



Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Coordenadoria de Pós-Graduação (CPG/PROPP)



INSTITUTO DE QUÍMICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL - PROFQUI

**POLARÍMETRO DE BAIXO CUSTO: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
SIGNIFICATIVO DE ATIVIDADE ÓPTICA E ISOMERIA ÓPTICA NO ENSINO  
MÉDIO**

Silvio Mendes Mazarin

Campo Grande /MS

2021



Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Coordenadoria de Pós-Graduação (CPG/PROPP)



INSTITUTO DE QUÍMICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL - PROFQUI

**POLARÍMETRO DE BAIXO CUSTO: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
SIGNIFICATIVO DE ATIVIDADE ÓPTICA E ISOMERIA ÓPTICA NO ENSINO  
MÉDIO**

Silvio Mendes Mazarin

Dissertação de mestrado apresentada como parte das atividades para a obtenção do título de Mestrado em Química do Instituto de Química, pelo Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional.

Orientador: Dr.: Walmir Silva Garcez.

Coorientadora: Dra.: Luzinátia Ramos Soares.

Campo Grande /MS

2021



Ministério da Educação  
**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**  
Coordenadoria de Pós-Graduação (CPG/PROPP)



**SILVIO MENDES MAZARIN**

**POLARÍMETRO DE BAIXO CUSTO: UMA PROPOSTA PARA O ENSINO  
SIGNIFICATIVO DE ATIVIDADE ÓPTICA E ISOMERIA ÓPTICA NO ENSINO  
MÉDIO**

Dissertação de mestrado apresentada como parte das atividades para a obtenção do título de Mestrado em Química do Instituto de Química, pelo Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional.

Campo Grande 16 de setembro de 2021

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente: Dr. Walmir Silva Garcez

Instituição: Instituto de Química – UFMS.

Titular: Dra. Adriana Pereira Duarte

Instituição: Instituto de Química – UFMS.

Titular: Dr. Eduardo Luis Figueiredo

Instituição: AGEAD– UFMS.

Suplente: Dr. Alex Fonseca Souza

Instituição: Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – *campus* Coxim

Suplente: Dr. Onofre Salgado Siqueira

Instituição: Instituto de Química – UFMS.

**“Quer você acredite que consiga fazer uma coisa ou não, você está certo. A única história que vale alguma coisa é a história que fazemos hoje.”**

**Henry Ford.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, o Grande Arquiteto Do Universo, que me permitiu concluir este trabalho de pesquisa com grande serenidade e sabedoria.

Quero expressar meus sinceros agradecimentos a algumas pessoas que tornaram possível a realização deste meu sonho.

Aos meus orientadores, Dr. Walmir Silva Garcez e Dra. Luzinátia Ramos Soares pela competência, cuidado, paciência, sabedoria e amizade.

Aos meus colegas de mestrado, com quem vivi momentos agradabilíssimos de amizade e respeito.

Aos professores: Walmir Silva Garcez, Ivo Leite, Onofre Salgado Siqueira, Eduardo Figueiredo e Daniela, pelos ensinamentos como docentes, pesquisadores e como referencial. A vocês minha admiração e respeito.

Aos meus pais José Ângelo Mazarin e Maria Mendes Mazarin pelo amor, carinho, apoio e compreensão.

Aos meus filhos, Ângelo Vinícius e Bruno Felipe H. Mazarin, pela compreensão e amor incondicional que me apoiaram e me incentivaram a ir sempre mais longe.

Ao meu irmão de consideração, Luciano Duarte, maior incentivador para a realização deste mestrado.

Ao meu colega Dr.: Danilo Tófoli do IFMS - *campus* Aquidauana por ter me apresentado ao programa PROFQUI em 2017.

Aos meus amigos do *Campus Jardim* - IFMS, em especial, Luis Otávio, Poliana, Érika, Joel, Robinho, Priscila Heradon, Tadeu Loibel, Griscele e Paulo Guilherme Shiota, pela torcida e pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos meus amigos, Nilson Oliveira da Silva, Mirelli da Silva Costa e Guilherme Galício, enquanto diretores do *campus Jardim-IFMS*, por me apoiarem sempre em minhas necessidades.

À minha amiga Luciana Emanuelle Sanches Galício pela amizade, compreensão e sabedoria ao ajustar os horários de trabalho conforme as minhas necessidades.

Por fim, ao meu amiguinho, Lucas Sanches Galício ao qual dedicava alguns momentos do meu dia para jogar bola e fazer meus dias mais leves.

## RESUMO

A contextualização dos conhecimentos de Química articulados com o cotidiano dos estudantes em uma abordagem experimental é uma prática pedagógica que tem sido amplamente discutida. Pesquisadores têm defendido as suas contribuições como estratégias facilitadoras para o aprendizado nas pesquisas de ensino de Química. Considerando a experimentação como recurso cognitivo capaz de aproximar o aprendizado de estereoquímica a um nível de maior compreensão para o estudante, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma técnica de aprendizagem significativa com a elaboração de material didático apropriado para uma atividade experimental utilizando um polarímetro de baixo custo desenvolvido para os estudos de atividade óptica e isomeria óptica em sala de aula. A pesquisa foi realizada com estudantes do Ensino Médio de diversas escolas públicas e privadas. Os pressupostos teóricos que orientam a elaboração da proposta consideram as perspectivas da aprendizagem significativa de David Ausubel, os princípios da pesquisa científica como metodologia de ensino orientando o desenvolvimento das atividades experimentais. Para a análise dos dados obtidos durante a pesquisa foi utilizado a análise de conteúdo do caderno de bordo e abordagem estatística dos questionários estruturados utilizados na investigação sobre a evolução conceitual. Os resultados mostraram a relevância da experimentação com o material didático desenvolvido e a importância da utilização do polarímetro na aprendizagem da estereoquímica como ferramenta facilitadora na construção e promoção da aprendizagem significativa.

Palavras chaves: Polarímetro, aprendizagem significativa, experimentação em sala de aula.

## **ABSTRAT**

The contextualization of chemistry knowledge articulated with the students' daily life in an experimental approach is a pedagogical practice that has been widely discussed. Researchers have defended their contributions as facilitating strategies for learning in Chemistry teaching research. Considering experimentation as a cognitive resource capable of approaching the learning of stereochemistry to a level of greater understanding for the student, this work aimed to develop a meaningful learning technique with the development of teaching material suitable for an experimental activity using a low polarimeter cost developed for the studies of optical activity and optical isomerism in the classroom. The research was carried out with high school students from different public and private schools. The theoretical assumptions that guide the elaboration of the proposal consider David Ausubel's perspectives of meaningful learning, the principles of scientific research as a teaching methodology guiding the development of experimental activities. For the analysis of the data obtained during the research, the content analysis of the logbook and the statistical approach of the structured questionnaires used in the investigation of the conceptual evolution were used. The results showed the relevance of experimenting with the developed teaching material and the importance of using the polarimeter in the learning of stereochemistry as a facilitating tool in the construction and promotion of meaningful learning.

Key words: Polarimeter, meaningful learning, classroom experimentation.

## **LISTA DE SIGLAS**

ESA – Experimentação em sala de aula

ENEM- Exame Nacional do Ensino Médio

Q1-PRE – Questão1 do pré-teste

Q2-PRE – Questão2 do pré-teste

Q3-PRE – Questão1 do pré-teste

Q4-PRE – Questão1 do pré-teste

Q5-PRE – Questão1 do pré-teste

Q6-PRE – Questão1 do pré-teste

Q7-PRE – Questão1 do pré-teste

Q8-PRE – Questão1 do pré-teste

Q9-PRE – Questão1 do pré-teste

Q10-PRE – Questão1 do pré-teste

Q11-PRE – Questão1 do pré-teste

Q12-PRE – Questão1 do pré-teste

Q13-PRE – Questão13 do pré-teste

Q1-POS – Questão 1 do pós-teste

Q2-POS – Questão 2 do pós-teste

Q3-POS – Questão 3 do pós-teste

Q4-POS – Questão 4 do pós-teste

Q5-POS – Questão 5 do pós-teste

Q6-POS – Questão 6 do pós-teste

Q7-POS – Questão 7 do pós-teste

Q8-POS – Questão 8 do pós-teste

Q9-POS – Questão 9 do pós-teste

Q10-POS – Questão 10 do pós-teste

Q11-POS – Questão 11 do pós-teste

Q12-POS – Questão 12 do pós-teste

Q13-POS – Questão 13 do pós-teste

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: A Luz como onda eletromagnética transversal .....	32
Figura 2: Planos de oscilações da luz comum .....	33
Figura 3: luz polarizada .....	34
Figura 4: Funcionamento de um polarizador de ondas .....	36
Figura 5: Polarização por reflexão.....	39
Figura 6: Estrutura da película polarizadora.....	41
Figura 7: Tensionamento das moléculas polarizadoras .....	41
Figura 8: Seleção Do Plano De Oscilação .....	42
Figura 9: Polarímetro De Biot.....	43
Figura 10: Esquema De Um Polarímetro .....	44
Figura 11: Prisma De Nicol Como Polarizador .....	45
Figura 12: Esquema Do Polarímetro Aperfeiçoado Por Mitscherlich.....	45
Figura 13: Plano de corte do compensado.....	48
Figura 14: Instalação Da Película Polarizadora.....	49
Figura 15: Câmara De Análise .....	49
Figura 16: Diagrama eletrônico de ligação do LED .....	50
Figura 17: Instalação da câmara de análise na base .....	50
Figura 18: Instalação e teste da fonte de luz monocromática .....	50
Figura 19: Vista Inferior Do Analisador.....	51
Figura 20: Vista Superior Do Analisador .....	51
Figura 21: Calibragem para $0^\circ$ E $90^\circ$ .....	52
Figura 22: Polarímetro calibrado .....	52
Figura 23: Vista superior e lateral do polarímetro.....	53
Figura 24: Polarímetro pronto para uso.....	53
Figura 25: Fragmento do caderno de bordo do estudante 01 .....	83
Figura 26: Fragmento do caderno de bordo do estudante 02 .....	83
Figura 27: Fragmento do caderno de bordo do estudante 03 .....	83
Figura 28: Fragmento do caderno de bordo do estudante 04 .....	84

