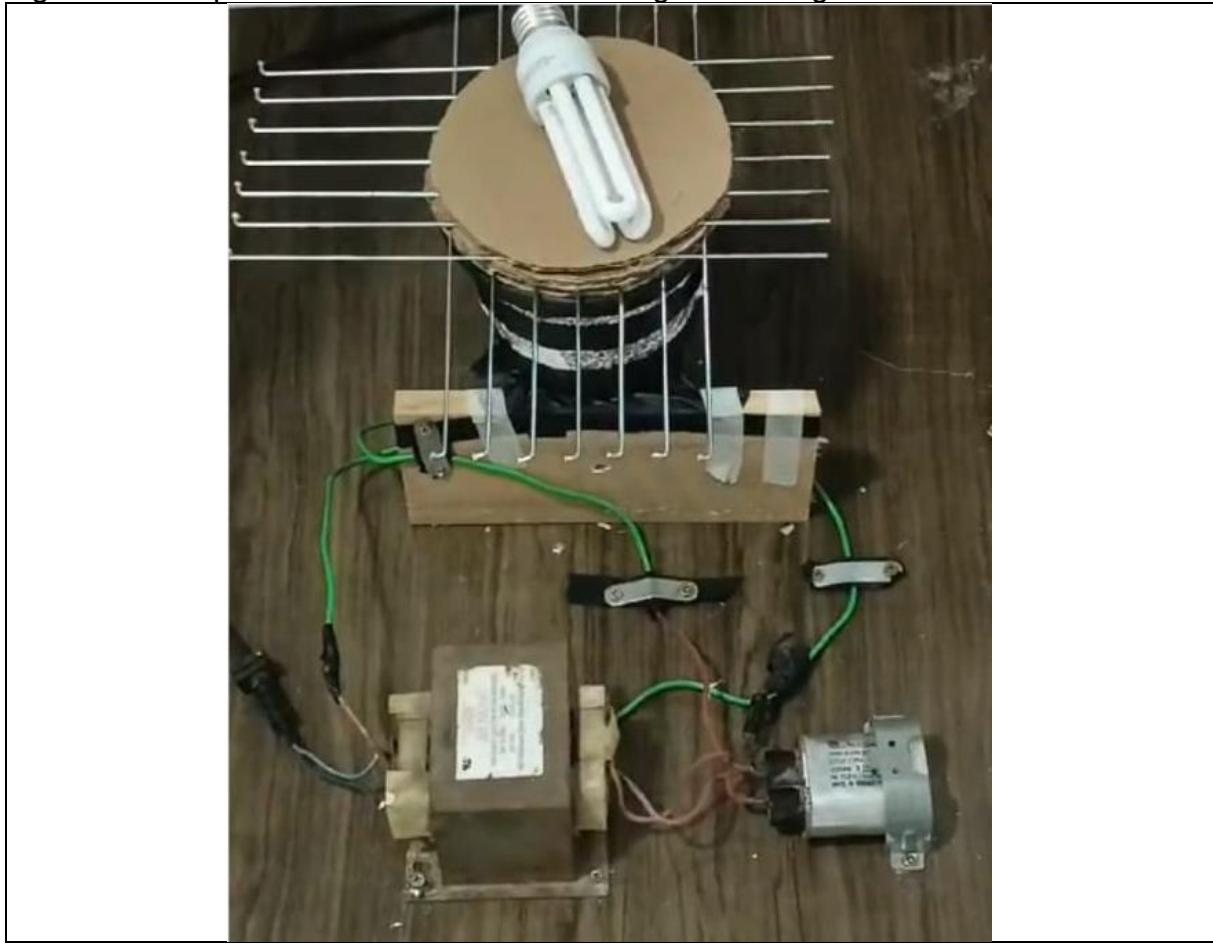
Fonte: Acervo do autor.

Figura 32 – Experimento funcionando com ângulo de aproximadamente 15 graus.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 33 – Experimento funcionando com ângulo de 90 graus.



Fonte: Acervo do autor.

5 UM POUCO SOBRE POLARIZAÇÃO DA LUZ

Esta seção é um resumo do capítulo referente aos conceitos físicos, presente na dissertação de mestrado que acompanha este produto didático. Nosso objetivo aqui é tratar de forma simplificada a polarização linear da luz e sua aplicação no funcionamento de uma tela de cristal líquido.