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Respostas da questão 01 do questionário inicial.....	68
Gráfico 2: Respostas da questão 01 do questionário final .....	68
Gráfico 3: Respostas da questão 02 do questionário inicial.....	69
Gráfico 4: Respostas da questão 02 do questionário final .....	69
Gráfico 5: Respostas da questão 03 do questionário inicial.....	69
Gráfico 6: Respostas da questão 03 do questionário final .....	69
Gráfico 7: Respostas da questão 04 do questionário inicial.....	70
Gráfico 8: Respostas da questão 04 do questionário final .....	70
Gráfico 9: Respostas da questão 05 do questionário inicial.....	71
Gráfico 10: Respostas da questão 05 do questionário final .....	71
Gráfico 11: Respostas da questão 01 do questionário inicial.....	72
Gráfico 12: Respostas da questão 06 do questionário final .....	72
Gráfico 13: Respostas da questão 07 do questionário inicial.....	72
Gráfico 14: Respostas da questão 07 do questionário final .....	72
Gráfico 15: Respostas da questão 08 do questionário inicial.....	73
Gráfico 16: Respostas da questão 08 do questionário final .....	73
Gráfico 17: Respostas da questão 09 do questionário inicial.....	74
Gráfico 18: Respostas da questão 09 do questionário final .....	74
Gráfico 19: Respostas da questão 10 do questionário inicial.....	74
Gráfico 20: Respostas da questão 10 do questionário final .....	74
Gráfico 21: Respostas da questão 11 do questionário inicial.....	75
Gráfico 22: Respostas da questão 11 do questionário final .....	75
Gráfico 23: Respostas da questão 12 do questionário inicial.....	76
Gráfico 24: Respostas da questão 12 do questionário final .....	76
Gráfico 25: Respostas da questão 13 do questionário inicial.....	76
Gráfico 26: Respostas da questão 13 do questionário final .....	76
Gráfico 27: Comparação dos acertos entre os questionários PRE e POS.....	81

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela: 1 Distribuição dos kits experimentais .....	61
Tabela: 2 Tabela de respostas da questão aberta do caderno de bordo. ....	85

## ÍNDICES DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Expressão da lei de Malus .....	35
Equação 2 - Rotação específica padrão .....	47

## **INDICE DE APÊNDICES**

Apêndice 1- Caderno de bordo de aula experimental .....	100
Apêndice 2- Questionário de pré-teste.....	101
Apêndice 3 - Questionário de pós-teste .....	104
Apêndice 4 - Itens avaliados em cada questão. ....	107
Apêndice 5 - Links para os vídeos sobre o produto desenvolvido.....	109
Apêndice 6 – Produto Educacional. ....	110

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Problema de pesquisa</b> .....	<b>19</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>19</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	19
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1 A aprendizagem significativa segundo David Ausubel</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 Definindo alguns termos.....	23
2.1.2 A aprendizagem significativa.....	24
2.1.3 Os mecanismos da aprendizagem significativa.....	25
2.1.4 Como surgem os conceitos subsunçores?.....	27
<b>3.0 UM BREVE HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 A luz e o fenômeno ondulatório</b> .....	<b>31</b>
<b>3.2 Luz Comum</b> .....	<b>33</b>
<b>3.3 A Polarização Da Luz</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4 Polarizadores</b> .....	<b>36</b>
<b>3.5 Tipos De Polarização</b> .....	<b>36</b>
3.5.1 Polarização por dupla refração .....	37
3.5.2 Polarização por reflexão.....	38
3.5.3 Polarização por absorção seletiva.....	40
<b>3.6 Atividade Óptica</b> .....	<b>42</b>
<b>3.7 Polarimetria</b> .....	<b>42</b>
<b>3.8 Polarímetro</b> .....	<b>43</b>
<b>3.9 A lei de Biot e a rotação específica</b> .....	<b>46</b>
3.9.1 Exemplo aplicação da Lei de Biot.....	47
<b>4.0 PRODUTO</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1 Descrição do polarímetro experimental</b> .....	<b>48</b>
<b>5. A EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1 Tipos de experimentação</b> .....	<b>55</b>
5.1.1 Como atividade investigativa .....	56
5.1.2 Como atividade de demonstração.....	57

5.1.3 Como objetivo de verificação .....	58
<b>6 METODOLOGIA .....</b>	<b>60</b>
<b>6.1 Percursos Metodológicos.....</b>	<b>60</b>
<b>6.2 A aplicação .....</b>	<b>60</b>
6.2.1 Roteiro de aplicação da sequência didática: .....	60
<b>6.3 A escolha do público .....</b>	<b>60</b>
<b>6.4 Os experimentos .....</b>	<b>61</b>
<b>6.5 A intervenção.....</b>	<b>62</b>
<b>6.6 Coleta de dados.....</b>	<b>62</b>
<b>6.7 Tratamento de dados .....</b>	<b>63</b>
<b>6.8 Os questionários .....</b>	<b>64</b>
<b>6.9 O caderno de bordo .....</b>	<b>64</b>
<b>6.10 Considerações importantes. ....</b>	<b>64</b>
<b>6.11 Preparação dos kits (roteiro produto) .....</b>	<b>65</b>
<b>6.12 A entrega dos kits .....</b>	<b>66</b>
<b>6.13 Dificuldades encontradas.....</b>	<b>67</b>
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>7.1 Resultados das questões obtidas através dos questionários de pré-teste e pós-teste. ....</b>	<b>68</b>
<b>7.2 Análise dos resultados do questionário inicial. ....</b>	<b>77</b>
<b>7.3 Análise dos resultados do questionário final. ....</b>	<b>80</b>
<b>7.4 Análise comparativa dos questionários.....</b>	<b>81</b>
<b>7.6 Análises dos dados no caderno de bordo. ....</b>	<b>82</b>
7.6.1 Categoria “usabilidade e realização da tarefa” .....	83
7.6.2 Respostas dos estudantes à questão dissertativa do caderno de bordo a seguir: .....	85
<b>7.6.2.1 Categoria “Interesse pelo assunto” .....</b>	<b>86</b>
<b>7.6.2.2 Categoria “Aprendizagem” .....</b>	<b>87</b>
<b>7.6.2.3 Categoria “Associação da teoria com a prática” .....</b>	<b>89</b>
<b>8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>100</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de química se sustenta de maneira legítima em inúmeros conceitos envolvendo complexas abstrações. Assim como em outras áreas da Ciência, tem sido conduzida de forma muito abstrata e com auxílio de poucos recursos experimentais (ROGOSVISKI, 2014). Os conteúdos de Química têm sido trabalhados de forma dissociada das suas aplicações cotidianas e fora da contextualização social. Segundo Serafim (2001) a teoria é a abstração da realidade desse modo, os estudantes não conseguem encontrar muito sentido e motivação para estudar Química sem a articulação entre teoria e a contextualização experimental. Segundo Freire (1997), para compreender a teoria é necessário experimentá-la. Este comportamento tradicional do ensino tem chamado às atenções dos pesquisadores e é apresentado nas pesquisas em ensino de Química. Nestas pesquisas, são relatados fatos que demonstram ainda persistirem no uso de práticas pedagógicas descontextualizadas da realidade, contribuindo assim, para que os estudantes se sintam desmotivados (ROCHA; VASCONCELOS, 2016).

A adoção de modelos para representações teóricas é inevitável. Aulas puramente teóricas, sem o envolvimento de atividades que estimulem a manipulação e a visualização, têm levado à propagação de equívocos conceituais e resultado na compreensão inadequada dos fenômenos. Yunes (1991), em sua tradução de Colombo, relata que é importante resgatar o valor da abordagem experimental na compreensão destes fenômenos. Bazin (1987) e Reginaldo, Sheid e Güllich (2012) discutem em seus trabalhos a importância da experimentação no processo de aprendizagem e apostam na maior significância desta metodologia em relação à simples memorização. A busca incessante em propor novas abordagens didáticas, que possam tornar mais atrativas e mais compreensíveis aos olhos dos estudantes, tem sido imensamente desafiadora (REZENDE, 2016). Trazer as abstrações de certos temas da Química a um nível de maior clareza para a compreensão por parte do aluno requer muita pesquisa, preparação e criatividade. Tudo isso exige muito, tanto do tempo, quanto da qualidade da formação do docente. Esse desafio se torna maior quando se refere ao ensino de Isomeria óptica, que se trata de uma ramificação da estereoquímica. A estereoquímica é uma subdivisão da Química Orgânica vinculada ao estudo das funções orgânicas. Esse tema faz parte do currículo do Ensino Médio de acordo com as Orientações Curriculares Nacionais do

Ensino Médio – OCNEM. (BRASIL, 2006). Por ser um assunto complexo e de grande teor conceitual, a isomeria óptica se sustenta em conhecimentos multidisciplinares muito específicos de Física-ondulatória, atividade óptica, de trigonometria, isomeria espacial incorporando figuras espaciais. Este fato tem provocado bastante resistência, tanto no ensino, quanto no aprendizado. Professores e estudantes, por vezes, fogem desta abordagem ou simplesmente tratam de forma inadequada, como se fossem temas desnecessários à formação do estudante (SULZBACH; LÜDKE, 2017) Desta forma, surgem algumas lacunas conceituais onde acabam ficando sem o entendimento esperado, não fazendo o sentido real de sua existência no currículo, bem como, desprezando a importância da abordagem histórica no desenvolvimento do tema ligada ao desenvolvimento da indústria farmacêutica, de alimentos e da economia, entre outras (SIMPLÍCIO, 2005).

De acordo com Raupp e Del Pino (2013), o ensino da estereoquímica e as dificuldades encontradas, inerentes ao seu entendimento, resultantes da complexidade de suas conceituações físico-matemáticas, são assuntos que vem tomando destaque nas discussões já há algumas décadas. A falta de habilidade na transposição de figuras bidimensionais (cadernos e livros) em tridimensionais (espacial) pode estar ligada à baixa frequência de atividades experimentais que estimulem o manuseio de modelos para visualização. Isto pode contribuir como uma fonte de equívocos na aprendizagem e perda do interesse no estudo da Química.

Considerando a visualização (REZENDE, 2016) e a experimentação (OLIVEIRA, 2010) como excelentes recursos cognitivos mostrando elevados potenciais para a promoção de aprendizagem significativa, é possível encontrar muitas pesquisas em ensino de química que visam quebrar os paradigmas de que os estudos da química dos isômeros ópticos são desnecessários ou irrelevantes ao currículo. Este tema, não só fazem parte de nosso dia-a-dia, mas também está inserido no desenvolvimento da sociedade quando se trata da tecnologia dos alimentos e da indústria farmacêutica conforme relata Lima (1997). Para Sulzbach (2017), estas pesquisas buscam não somente identificar as dificuldades, mas amenizar seus efeitos sobre a aprendizagem de diversos tópicos do componente curricular. Também visam diminuir a influência da abstração conceitual e a falta de experimentação em laboratórios adequados por meio da contextualização, da elaboração de materiais que auxiliam no processo de ensino-aprendizagem e

propõe metodologias alternativas que contribuem favoravelmente no estímulo à curiosidade (AIRES; LAMBACH, 2010). Alguns trabalhos relacionam diretamente a contextualização dos temas em atividades experimentais de isomeria como é o caso de Bagatin (2006) e Sulzbach (2017).

A contextualização abordando a importância da isomeria óptica na indústria de fármacos vem tomando espaço entre os pesquisadores, tendo em vista se tratar de um excelente aliado tanto à compreensão da importância dos enantiômeros, quanto à própria compreensão do fenômeno da atividade óptica nos isômeros. Segundo Orlando *et. al.* (2007) foi com a descoberta do efeito teratogênico de um dos isômeros ópticos da talidomida, medicamento utilizado para náuseas em gestantes, que se iniciaram as pesquisas referentes aos isômeros em medicamentos.

Auxiliando ainda na transposição do tema ao cotidiano dos estudantes, trabalhos relevantes utilizaram polarímetros didáticos e de baixo custo, desenvolvidos como estratégia para caminhos facilitadores que visam diminuir as dificuldades encontradas no entendimento da isomeria óptica. Estes equipamentos, cada um montado da forma que atendessem a individualidade e a necessidade de cada pesquisador, seja a instalação em bancada, seja em mesa de sala de aula, uso apenas de vidrarias ou recipientes comuns, de uma maneira geral, medem o ângulo de desvio do plano da luz polarizada quando passa por uma solução. Com a proposta de um polarímetro didático, os autores consideram que, a experimentação e a contextualização, sejam estratégias motivacionais e instrumento de grande importância para a visualização de fenômenos, e de aproximação da ciência ao cotidiano dos estudantes. (BAGATIN *et al*, 2005; BORGES, 2015; SULZBACH; LÜDKE, 2017)

Oliveira (2010) argumenta que a experimentação tem caráter muito importante no aprendizado, no entanto, quem irá delinear o significado final será o professor que delimitará o experimento em um planejamento minucioso de caráter demonstrativo, de verificação ou investigativo.

Com o objetivo de obter mais sucesso promovendo uma aprendizagem dinâmica, estimulada pela curiosidade e a descoberta na interação experimental, este trabalho buscou dar mais sentido e significado ao estudo da isomeria óptica para os estudantes de ensino médio das escolas públicas, seguindo o modelo pedagógico do construtivismo na visão de David Ausubel.

## 1.2 Problema de pesquisa

Por meio dos estudos envolvendo os conceitos que fundamentam a polarização da luz e a atividade óptica das substâncias em soluções aquosas permitindo identificar seus isômeros, esta pesquisa se concentra em investigar se “A utilização de um polarímetro de baixo custo na abordagem experimental pode contribuir para o melhor entendimento da atividade óptica e isomeria óptica, podendo viabilizar a aprendizagem significativa?”

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral desenvolver uma técnica de aprendizagem significativa para o ensino de atividade óptica e isomeria óptica.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal, esta pesquisa se constituiu nos seguintes objetivos específicos:

1. Desenvolver um polarímetro experimental de baixo custo utilizando-se materiais de fácil obtenção.
2. Elaborar um roteiro adequado para ser utilizado em atividades experimentais no estudo de atividade óptica e isomeria óptica em sala de aula.
3. Aplicar um questionário para avaliar a usabilidade e aprendizado do conteúdo por meio do uso do polarímetro na experimentação.
4. Elaborar um roteiro teórico para realizar a intervenção didática.
5. Elaborar um manual para a montagem e construção do polarímetro com riquezas em detalhes fotográficos para que estudantes e professores possam reproduzi-los com facilidade.
6. Elaborar um documento digital sob a forma de material de apoio para professores e estudantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO.

A insatisfação com os resultados do ensino tradicional preconizando práticas puramente mecânicas, apáticas, arbitrárias, que não se relaciona com conhecimentos pré-existentes traz à tona uma realidade muito desestimuladora em sala de aula. O estudante, muitas vezes, se coloca ou é colocado em uma situação em que é visto como agente passivo. Um receptáculo de informações sem a visão crítica do que está ocorrendo durante o processo. (GUIMARÃES, 2009). O professor é o mero transmissor do conhecimento ao aluno, como se de forma automática, toda sua informação fosse recebida e absorvida pelo estudante de forma mecanicamente direta, padronizada e sem distorções, como se o processo ocorresse da mesma forma para todos num simples toque de uma tecla.

Segundo Covolan e Silva (2005), a busca de uma prática pedagógica direcionada para a aprendizagem significativa de conteúdos justifica-se na insatisfação com os paradigmas tradicionais de ensino, que prescreve o repasse de conteúdos de forma pronta e acabada, não crítica, visando a memorização indolente e inerte.

A busca de um referencial teórico que pudesse contribuir envolvendo mecanismos de aquisição de conhecimentos e aprendizagem mais eficientes, mais prazerosos, que dessem um significado maior e que pudessem melhorar o entusiasmo tanto para o ensino quanto para o aprendizado converge às ideias construtivistas de David Ausubel sobre a aprendizagem significativa.

A Química é uma área cheia de conteúdos potencialmente significativos. É muito rica em exemplos de aplicações práticas e contextualizações com o cotidiano. Em seu trabalho, Silva (2007), relata que a contextualização no ensino de Química vem sendo defendida por diversos educadores, pesquisadores e grupos ligados à educação como importante recurso para viabilizar uma educação para a cidadania com um enfoque à aprendizagem significativa de conteúdos.

Todas estas vivências experimentadas pelos indivíduos acabam enriquecendo e construindo, por meio das suas experiências sociais e culturais, os elementos de concepções prévias na estrutura mental dos indivíduos. Esta, a cada dia, vem sofrendo transformações e evolui para uma nova forma de enxergar o mesmo mundo a cada experiência acrescentada em sua estrutura mental. De acordo com os relatos de Alves (2012).

A estrutura sensorial dota o ser humano de capacidade de observação do mundo (imediatamente ou não) em que vive. A mente consciente realiza reflexões sobre o mundo observado levando a construção de uma visão de mundo de seu proprietário. Tal visão de mundo é sempre atualizada, pois a estrutura sensorial não para de captar sinais e a mente também de fazer reflexões sobre os novos dados, ratificando ou retificando a visão de mundo anterior atualizando-a. (ALVES, 2012, p.14)

A valorização dos conhecimentos que cada indivíduo carrega e externa em sala de aula tem papel fundamental na construção dos conceitos a serem trabalhados na proposta da aula. Há um interesse no tema por trás destas lembranças e isto deve ser levado em conta e explorado a seu favor como mostra em seu trabalho Pelizzari *et al.* (2002).

A teoria de Ausubel propõe que os conhecimentos prévios dos alunos sejam valorizados, para que possam construir estruturas mentais utilizando, como meio, mapas conceituais que permitem descobrir e redescobrir outros conhecimentos, caracterizando, assim, uma aprendizagem prazerosa e eficaz. (PELIZZARI *et al.* 2002, p. 37).

A isomeria óptica e atividade óptica, trabalhada sempre de forma tão abstrata, possui potencial significativo muito grande e poderiam ter uma dimensão mais significativa ao ser trabalhada utilizando-se conhecimentos prévios e seus significados aliados à experimentação. O conhecimento da História da Química pode ser um excelente aliado ao entendimento das descobertas e contribuir para a promoção do aprendizado significativo e este pensamento está de acordo com os relatos apresentados nos estudos de Alegro. (2008).

A História alimenta-se da memória e da reconstrução do passado. Essas elaborações ocorrem como experiências individuais e coletivas que determinam a identidade dos envolvidos e permitem compreender o mundo e nele atuar. Os conteúdos da História são expressos por meio de narrativas que não se reduzem a meros discursos, mas efetivam-se como “práticas” que constroem e reconstróem objetos explicitando os seus significados. (ALEGRO, 2008, p. 23).

Em se tratando das aulas no laboratório de ciências para o ensino da química, Guimarães (2009) considera que:

O professor pode considerar, em aulas expositivas, as descobertas dos aprendizes para trabalhar significativamente os conteúdos pretendidos, pois ao trabalhar com as dificuldades e explicações dos alunos ao fenômeno, ele aliará as concepções prévias aos novos conhecimentos. Não se trata de trabalhar a química que só existe no livro e para a escola. (GUIMARÃES, 2009, p. 199)

Atento a este panorama adotou-se a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel como referencial teórico para nortear os limites estratégicos da abordagem experimental, o histórico da descoberta da polarização da luz e seus conceitos teóricos envolvendo o uso de um polarímetro experimental de baixo custo neste trabalho de pesquisa.