A leitura deste capítulo, portanto, serve como subsídio para o desenvolvimento da aula dialogada citada na primeira atividade desta sequência. O professor pode seguir os passos descritos na no quadro 01, ou criar os seus próprios passos conforme a sua necessidade ou a necessidade específica dos estudantes.

Todavia, esta seção, bem como o capítulo presente na dissertação não bastam para uma compreensão profunda da polarização da luz, bem como do funcionamento de uma tela LCD. Para atingir este objetivo, aconselhamos que o professor consulte as referências citadas e se aprofunde no tema através de pesquisas. Se esta leitura lhe ajudar a construir sua aula sobre telas LCD e elucidar as principais características de seu funcionamento, o manuscrito terá cumprido seu papel.

5.1 Polarização Linear

O campo elétrico de uma onda eletromagnética linearmente polarizada é muito simples de ser descrito, como esta é uma onda transversal, o eixo de oscilação e propagação devem formar um ângulo de 90 graus entre si. Se ajustarmos o sistema de referências de forma que o campo elétrico que compõe a onda oscile na direção do eixo das ordenadas, teremos a seguinte equação para o campo elétrico:

$$\vec{E}(z, t) = a \cos(\omega t - kz) \hat{i},$$

Existem casos que necessitam de uma representação mais geral da polarização linear, quando não podemos, por alguma razão, escolher o sistema de coordenadas de modo a coincidir um de seus eixos com a direção de oscilação do campo elétrico.

Nestes casos basta usarmos a decomposição vetorial por exemplo, caso o campo elétrico esteja oscilando a um ângulo θ do eixo x, teremos:

$$E_x = a \cos(\theta) \cos (wt - kz),$$

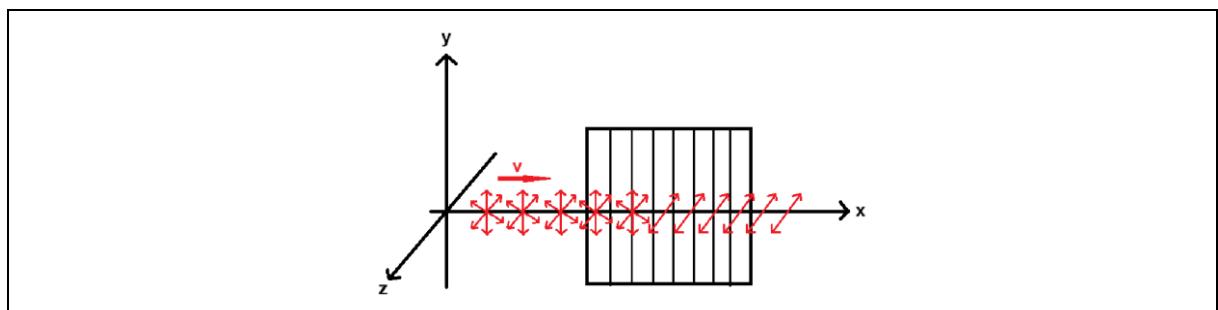
$$E_y = a \sin(\theta) \cos (wt - kz),$$

Desta forma podemos descrever as ondas polarizadas linearmente. Esse fenômeno físico, a polarização linear pode ocorrer dentro de diversos outros fenômenos, destacamos aqui a polarização por reflexão e a polarização por dicroísmo Linear, utilizada nos filtros polarizadores sintéticos.

5.1.1 Filtros polarizadores

O princípio de funcionamento de um filtro polarizador se refere à absorção ou reflexão de campos elétricos que oscilam na direção de fios condutores de uma grade, conforme esquematizado na figura abaixo:

Figura 34 – polarização por um filtro de fios condutores.



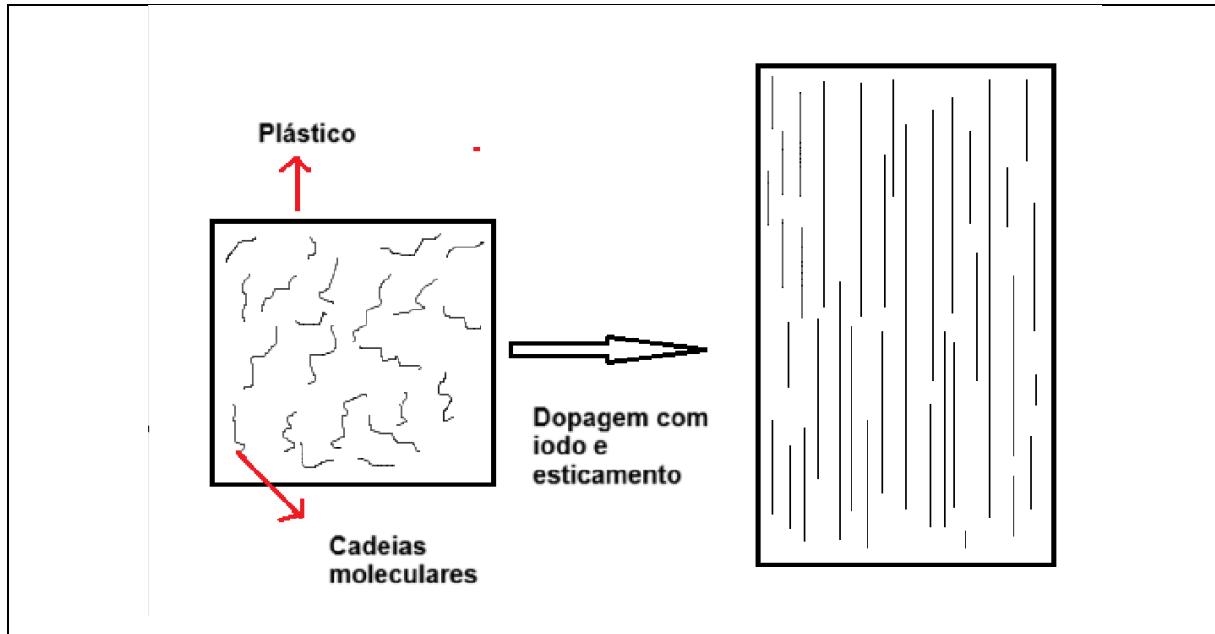
Fonte: Acervo do autor.

Para que este efeito ocorra é necessário que a distância entre os fios condutores seja da ordem do comprimento da onda eletromagnética a ser polarizada. Além disso, ondas macroscópicas como as micro-ondas, podemos utilizar os fios condutores, mas isto é inviável para ondas como a luz, cujo comprimento é da ordem de nanômetros.

Explicamos que este problema é resolvido utilizando filtros polarizadores de plástico dopados com iodo e esticados. As moléculas de iodo se comportam como condutores

para ondas com frequências próximas da as da luz visível e, as cadeias moleculares do plástico ao serem esticadas formam pequenas grades condutoras.

Figura 35 – Filtros polarizadores sintéticos de luz visível.



Fonte: Acervo do autor.

Assim, as componentes de campo elétrico que oscilam na direção das cadeias moleculares são absorvidas e a luz que atravessa o filtro é polarizada na direção ortogonal à direção das cadeias.

Vale ressaltar que a representação deste fenômeno em suma maioria dos casos coloca o filtro polarizador na direção de polarização da onda transmitida para evitar conflitos cognitivos e simplificar o entendimento.

5.1.2 Lei de Malus

Quando a luz polarizada atravessa um filtro polarizador fazendo um ângulo θ com a direção do filtro, temos que o módulo de campo elétrico que atravessa o filtro é:

$$E = E_0 \cos (\theta),$$

Desse modo, podemos determinar a intensidade luminosa que atravessa o filtro através de uma simples substituição na equação que determina a intensidade de uma onda eletromagnética, conforme é indicado por Griffiths, 2010.

$$I_0 = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2,$$

Então:

$$I = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E_0^2 \cos^2 \theta = I_0 \cos^2 \theta,$$

Esta é a Lei de Malus, que relaciona a intensidade da luz polarizada que atravessa um filtro polarizador.

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

Para entendermos o que acontece com a luz não polarizada que atravessa um filtro polarizador, podemos imaginar que esta luz é composta por infinitos campos elétricos, cada um polarizado com um ângulo diferente em relação ao filtro polarizador. Um bom modelo para a intensidade resultante é, portanto, a média de todas as intensidades de cada campo que atravessa o filtro, o que para a função cosseno ao quadrado fica da forma:

$$I = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_0 \cos^2 \theta \, d\theta = \frac{I_0}{2},$$