## **2.1 A aprendizagem significativa segundo David Ausubel**

David Ausubel, psicólogo da educação estadunidense, filho de imigrantes judeus, nasceu em 25 de outubro de 1918, em Nova Iorque, faleceu em 9 de julho de 2008. De família pobre na Europa Central, cresceu insatisfeito e revoltado com o tipo de educação recebida (AUSUBEL, 1968).

Completamente contra a educação tradicional, puramente mecânica, e ferrenho defensor do cognitivismo, após sua formação acadêmica no Canadá, dedica-se à pesquisa em educação. Em sua trajetória como pesquisador busca o caminho necessário ao verdadeiro aprendizado tentando compreender melhor os processos da mente que levam ao aprendizado. Propõe um aprendizado que tenha uma “estrutura cognitiva”. Sua proposta é incorporar conhecimento, armazenamento informações que ao se organizar na estrutura mental do indivíduo, seja futuramente manipulável adequadamente através da reorganização e integração dos novos conteúdos aprendidos significativamente (AUSUBEL, 1968).

Uma análise realizada por Ronca (1994), em seu trabalho, pontua a importância da preocupação de David Ausubel em elaborar uma teoria de ensino que pudesse auxiliar para a melhoria do desempenho do professor em sala de aula. Segundo o autor: “Uma teoria de ensino tem por base a construção de princípios que possam ser adaptados tanto a diferentes sujeitos como a diferentes situações”, (RONCA, 1994, p.91).

O pensamento ausubeliano foi introduzido no Brasil por volta do início da década de 70 pelo professor Joel Martins. Baseando-se nas ideias de David Ausubel ministrou o curso de Pós-Graduação na PUC-SP. Mais tarde, em 1975, esteve no Brasil onde coordenou um seminário avançado que reuniu 25 pesquisadores de todo Brasil onde, a partir deste momento, inúmeros trabalhos de investigação dos diferentes aspectos da teoria ausubeliana foram surgindo. (RONCA, 1994).

A partir das pesquisas realizadas nas décadas de 70 e 80, com enfoque nas concepções prévias, ou seja, que os estudantes levam para a sala de aula, torna-se um marco inicial para que o enfoque passivo de simples receptáculo de informações fossem, à passos lentos, recebendo uma nova abordagem de cunho construtivista. Os resultados destes estudos contribuíram para um melhor entendimento das influências desta nova concepção de aprendizagem contribuindo para fortalecer a orientação construtivista do ensino e da aprendizagem. (LIBARONE, 2007).

Como podemos observar no trabalho de Libarone (2007), a nova tendência educacional proposta por David Ausubel veio trazendo profundas contribuições para que o trabalho do profissional em educação tenha melhor desempenho em sala.

### 2.1.1 Definindo alguns termos

Para melhor compreender os processos do cognitivismo de David Ausubel na dimensão da aprendizagem significativa se faz necessário conhecer um pouco mais aprofundadamente os mecanismos mentais, para tanto, serão definidos alguns termos:

**Cognição:** é o processo de aquisição de um conhecimento, é a própria percepção. Segundo o Dicio (2020), Aquisição de conhecimento; capacidade de discernir, de assimilar esse conhecimento; percepção.

**Cognitivo:** relativo ao conhecimento. Processo mental de percepção, memória, juízo, ou raciocínio.

**Cognitivismo:** é a corrente da psicologia que se especializa no estudo da cognição. Os processos da mente relacionados com o conhecimento. (CASTANÕN, 2007)

**Estrutura cognitiva:** É um conjunto organizado de pontos de partida estruturados na mente de tal maneira que possa interagir com novas informações (AUSUBEL, 1968).

**Conceito subsunçor ou ancoragem:** É cada ponto ou entidade de informação relevante primária da estrutura cognitiva. São chamados de pontos de ancoragem (AUSUBEL, 1968).

**Conhecimentos prévios:** Também chamado de organizadores prévios, este termo significa os saberes que o aluno possui. É a ideia-âncora na estrutura mental (AUSUBEL, 1968).

**Aprendiz:** é todo indivíduo que se submete ou é submetido ao processo de aprendizado. (DICIO, 2020)

**Aprendizagem mecânica ou por memorização:** Ausubel (1968) define como sendo uma aprendizagem que não possui relação com conceitos relevantes. É armazenada arbitrariamente e fica distribuída na estrutura cognitiva sem estar se relacionando com conceito subçunsores específico. Pode ser exemplificada no aprendizado de sílabas soltas ou em casos que se decora fórmulas ou conceitos de forma arbitrária.

**Aprendizagem representacional:** Refere-se ao significado de palavras e símbolos unitários. Esse tipo de aprendizagem constitui o tipo mais básico de aprendizagem da espécie humana. O indivíduo relaciona o objeto ao símbolo que o representa. Esses símbolos são convencionais e permitem ao indivíduo conhecer e organizar o mundo exterior e interior. Nesse caso, nomear, classificar e definir funções constituem exemplos de aprendizagem representacional. Ausubel considera que esse tipo é o que mais se aproxima da aprendizagem mecânica ou automática. (MORAES, 2021).

### 2.1.2 A aprendizagem significativa

Na visão de Moreira (2016) a aprendizagem significativa de David Ausubel vai muito mais além de uma aprendizagem com significado. O significado do novo conhecimento adquirido se origina da interação com outro conhecimento, especificamente relevante, já existente de forma bem consolidada, bem compreendida na estrutura cognitiva do aprendiz.

“É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não literal e não arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.” (MOREIRA, 2010, p. 2)

A aprendizagem significativa envolve a aquisição de novos conhecimentos relacionando-se de forma não arbitrária e não literal com elementos relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz. Esses elementos são chamados de subsunçores ou conceitos de ancoragem. A estrutura cognitiva é uma rede de informações, conceitos consolidados e organizados na estrutura mental. De forma hierárquica a

nova informação se relaciona com os conceitos âncora da estrutura cognitiva, que possui caráter mais geral, mas significativamente relevantes. Esta interação ocorre de tal maneira a modificar incorporando mais informação e mais significado à medida que este processo relacional é desencadeado. Nesta interação não só os novos conceitos adquirem mais significado, mas o anterior também vai se tornando mais rico. A interação entre os conhecimentos novos e os prévios é a base da aprendizagem significativa (MOREIRA, 2016).

O cognitivismo de Ausubel se propõe estudar o ato da formação do significado ao nível da consciência, o ato da cognição.

Segundo Moreira (1982) é a consciência que atribui significados ao que rodeia o indivíduo, objetos e situações. A intencionalidade é a estrutura que dá significado à experiência, ela que serve de ponte entre sujeito e objeto. A intencionalidade da consciência deve ser tomada em termos de atos, pois estes, contém os objetos da intencionalidade. “O significado de ver só existe quando há algo para ser visto” (MOREIRA, 1982. p.2).

### 2.1.3 Os mecanismos da aprendizagem significativa

Segundo Ausubel (2003), para ocorrer a aprendizagem significativa é necessário que os aprendizes manifestem um mecanismo propício de aprendizagem significativa. Isto significa que deve existir uma pré-disposição por parte do aprendiz. Deve haver disposição para relacionar o novo material a ser aprendido, de forma não arbitrária e não literal à própria estrutura de conhecimento.

O material a ser aprendido precisa ser potencialmente significativo para os mesmos e nomeadamente relacional com as estruturas de conhecimento particulares (AUSUBEL, 2003 apud AUSUBEL, 1961a).

Por outro lado, se independentemente da potencialidade significativa que possa ser inerente a certa proposição, se houver a intenção de memorização de forma arbitrária e literal como uma série de palavras relacionadas de modo aleatória sem regras e fundamentos lógicos, nem o processo, e nem o resultado da aprendizagem podem ser significativos (AUSUBEL, 2003).

Segundo Ausubel (2003), entre as razões para adotar a aprendizagem por memorização e não haver assim a aprendizagem significativa em um componente curricular destaca-se as lamentáveis experiências anteriores do aprendiz. Mesmo

que tais componentes sejam potencialmente significativos, nestas experiências frustrantes, respostas substancialmente corretas, no entanto, que não estando em conformidade, de forma literal com a resposta do manual do professor ou seu plano, deixam de possuir valor ou crédito.

Outra razão é o fato de apresentarem elevados níveis de ansiedade, por terem fracassado repetidas vezes em um determinado componente curricular, uma baixa aptidão ou um ensino inadequado, não possuem confiança na aprendizagem significativa e acreditam não possuírem outra alternativa senão a aprendizagem por memorização.

Também podem desenvolver mecanismos de memorização se forem pressionados a exibirem fluência ou rendimentos, ou ocultarem deficiências na compreensão genuína, criando uma falsa impressão de compreensão por ser mais fácil.

O fato da aprendizagem ser ou não potencialmente significativa, quer logicamente significativa, quer relacional de forma não arbitrária e não literal com a estrutura cognitiva particular do aprendiz é muito mais complexo do que se imagina. No mínimo depende de dois fatores no estabelecimento das relações entre novos conhecimentos e a natureza da estrutura dos conhecimentos particulares do aprendiz.

O primeiro fator é correspondente ao material de instrução, que deve apresentar significação lógica. Deve apresentar natureza suficientemente não arbitrária, ou seja, não aleatória e ter uma base bem evidente para relacionar símbolos ou conjuntos de símbolos com sinônimos e não com termos exclusivos.

O segundo fator que determina se a aprendizagem será ou não significativa depende muito mais da estrutura cognitiva particular do aprendiz do que do material. A aquisição de significados é um fenômeno que ocorre com alguns humanos e não com toda a humanidade. Isto significa que não basta que os novos conteúdos sejam relacionais, de forma não arbitrária e não literal. É necessário que o conteúdo ideário relevante esteja disponível e faça parte da estrutura cognitiva do aprendiz, caso contrário não será satisfeita a função de ancoragem ou de subsunção.

A teoria ausubeliana se concentra na ideia de que o fator isolado mais importante na aprendizagem significativa é o que o indivíduo já sabe e traz consigo. (MOREIRA, 1982).