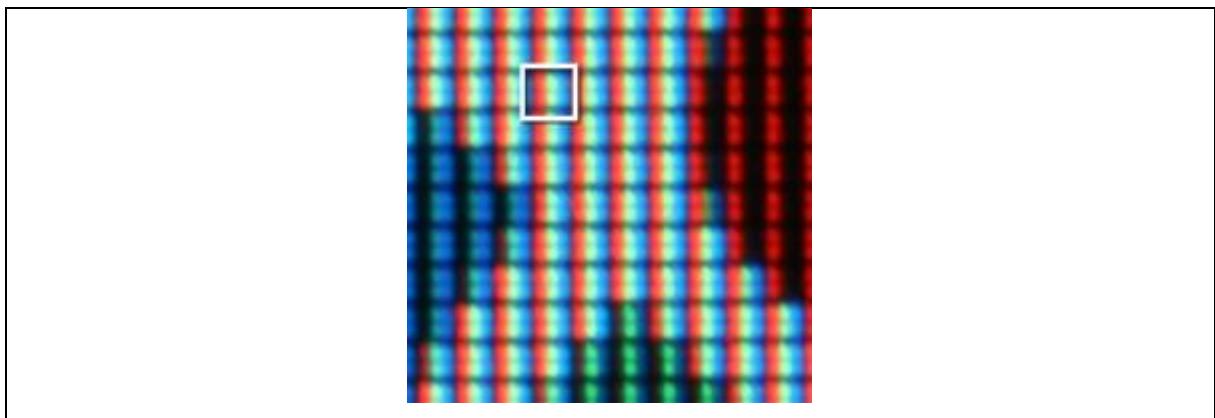
Ou seja, a intensidade da luz não polarizada que atravessa um filtro polarizador é, em média, reduzida pela metade. Essa é uma consequência da Lei de Malus para a luz incidente não polarizada.

5.2 Polarização da luz nas telas LCD

A maioria das pessoas sabe que uma tela, como é o caso das telas de cristal líquido, é composta por uma grande quantidade de pixels, pequenas unidades contendo uma cor que é uma superposição das cores vermelho, verde e azul. A imagem que observamos na tela seria um mosaico composto por uma enormidade de pixels. O que costumamos ignorar, todavia, é a complexidade do funcionamento de um pixel de

LCD, os reduzimos a luzinhas ou leds que acendem e apagam de forma rápida para formar a imagem e ignoramos os fenômenos óticos e elétricos sofisticados que ocorrem em seu interior.

Figura 36 – Pixels formando as cores branca, verde, azul e vermelha.



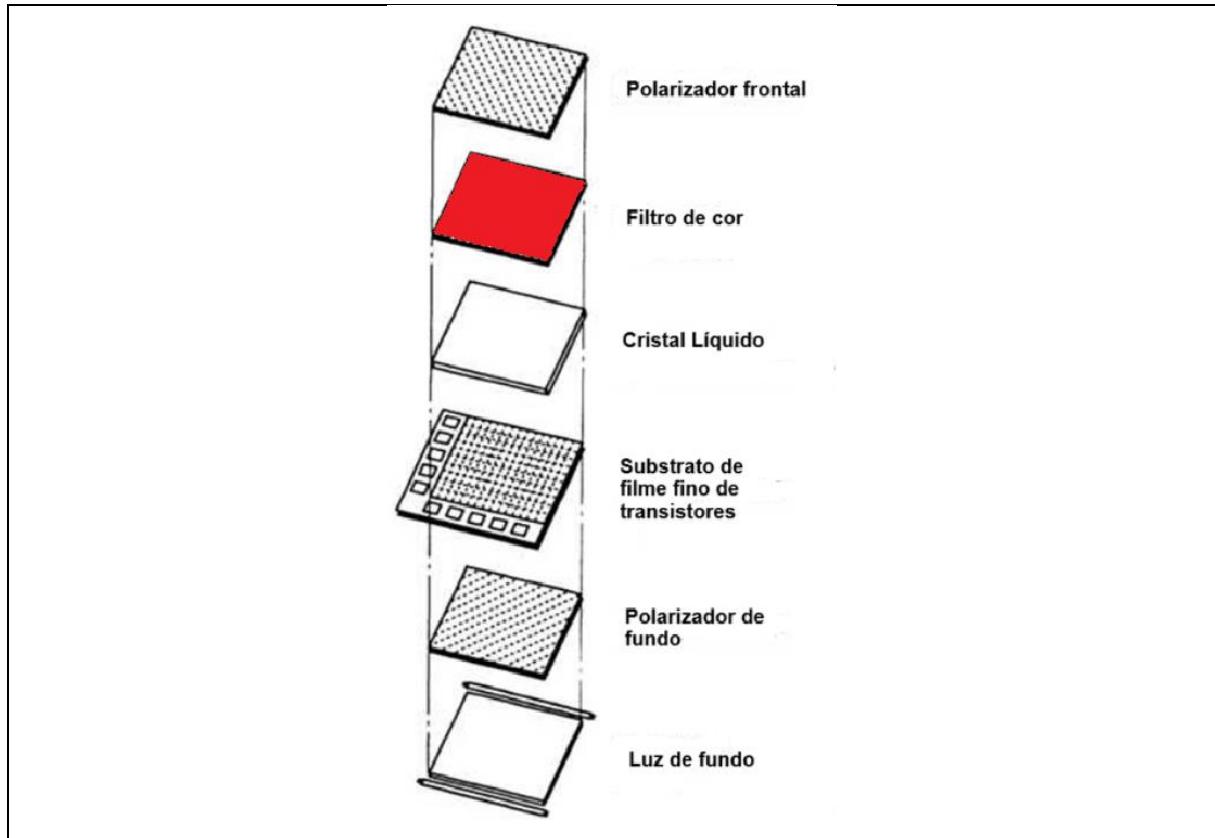
Fonte: Wickmedia, 2024.

Cada uma das três cores no interior de um pixel corresponde ao que chamamos de ponto, em cada ponto existe um filtro que apenas permite a passagem de uma única cor. Quando todos os pontos estão permitindo a passagem da luz em intensidade máxima, a cor resultante será a branca. Se houver sobreposição de cores como vermelho e azul, por exemplo, teremos como resultante uma tonalidade de roxo, assim, a cor do pixel é a combinação das cores dos três pontos em intensidades diferentes.

Todavia, a forma como cada ponto é ativado, permitindo ou não a passagem de luz, de maneira integral ou parcial é intrigante. Os pontos não são pequenas lâmpadas e nem *leds*, mas uma estrutura sofisticada que permite ou não a passagem da luz por meio da polarização e da birrefringência eletricamente controladas.

Na figura que se segue, Tsukada nos mostra a estrutura interna em camadas por trás do funcionamento de um único ponto

Figura 37 – Funcionamento de um ponto que compõem um pixel de uma tela de cristal líquido. De baixo para cima temos: a luz traseira, o polarizador traseiro, o substrato de filme fino de transistores, o cristal líquido, o substrato de cor e o polarizador frontal.

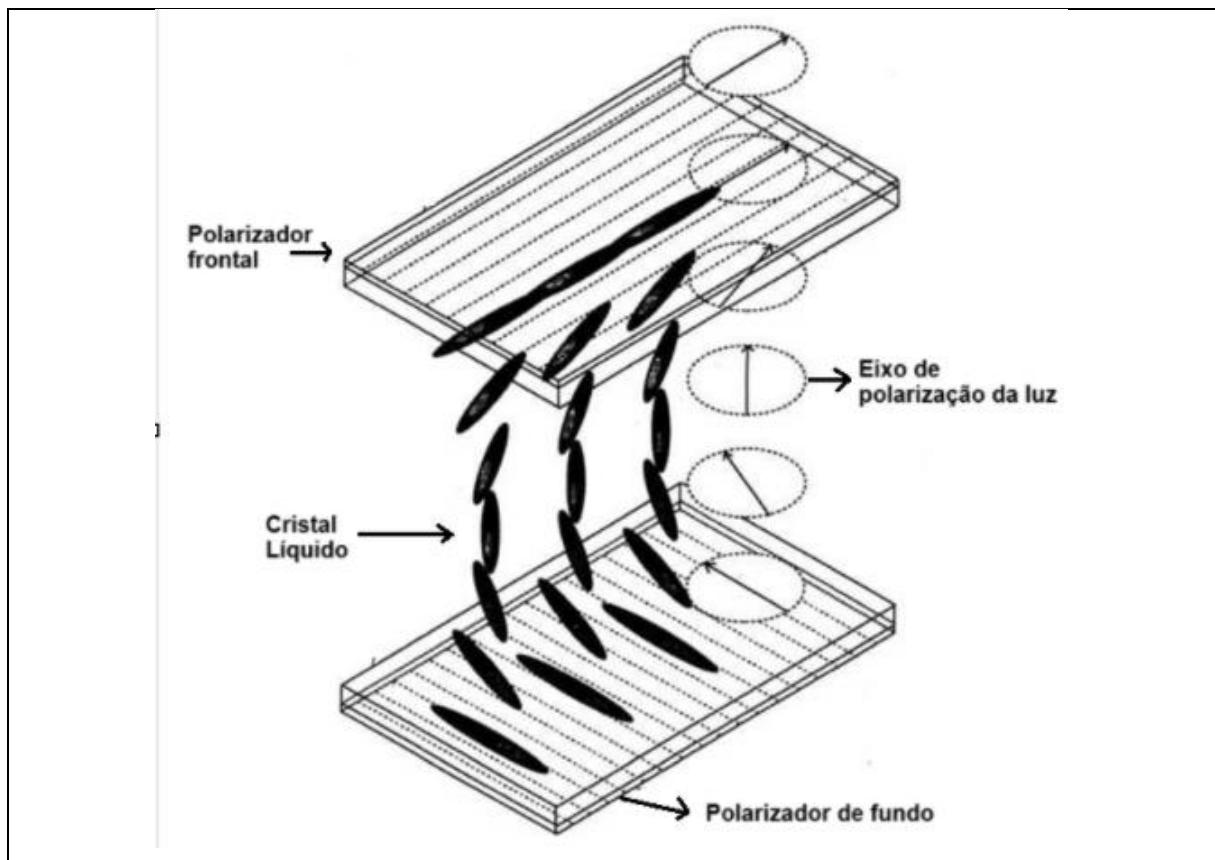


Fonte: Adaptado de Tsukada, 1996.

A luz é emitida por uma fonte independente na parte de trás da tela, geralmente, essa fonte de luz é uma lâmpada fluorescente ou uma fita de leds brancos e a luz emitida é não polarizada. Seguindo o seu trajeto ela atravessa o filtro polarizador traseiro, onde passa a ser luz branca linearmente polarizada na direção de polarização do filtro polarizador traseiro.

Em seguida a luz atravessa o filme fino de transistores e adentra no cristal líquido. O filme de transistores tem a função de criar um campo elétrico de intensidade controlada que penetra a camada de cristal líquido. Esse campo é capaz de mudar a orientação das moléculas e a orientação das moléculas de cristal líquido rotaciona a direção de polarização da luz.

Figura 38 – alteração da orientação das moléculas do cristal líquido e do eixo de polarização da luz.



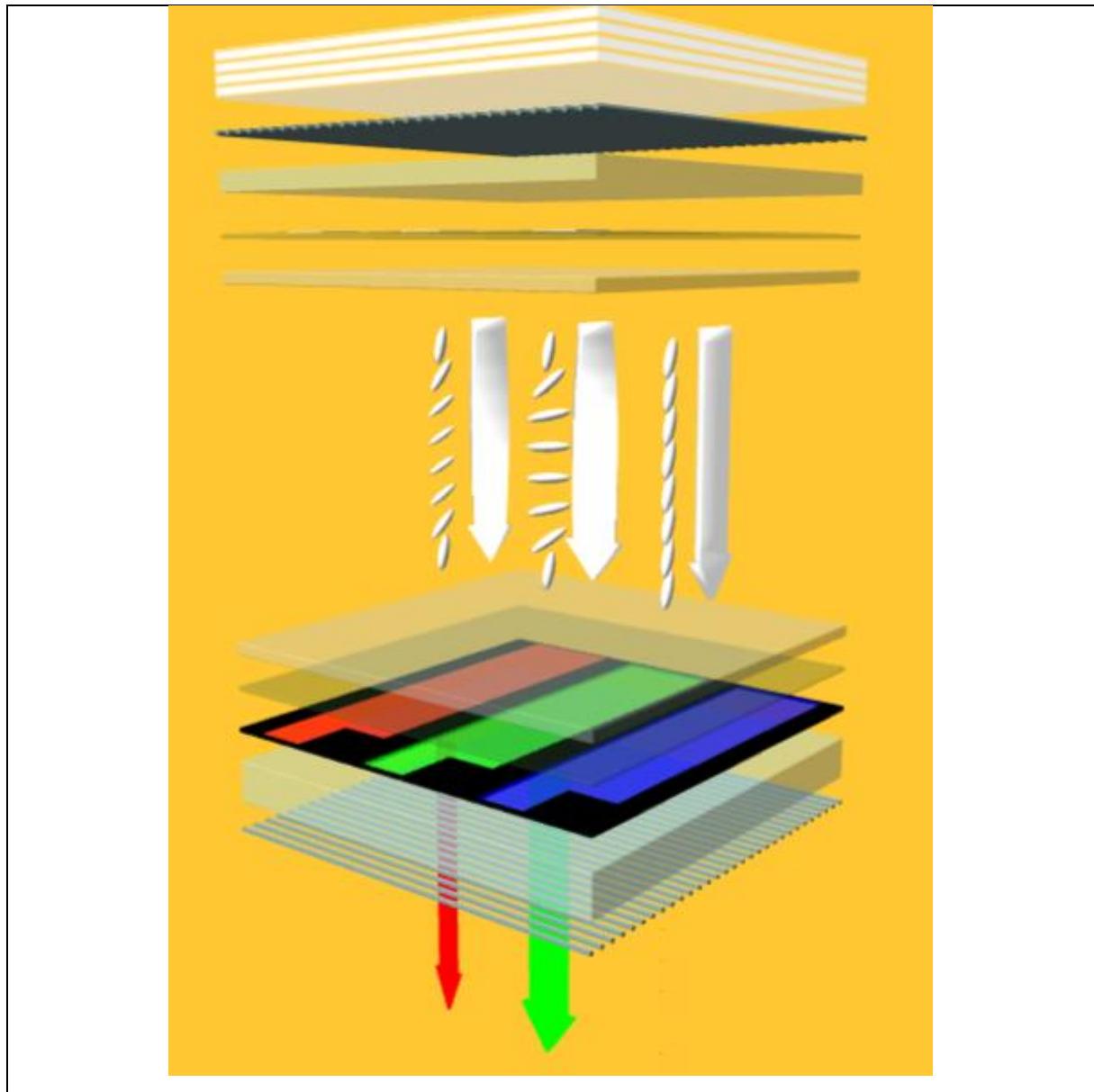
Fonte: Adaptado de Tsukada, 1996.