De acordo com a teoria ausubeliana, para que ocorra a aprendizagem significativa é necessário que faça sentido para o aprendiz. A nova informação deve ser incorporada aos conceitos de aspectos relevantes já existentes (âncora) na estrutura cognitiva do aluno (conceitos subsunçores) (MOREIRA, 1982).

#### 2.1.4 Como surgem os conceitos subsunçores?

Segundo Ausubel (2003), todos os novos significados obtidos por um aprendiz é produto da interação do novo com uma ideia relevante da estrutura cognitiva já existente. Mas como se aprende os significados originais? Aqueles primitivos que deram origem a estrutura cognitiva, ou seja, antes dela existir. Para esclarecer “qualquer resposta a esta questão deve, como é obvio, conceber-se em termos de desenvolvimento cognitivo” (AUSUBEL, 2003, p.76).

De acordo com a concepção de David Ausubel, qualquer que seja a resposta para esta pergunta, ela tem que ser fundamentada em termos de desenvolvimento cognitivo do aprendiz. Antes das crianças formarem seus conceitos elas aprendem que objetos semelhantes recebem nomes iguais e os diferentes nomes diferentes. A partir dessas percepções que as crianças, em seus primeiros anos de vida, têm o discernimento de que tudo possui um nome. Assim, antes de adquirir conceitos mais genéricos, aprendem que a linguagem possui propriedades representativas e, por meio de relacionamento objeto-nome, começam a entrar em um tipo de aprendizagem chamada de representacional, que corresponde ao mecanismo mais básico de aprendizagem da espécie humana. Nesse tipo de aprendizagem é relacionado o objeto ao símbolo que o representa seja nomeando, classificando ou definindo funções.

O próximo passo é o desenvolvimento suficiente para formar pequenas frases que expressam ideias e proposições simples. Logo mais desenvolve habilidades de relacionar nomes, objetos, acontecimentos, aprendem noção de ordem em um desenvolvimento cognitivo contínuo e gradual.

Quando se trata da fase inicial, em crianças mais novas, é necessário o processo de formação de conceitos que sejam de interesse específico e pertinente à idade, inclusive a escolar. Estes deverão ser desenvolvidos de modo a favorecer a construção da aprendizagem significativa.

Conforme relata Moreira (1982), Ausubel considera importante o papel da aprendizagem mecânica. Esta passa a ser necessária quando são adquiridos conhecimentos em uma área completamente nova para o indivíduo em aprendizagem e se faz necessário para a formação dos conceitos subsunçores na estrutura mental. Este é um processo conhecido como formação de conceitos e envolve situações mais genéricas. Esta é uma forma primitiva de conjunto de idéias que passarão a fazer o sentido concreto à medida que houver incorporação de novos conceitos e passar a se relacionar a outros se tornando mais significativa no decorrer da evolução da organização cognitiva. Então, pode-se concluir que é tão necessária quanto à aprendizagem significativa, pois, pode ser sua precursora primitivamente.

### 3.0 UM BREVE HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ.

A luz vem sendo estudada desde a antiguidade. Alguns dos fenômenos luminosos já eram conhecidos pelos gregos e romanos como, por exemplo: os conceitos de óptica geométrica envolvendo propagação retilínea, a produção de sombras, a Lei da perspectiva, os fenômenos da refração, as leis da reflexão em espelhos planos. Já havia a apropriação dos conhecimentos acerca do funcionamento dos espelhos côncavos e os convexos. Há relatos, do século IV a.C, sobre o conhecimento de que a luz poderia ser concentrada utilizando-se esferas de cristal. Também era conhecida a propriedade de obter imagens ampliadas por meio de observação através delas, utilizando-as como lentes conforme relata Martins e Silva (2015).

De forma sucinta, desde a antiguidade, um grande número de pesquisadores realizava estudos sobre a luz e os fenômenos luminosos, entre eles se destacam Aristóteles com a teoria de que a luz removia finas camadas de átomos que se chocavam contra os olhos na formação da visão, mais tarde com Alhazen, no século X, com suas contribuições oferecendo novos caminhos em oposição relativos às teorias da visão descritas pelos gregos e influenciando cientistas nos séculos seguintes. Durante o século XVII destacam-se René Descartes, Walter Charleton, Robert Boyle, Isaac Newton, Robert Hooke etc, que detinham suas atenções convergindo para o mesmo foco: A natureza e a origem das cores, as propriedades da refração, reflexão da luz e seus espectros. Havia divergências acerca da definição e descrição da luz. Preponderava o aspecto corpuscular também muito defendido por Newton em função da influência que tivera dos trabalhos dos autores descritos anteriormente. No entanto, ambos estavam empenhados em desvendar aspectos geométricos, de decomposição e recomposição de feixes luminosos. A combinação e recombinação de cores, por meio de associação de prismas e de combinação de seus espectros luminosos, na tentativa de desvendar e provar a origem das cores. Nos trabalhos de William Petty, enfatiza combinações das três cores azul, amarelo e vermelho, a partir dos quais as outras cores podem ser produzidas originariam cores secundárias etc. As cores não eram tratadas como ondas dotadas de frequências e comprimentos específicos de ondas e sim como entidades que se combinavam, aspectos puramente corpusculares. (MARTINS; SILVA, 2015)

A teoria corpuscular de Newton era considerada cientificamente a mais bem aceita na época por ser muito bem formulada. Entrou em forte conflito com o físico Robert Hooke (1635-1703) que realizou experimentos semelhantes com a luz em 1665. Em sua teoria Hooke afirma que a luz era uma substância formada por matéria em consequência da vibração do éter. A emissão de luz por uma fonte luminosa era o resultado de um movimento vibratório de pequena amplitude. Martins e Silva (2015) ainda relatam que em 1672, Hooke afirmou que a luz era uma onda transversal. Era favorável à ideia de que a luz fosse uma substância material que se propagava como onda, não conseguiu explicar os resultados de seus experimentos em que a luz solar era projetada em dois líquidos, um vermelho e outro azul, os quais permitiam que a luz passasse e quando misturados a luz era bloqueada.

Em 1669, Erasm Bartholini observa pela primeira vez que um feixe de luz, ao passar por um cristal de espato da Islândia, minério de calcita, era dividido em dois feixes onde apenas um deles sofria leve desvio em sua trajetória. Chamou este fenômeno de birrefringência ou dupla refração. Realizou vários estudos e experimentos acerca desta observação e publicou em seu livro "Experimenta Crystalli Islandici" em 1669. A birrefringência no espato da Islândia, também conhecido com a dupla refração, causou inquietação nos pesquisadores durante muito tempo. A tentativa de dar uma explicação para este fenômeno intrigou outros pesquisadores como Huygens, que também, na mesma época, buscava uma hipótese que descrevesse melhor o fenômeno.

Segundo a teoria corpuscular de Newton, reproduzida em vários experimentos, a luz era formada por um feixe de pequenas partículas que se propagavam em linha reta, já que as ondas não obedeciam a trajetória retilínea (óptica de raios ou óptica geométrica).

Esta ideia conseguia explicar os fenômenos de refração, reflexão, mas, apresentava inconsistências para a explicação das cores e dos fenômenos de difração e interferência. De acordo com Christian Huygens (1629-1695), estes fenômenos poderiam ser perfeitamente explicados caso a luz fosse interpretada como uma onda propagante (óptica ondulatória). O empenho de Huygens se dá, então, no sentido de considerar as várias propriedades da luz, apontando as falhas do modelo corpuscular para explicar tais propriedades e evidenciando as potencialidades do modelo ondulatório. Desta forma, Christian Huygens ficou conhecido por explicar a refração utilizando um modelo ondulatório (KRAPAS,

2011). Em 1678, defendia a hipótese de que a luz possui comportamento de onda, análogo ao som, mas não corpuscular. Isto é experimental conforme disserta Araújo e Silva (2009).

Essa matéria que serve à propagação da luz a partir dos corpos luminosos, ou seja, o éter, não pode ser o ar que sentimos e respiramos, pois, quando o ar é extraído de um local, o éter permanece. Isso pode ser demonstrado encerrando-se um corpo sonoro em um recipiente de vidro e retirando-se o ar por meio da bomba de vácuo inventada por Boyle. Ao retirar o ar, o som deixa de ser ouvido, mas a luz não deixa de atravessar o vidro, tal como antes. Da mesma forma, na experiência de Torricelli, ao inverter o tubo de vidro na cuba com o mercúrio, surge o vácuo na extremidade fechada do tubo, mas a luz continua a atravessar a porção evacuada. Isso prova que uma matéria diferente do ar deve atravessar o vidro, sabendo-se que tanto o mercúrio quanto o vidro são impenetráveis ao ar. (ARAÚJO e SILVA, 2009, p.326)

Contrariando Isaac Newton, afirma ainda que cada partícula do meio em que a onda se propaga transmite o seu movimento às partículas que estão ao seu redor e não somente as que estão em linha reta que parte do ponto de luz (SOUZA, 2017).

O Tratado sobre a luz de Christian Huygens, de 1690, propõe uma teoria ondulatória e concentra-se em desvendar os fenômenos da propagação retilínea, a reflexão, a refração da luz e o fenômeno da birrefringência, observada na calcita, mas novamente, sua teoria não consegue explicar completamente os fenômenos da birrefringência e associá-los às explicações das cores e a polarização, pois, trata a luz como análogas às ondas sonoras, que são longitudinais e não transversais. (MARTIN; SILVA, 2015) Além disso, tanto Huygens quanto Newton, não acreditavam que o fenômeno da difração provia evidências suficiente de que a luz deveria ser uma onda (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004). Por causa do prestígio de Newton, o comportamento ondulatório para a luz demoraria quase cem anos para ser aceito, no entanto, foi com Malus que esta explicação ganharia força.

### **3.1 A luz e o fenômeno ondulatório**

Segundo Ribeiro *et al* (2016) a luz é uma onda eletromagnética, visível, onde o componente elétrico (E) é perpendicular ao componente magnético (B). É uma onda transversal ao eixo de propagação (eixo x).