A luz atravessa o cristal líquido e passa pelo substrato de cor, adquirindo uma das três cores dos pontos internos de um pixel, e mantendo o eixo de polarização que adquiriu após passar pelo cristal.

Sendo assim, se não houver mudança no eixo de polarização da luz na camada e cristal líquido, como o polarizador frontal faz ângulo de 90° com o polarizador traseiro, o ponto ficará escuro, não havendo passagem de luz. Se o eixo de polarização for girado em 90° toda a luz passará pelo ponto, garantindo o máximo brilho para a sua cor, e caso o eixo de polarização seja deslocado em um ângulo intermediário, entre 0° e 90° , a intensidade da luz que atravessará o ponto obedecerá a Lei de Malus.

Para o funcionamento de um pixel por completo, basta generalizarmos a ideia para três pontos:

Figura 39 – Funcionamento de um pixel completo.



Fonte: Krömker, 2024.

A figura 39 ilustra o funcionamento de um pixel completo, a luz que passa pelo filtro verde tem seu eixo de polarização rotacionado em 90º pela camada de cristal líquido, a luz que passa pelo filtro vermelho tem seu eixo de polarização rotacionado em um ângulo intermediário e a luz que passa pelo filtro azul não tem seu eixo polarização rotacionado.

6. ORIENTAÇÕES FINAIS

Este texto apresenta uma sequência didática composta de quatro atividades de três aulas cada, abordando principalmente o conceito de polarização da luz visível e de micro-ondas e suas aplicações em tecnologias do cotidiano como Telas LCD e óculos de Sol polarizados. A proposta foi desenvolvida à luz da pedagogia de Paulo Freire e estruturada de acordo com os três momentos pedagógicos, tais fatos nos trazem consequências interessantes sobre a abordagem que cada professor deve tomar para aplicá-lo em cada turma. A mais importante delas é que esta sequência é nada mais nada menos que uma proposta, cada professor deve adaptá-la, principalmente de acordo com as necessidades dos educandos, bem como de acordo com as suas. Além disso, a sequência pode e deve ser modificada durante a aplicação, uma vez que o diálogo com os estudantes é fundamental para a construção das aulas dentro da pedagogia de Freire. A proposta que foi apresentada aqui é fruto do trabalho conjunto do autor com seus estudantes.

Outra consequência importante é a necessidade de dialogicidade durante a aplicação, este talvez seja o maior desafio para professores que como o autor se habituaram ao método tradicional de ensino. A dialogicidade exige um policiamento constante e uma determinação forte. Porém, traz riquezas e profundidade às aulas. Abordadas as consequências acredito que a sequência apresentada possa lhe servir de direcionamento, ajudando a estabelecer objetivos e determinar os caminhos que possam ser seguidos.