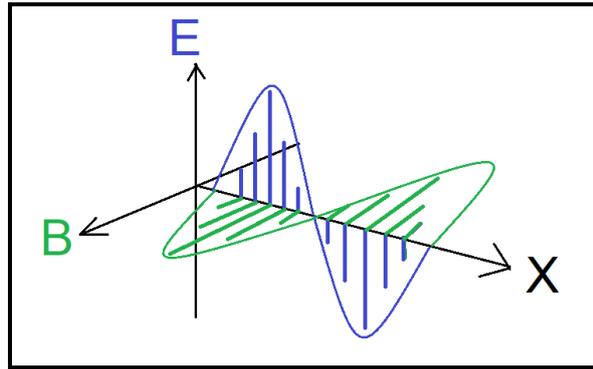


Figura 1: A Luz como onda eletromagnética transversal  
Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Halliday, Resnick e Krane (2004), a luz é a região visível do espectro de radiação eletromagnética. [...] “podemos definir a luz visível como sendo a radiação eletromagnética em relação à qual o olho é sensível”. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004, p 4.)

Como espécie, adaptamos os receptores de nossos olhos à radiação mais intensa emitida pelo Sol, que é a fonte extraterrestre mais próxima. A região visível do espectro de radiação vai de aproximadamente 400 nm, do violeta, a 700 nm, do vermelho.

Ainda segundo Halliday, Resnick e Krane (2004), a luz pode ser emitida por um conjunto diluído de átomos (gás) sendo a luz características das propriedades individuais de cada átomo, ou um conjunto mais denso de átomos concentrados como um sólido, onde a luz pode ser associada às propriedades características do objeto como um todo. O estudo da luz emitida por um objeto ou estrela distante, pode nos fornecer informações importantes sobre sua composição química, temperatura e movimento.

Em 1802, Thomaz Young formulou o princípio da interferência e mostrou experimentalmente de forma engenhosa, que a luz se comporta claramente como uma onda. Conseguiu explicar a difração da luz, e foi também o primeiro a introduzir a ideia da luz como onda transversal (1817).

### 3.2 Luz Comum

Segundo Halliday, Resnick e Krane (2004) a luz comum é uma onda transversal não polarizada, isto é, não apresenta um plano preferencial de polarização para oscilar.

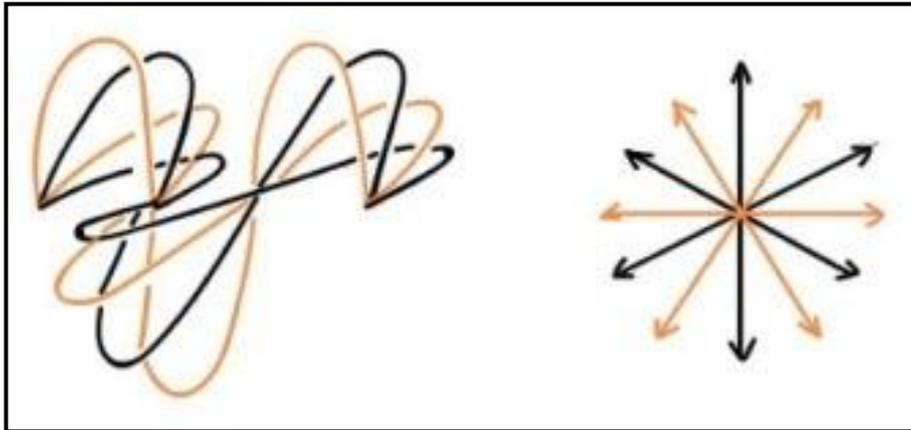


Figura 2: Planos de oscilações da luz comum  
Fonte: o autor

As fontes de ondas eletromagnéticas como o Sol, lâmpada incandescente, também conhecidas como fontes comuns, os radiadores elementares são os seus átomos constituintes. No caso das lâmpadas, os radiadores são os átomos constituintes dos filamentos incandescentes. Por esta razão, a luz emitida por estas fontes consistem em uma superposição de várias ondas de frequências e fases aleatórias. Nelas, estes átomos se comportam de formas independentes, em vez de cooperativamente. Juntas, as emissões destas fontes oscilam em infinitos planos diferentes e desorganizados. Apresentam muitas componentes de polarizações aleatórias distribuídas ao redor da direção de propagação. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

### 3.3 A Polarização Da Luz

A polarização é o processo pelo qual ocorre a seleção de algumas direções de oscilações da onda. (MARTINS; PORTO, 2018) Consiste na seleção de um único plano de oscilação, bem definido. Isto só é possível se a onda for transversal ao eixo de propagação. (GREF, 2002)

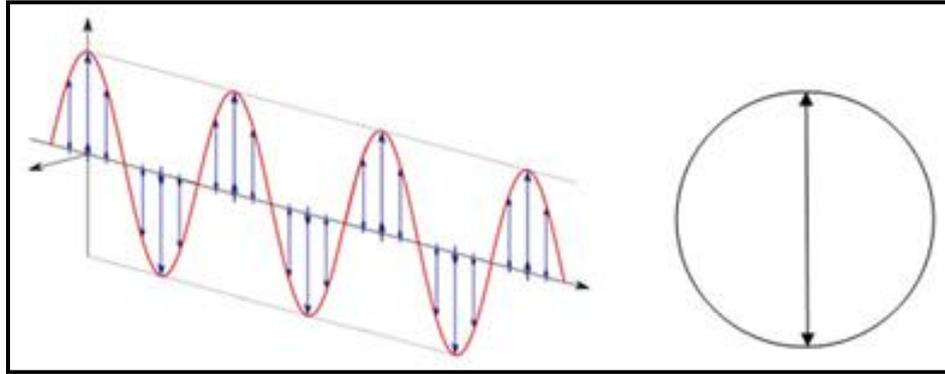


Figura 3: luz polarizada

Fonte : <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/luz-polarizada.htm>

Utilizando os resultados dos experimentos de Young e Fresnell acerca do comportamento ondulatório mencionado por Huygens no passado, Mallus explicou o fenômeno da birrefringência como a polarização de ondas transversais que foram refratadas pelas propriedades anisotrópicas da calcita. O engenheiro francês Augustin Fresnel (1788 – 1827) foi um forte defensor da teoria ondulatória. Conforme o autor citado, explicou os fenômenos da difração baseando-se na teoria ondulatória em uma época em que não era largamente aceita mesmo depois dos experimentos de interferências de dupla fenda de Thomas Young.

A experiência de Thomas Young em 1801 forneceu a primeira prova conclusiva da natureza ondulatória da luz. Matematicamente determinou as posições das interferências máximas e identificou sua dependência ao comprimento das ondas. O experimento de Young permitiu a primeira medição direta do comprimento de onda da luz. Embora não houvesse o Laser na época de Young, mesmo hoje, quando realizado com um laser o experimento da fenda dupla é conhecido como experimento de Young. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

Em seus trabalhos, Fresnel, no início do século XIX, demonstrou que a difração, a interferência e a polarização poderiam ser explicadas em sua totalidade se a luz fosse interpretada como onda propagante e contínua. (LIMA; SILVA, 2019).

Adentrando o século XIX, Thomas Young trouxe vigor renovado ao programa da teoria ondulatória da luz, com seus experimentos relacionados ao fenômeno que batizou de interferência. Em sua comunicação à Royal Society de 24 de novembro de 1803 [10], apresentou os comprimentos de onda associados à luz visível, entre 400 e 700 nanômetros, o que fornecia não somente evidência do caráter ondulatório da luz, como também da natureza periódica deste movimento (LIMA e SILVA, 2019, p. 2).

Malus elaborou a lei da refração observando que os feixes ao atravessar os cristais adquiriam propriedades distintas da luz que era incidida inicialmente. Pela associação de dois cristais cortados convenientemente, percebeu que ao manter fixo o primeiro e girar o segundo, a luz transmitida aumentava ou diminuía de intensidade conforme o ângulo existente entre os dois. A luz era defasada à medida que o ângulo se aproximava de 90°. (LIMA; SILVA, 2019) Sua interpretação para isso foi que se uma onda linearmente polarizada incidir na direção perpendicular ao plano de polarização do cristal, ela será quase que totalmente absorvida e se a onda for linearmente polarizada em outra direção, a intensidade transmitida é dada pela defasagem provocada pelo ângulo conforme a equação abaixo:

$$I = I^{\circ} \cos^2 \theta$$

Equação 1 - Expressão da lei de Malus

Esta equação ficou conhecida como Lei de Malus, onde  $I$  corresponde à intensidade da luz transmitida.  $I^{\circ}$  é a intensidade da luz que foi incidida inicialmente.  $\theta$  corresponde ao ângulo formado entre o plano de incidência e o plano de transmissão medido em graus.

À medida que, numa projeção ortogonal, o ângulo entre a componente campo elétrico da luz polarizada faz com o segundo cristal, temos que  $I < I^{\circ}$  a intensidade transmitida é menor que a intensidade incidida. A polarização é uma interação entre a luz e certos tipos de matéria no interior dos cristais ou de certos tipos de matérias contidas em algumas substâncias. Tal interação ocorre com a seleção de direções específicas de vibração da onda, no entanto, isto só se torna possível se a onda for transversal ao eixo de propagação. (GREF, 2002).

### 3.4 Polarizadores

Polarizadores são materiais constituídos por estruturas de tal modo a apresentarem diferentes propriedades nas diversas direções e funcionam semelhantes a “filtros ou peneiras” e ao atravessá-los, a luz é impedida de vibrar em todas as direções. Uma onda luminosa ao chegar ao polarizador, tem todas as componentes perpendiculares do campo elétrico absorvido e deixam passar apenas as componentes paralelas ao plano do polarizador, como são mostradas na representação da figura abaixo:

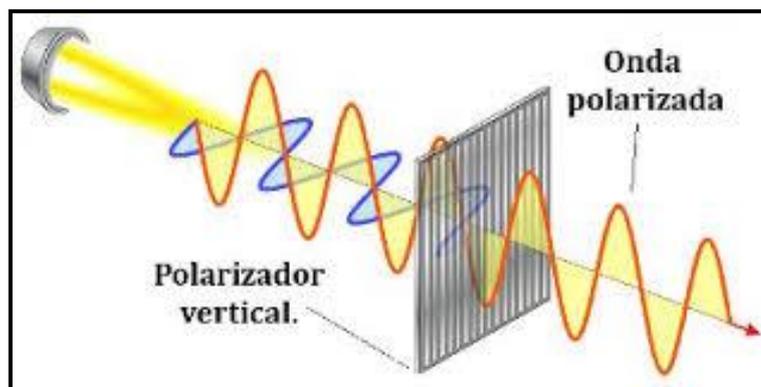


Figura 4: Funcionamento de um polarizador de ondas

Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/luzpolarizada-.jpg>

### 3.5 Tipos De Polarização

Com os estudos baseados na polarização da luz diversos foram os mecanismos encontrados que permitiam a polarização total ou parcial de um feixe de luz. Na sequência, serão apresentados alguns métodos de polarização, no entanto, existem outros como a polarização por espalhamento, e polarização elíptica e polarização circular, que não se aplicam a este estudo, pois não fazem parte da história do desenvolvimento dos polarímetros. Esses tipos de polarização da luz foram importantes para o desenvolvimento de tecnologias novas, entre elas os cinemas 3D, onde há maior liberdade para movimentação do analisador em relação à fonte emissora de luz polarizada. Para os nossos estudos, vamos nos dedicar ao entendimento de apenas três tipos em especial que foram os precursores do desenvolvimento dos primeiros polarímetros e o tipo de material mais adequado para a construção do nosso polarímetro experimental, que é por dupla refração, reflexão e polarização por absorção seletiva.

### 3.5.1 Polarização por dupla refração

A compreensão da polarização por birrefração pode ser mais bem explorada tornando-se clara as definições de alguns conceitos que envolvem dois fenômenos que ocorrem com a matéria, não somente no estado sólido como muitos têm em mente, que são a anisotropia e a isotropia (MENEZES, 2015). Ambas apresentam grande importância à mineralogia na identificação de rochas com minerais cristalinos, pois há o fenômeno da clivagem originando porções paralelas entre si sempre em ângulos e faces semelhantes ao cristal original (LEXICOTECA, 1985), na geoestatística analisando a estrutura e a composição dos solos e rochas de uma região georeferenciada (CAMARGO *et al*, 2001), em astro-física nos estudos da anisotropia cósmica observando a radiação proveniente de galáxias (MENEZES, 2015), nos estudos e desenvolvimento de vidros comuns ou temperados para a indústria (ABRAVIDRO, 2020), no entanto vamos nos deter ao estado sólido da matéria. Estes fenômenos estão associados as suas propriedades específicas e microscópicas. A anisotropia corresponde aos fenômenos em que as propriedades físicas e químicas de um mesmo material se tornam gradativamente diferentes dependendo da direção em que se analisa ou se faça a medida (ABRAVIDRO, 2020). Quando os minerais formam cristais, o comportamento físico da matéria cristalina depende da direção do crescimento dos cristais. Em certas direções podem formar faces, outras o aparecimento de arestas ou vértices e da mesma forma nas redes cristalinas, a formação dos nós dependem da direção em que é observada. (LEXICOTECA, 1985)

A clivagem é uma particularidade bem específica e também uma excelente aliada na identificação de muitos minerais. A simetria dos cristais se manifesta justamente na anisotropia, pois a clivagem se apresenta de acordo com alguns planos de simetria, por exemplo, na calcita a clivagem ocorre em três planos simetricamente em relação ao eixo tríplice do cristal originando um sólido geométrico em formato de romboedro. Quando os valores das propriedades físicas são iguais em todas as direções o cristal é isotrópico para esta propriedade, no entanto nem todas as propriedades são iguais para todos os cristais, no caso da halite há anisotropia na clivagem e para as propriedades ópticas não, pois apresenta o mesmo índice de refração em todas as direções. Na calcita ocorre que há anisotropia tanto na clivagem quanto nas propriedades ópticas, pois o índice de

refração não é o mesmo para diferentes direções (MVGP, 2020), o que acaba ocasionando o fenômeno da Birrefração de um feixe de luz natural ao ser incidido em uma de suas faces, originando dois raios. Este fenômeno foi observado pela primeira vez por Erasmus Bartholinus em 1669, onde descreve em sua publicação a birrefração ou birrefringência ao interpretar a dupla refração produzida por um cristal conhecido por espato-da-Islândia. (MOURA, 2014). Um feixe luminoso incidente na superfície deste cristal sofria uma refração ordinária, respeitando a lei de Snell-Descartes, e uma extraordinária, que não obedecia ao enunciado dessa lei. Posteriormente, o mesmo fenômeno também foi estudado por Christiaan Huygens (1629-1695), para o qual apresentou um estudo detalhado em seu *Tratado sobre a luz*, publicado em 1678 (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

A birrefringência se trata de uma propriedade óptica dos materiais que possuem diferenças em seus índices de refração para cada direção de propagação da luz. Geralmente são propriedades de estruturas cristalinas não cúbicas. Isso se baseia nas diferenças de medidas entre as arestas na estrutura cristalina, causando a anisotropia. Quando tencionamos mecanicamente alguns materiais plásticos geralmente passam a exibir birrefringência e, pelo mesmo motivo, apresentam um lado mais estirado do que o outro e assim é muito comum encontrarmos superfícies birrefrativa em materiais como plásticos, celofane, fitas adesivas.

### **3.5.2 Polarização por reflexão.**

Em 1809 Malus descobriu que a luz poderia ser parcial ou totalmente polarizada por reflexão (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004). A reflexão ocorre quando um raio de luz comum, não polarizada, incide sobre determinada superfície que separa dois meios formando um ângulo qualquer com a reta normal. Após a incidência, o raio é reenviado ao meio de origem sem que sofra alterações em sua velocidade, frequência ou em seu comprimento de ondas. (JÚNIOR, 2020; HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

Para o vidro e outro material dielétrico, existe um ângulo de incidência bem específico, chamado de ângulo de Brewster, ( $\theta_p$ ) em que o coeficiente de reflexão para a componente no mesmo plano de incidência (plano da página) é zero. À componente perpendicular ao plano de incidência (página) (b) é totalmente

polarizada linearmente e possui baixa intensidade luminosa. A componente paralela é inteiramente refratada, enquanto a perpendicular é parcialmente refletida e parcialmente refratada. Sua frequência não se altera, mas, sua velocidade e seu comprimento de ondas sim. Em resumo, o raio refratado possui alta intensidade e parcialmente polarizado e o perpendicular possui baixa intensidade e é totalmente polarizado, considerando-se o no ângulo  $\theta_p$ , conforme figura abaixo:

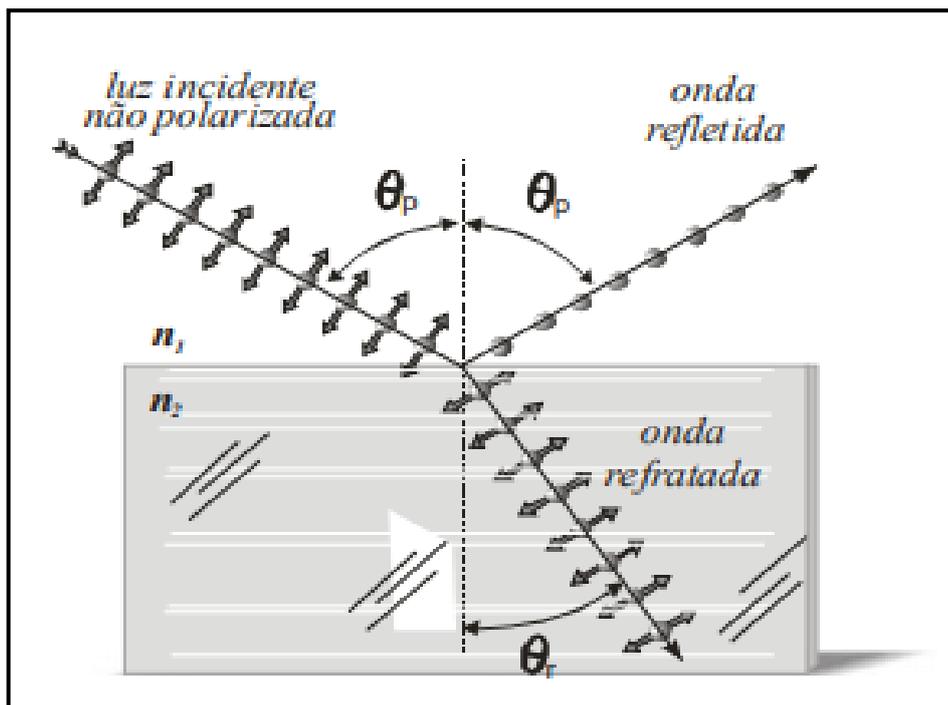


Figura 5: Polarização por reflexão

Fonte: [https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Polarizacao\\_da\\_luz.pdf](https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Polarizacao_da_luz.pdf)

À medida que o raio refratado atravessa novamente o ar e o vidro consecutivamente, formando uma pilha de placas de vidro, seu grau de polarização aumentará gradativamente desde que seu ângulo de incidência seja o de Brewster ( $\theta_p$ ). As componentes perpendiculares são removidas consecutivamente ficando apenas a paralela.

Lentes polarizadoras em óculos barram parcialmente a luz refletida, e também a luz refratada pela atmosfera, que chega aos olhos do usuário parcialmente polarizadas. Desta forma, o efeito é a diminuição do brilho. Este tipo de polarização foi utilizado por Malus ao construir seu polariscópio para os estudos.