Quanto ao material, está dividido em textos, questionários e tutoriais para a construção de experimentos. Os textos e questionários, eu o encorajo, leitor a modificá-los e usá-los conforme achar conveniente. Os tutoriais para a construção por sua vez devem ser o componente mais rígido deste texto, são experimentos muito específicos e devem ser executados cuidadosamente. Aconselho que construa os experimentos com calma e com um longo prazo antes da aplicação, à primeira vista podem parecer complexos, mas não o são, apenas exigem tempo e perícia. Aprofunde-se em todo o conhecimento técnico e científico que os envolve e use isso na aplicação.

Por fim salientamos que o leitor estimule seus estudantes a utilizarem ao máximo o material disponível, acompanhe o progresso de cada um deles e faça as modificações necessárias durante o processo, sempre visando cumprir os objetivos de ensino listados.

REFERÊNCIAS

Arduino, **What is Arduino?** Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> acesso em 17/07/2024.

CALZOLARIA, A.; BATISTETI, E. M.; DE MELLO, R. R. Tertúlia Dialógica Científica: atuação Educativa de êxito para Educação Científica e Tecnológica. **Dialogia**, n. 36, p. 441-457, São Paulo, 2020.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17^a Ed. Paz e Terra, Rio de Janeiro 1987.

KRÖMKER, D. **LCD Explorer**. Disponível em: https://www.merckgroup.com/netstorage/lcdexplorer/index.html#topic=psva;scene=psva_chap1;lang=en. Acesso em 10 de setembro de 2024.

LABZ. **Fiz um monitor SECRETO**. 1 de junho de 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=A7ITbEsACa8> Acesso em 23/12/2023.

LABZ. **FIZ UM CELULAR SECRETO**. 23 de janeiro de 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=YqRrOh7tFJA> Acesso em 23/12/2023.

LINHARES, D. C. M. **LCD ou LED: Qual a diferença? Como funcionam?** 18 de abril de 2018. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=QsjxPyAmaj0> Acesso em 23/12/2023.

LIGUORI, D. S. de A. **CRISTAIS LÍQUIDOS COMO FERRAMENTA DE ENSINO EM FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

LS STORE. **OCÚLOS POLARIZADO PARA DIRIGIR A NOITE E EM DIAS DE CHUVA**. (propaganda). Disponível em: <https://www.lowstore07.com.br/products/oculos-polarizado-para-dirigir-noite-e-em-dias->

[chuva?pr_prod_strat=collection_fallback&pr_rec_id=2c091da53&pr_rec_pid=8522795450662&pr_ref_pid=8522796728614&pr_seq=uniform](https://www.biblioteca.uol.com.br/chuva?pr_prod_strat=collection_fallback&pr_rec_id=2c091da53&pr_rec_pid=8522795450662&pr_ref_pid=8522796728614&pr_seq=uniform)

Acesso em 23/12/2023.

MARIANO, E. B. **INTRODUÇÃO À FÍSICA DOS CRISTAIS LÍQUIDOS.** (dissertação de mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina grande, 2015.

MUENCHEN C.; DELIZOICOV D. Os três momentos pedagógicos na edição de livros para professores. **Ensino de ciências e tecnologia em revista.** Vol 1. n. 1, 2011.

MUENCHEN C.; DELIZOICOV D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro “Física”. **Ciênc. Educ, Bauru**, v. 20, n. 3, p. 617-638, 2014.

PORTAL DO TRÂNSITO. **CAUSA DE MUITOS ACIDENTES OFUSCAMENTO PODE SER EVITADO, VEJA COMO.** 08 de novembro de 2016. Disponível em: <https://www.portaldotransito.com.br/noticias/causa-de-muitos-acidentes-oofuscamento-pode-ser-evitado-veja-como-2/>. Acesso em 23/12/2023.

SASSERON, Lúcia Helena; DE CARVALHO, Anna Maria Pessoa. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em ensino de ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77,2011.

TSUKADA, Toshihisa. **Liquid-Crystal Displays Addressed by Thin-Film Transistors.** Japanese Technology Reviews V.29: Tokyo 1996.

VUOLO, Jose H. **Polarização da Luz e Mostrador de Cristal Líquido TN (TNLCD)** (apostila). Universidade de São Paulo, instituto de Física: São Paulo, 2013.

Wikimedia, Imagem de alguns pixels. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TFT_Pixel.png