### 3.5.3 Polarização por absorção seletiva.

Atualmente, existem muitos tipos de polarizadores no mercado, mas sua classificação é feita de acordo com seus materiais polarizadores. De acordo com Panasys (2018), eles são classificados principalmente nas seguintes categorias:

- I. Filmes polarizador de metal: Os sais metálicos, tais como ouro, prata e ferro, são adsorvidos no filme de polímero e depois reduzidos para fazer com que o filme seja polarizado com metal. Atualmente, apenas alguns refletores podem ser aplicados.
- II. Filme polarizador iodado: As moléculas de iodo são adsorvidas em PVA e depois estendidas para orientá-las, de modo que tenham propriedades ópticas polarizadas. É um dos principais tipos presentes no mercado de películas polarizadoras e sua tecnologia de fabricação está bem desenvolvida. A vantagem é que a transmitância e o grau de polarização são altos, e o grau de polarização do valor teórico é próximo de 100% e a transmitância é de 50%. A desvantagem é que o desempenho de polarização das moléculas de iodo é facilmente danificado pelas intempéries como altas temperaturas e umidades.  
Filme polarizador do sistema de corante: Os corantes orgânicos com duas cores foram adsorvidos em PVA e depois estendidos para orientá-los, de modo que tivessem propriedades de rotação parciais. É também um dos principais tipos de mercado de polarizadores. As vantagens são a resistência às intempéries, frequentemente usada em produtos com alta confiabilidade, mas é difícil obter alto grau de polarização e transmitância, e o preço é maior do que o do polarizador de moléculas de iodo.
- III. Filme polarizador de polietileno: Utilizando ácido como catalisador, o PVA é desidratado, de modo que as moléculas de PVA contenham certa quantidade de estrutura de etileno, e depois estendidas para orientar, de modo que possuam propriedades de rotação parciais. Atualmente, a tecnologia não está muito desenvolvida e é menos aplicada.

O tipo mais comum utilizado é o filme polarizador de PVA iodado que recebe um revestimento nas duas faces com uma película protetora de polímeros, transparente, comercialmente conhecida como “TAC”. Figura abaixo:

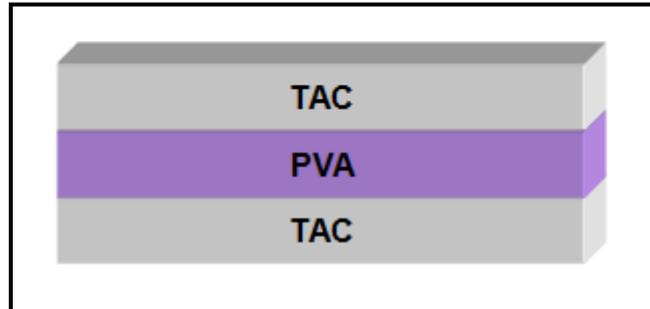


Figura 6: Estrutura da película polarizadora  
Fonte: Panasys, 2020

Considera-se assim a mais utilizada, por causa da facilidade e custo de sua obtenção industrialmente diante da alta demanda comercial para aplicações em equipamentos eletrônicos com visores, displays, telas de TVs e monitores (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004; PANASYS, 2018). É conhecida comercialmente como lâmina polaróide e é o tipo de película utilizada em nossos estudos e experimentos.

A direção de polarização da película é determinada durante o processo de sua fabricação, inserindo certas moléculas orgânicas, no caso PVA, de cadeia longa em uma lâmina de plástico flexível e em seguida esticando-se a lâmina de modo que as moléculas fiquem alinhadas paralelamente.

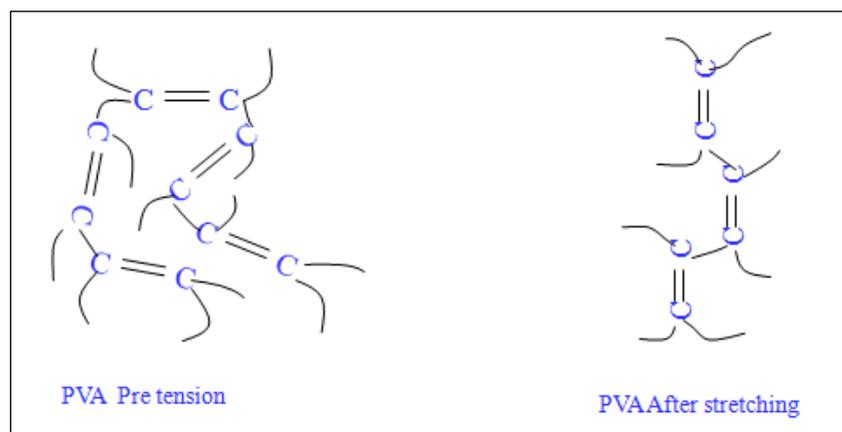


Figura 7: Tensionamento das moléculas polarizadoras  
Fonte: <http://pt.panasyslcd.com/Content/upload/2018191888/201806291423598905524.png>

Nela, a luz não polarizada é incidida e a radiação com seu vetor  $\vec{E}$  paralela às moléculas longas são fortemente absorvidos, enquanto a radiação com vetor  $\vec{E}$  perpendicular a elas atravessa a lâmina já sendo um feixe polarizado.

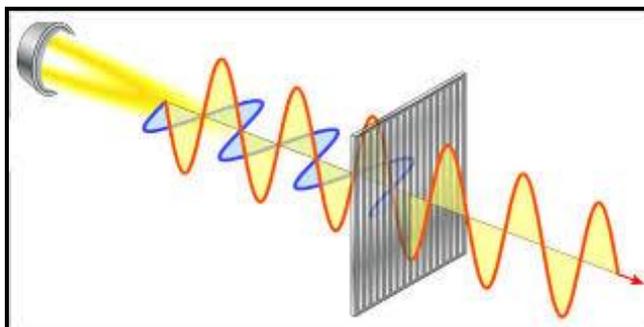


Figura 8: Seleção Do Plano De Oscilação

Fonte: <https://static.manualdaquimica.com/conteudo/images/um-isomero-opticamente-ativo-capaz-polarizar-luz-5ad5070722690.jpg>

### 3.6 Atividade Óptica

É a maneira pela qual os componentes de um cristal ou as moléculas de uma solução interagem com a luz plano-polarizada, podendo provocar o desvio do plano original de oscilação da radiação incidida para ângulos á esquerda, á direita, sendo opticamente ativas, ou não desviar sendo simplesmente opticamente inativo.

### 3.7 Polarimetria

A polarimetria é uma técnica que se baseia no estudo da medição e dimensionamento dos fenômenos que envolvem a rotação da radiação eletromagnética polarizada provocada ao passar por uma amostra (RIBEIRO, 2012). Seus primeiros estudos iniciaram no início do século XIX com a descoberta da polarização da luz por Etienne Malus, em 1808, quando observou em seus experimentos o fenômeno da polarização da luz ao atravessar um cristal de espato da Islândia, um mineral de carbonato de cálcio conhecido como calcita (RIBEIRO, 2012; LIMA; SILVA, 2019).

A polarimetria é realizada através do uso de um equipamento chamado polarímetro.

### 3.8 Polarímetro

O polarímetro é um instrumento utilizado para investigar a atividade óptica e medir o ângulo de rotação produzido pelo desvio da luz polarizada quando atravessa uma amostra sólida, para análise de cristais, ou para soluções líquidas de substâncias opticamente ativas. O uso de luz polarizada para estudar as propriedades das substâncias opticamente ativas e enantiômeros iniciou-se com Jean Baptiste Biot e Louis Pasteur por volta de 1812 (BAGATIN *et al.*, 2005). Para realizar seus estudos Biot desenvolveu um equipamento que o chamou de polarímetro.



Figura 9: Polarímetro De Biot

Fonte: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a07.pdf>, p. 35

Segundo Bagatin *et al.* (2005) e Fauth e Batista (2018), este equipamento inicialmente era constituído por uma fonte de luz comum que passava por um prisma de calcita onde era polarizada (polarizador). Um orifício direcionava o feixe luminoso para atravessar a câmara da amostra. O feixe era então recolhido por um segundo prisma de calcita onde era analisado (analisador) determinando-se, com o auxílio de um transferidor, o ângulo do desvio do plano de polarização da luz emitida após passar pela amostra conforme a figura abaixo:

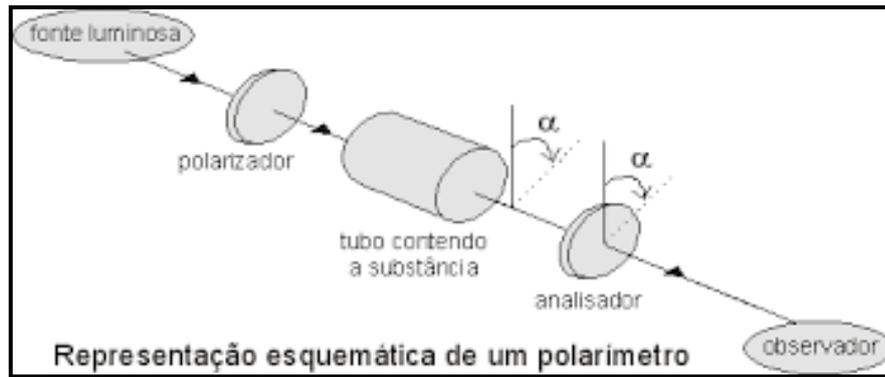


Figura 10: Esquema De Um Polarímetro

Fonte: <https://encrypted->

tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSrF9YLM8QE\_jbVrk0aZnciJB3CyND4XLg7hg&usqp=CAU

Posteriormente a sua invenção foi recebendo aperfeiçoamentos como o realizado por Ventzke em 1842, que adaptou um prisma de Nicol ao mesmo, separando o feixe de luz em dois componentes com polarizações perpendiculares entre si, aproveitando somente um dos feixes de luz (BAGATIN *et al.*, 2005).

O prisma foi desenvolvido pelo físico escocês William Nicol (1768-1851) em 1828. Consiste num dispositivo para a obtenção de luz polarizada plana. O funcionamento do prisma se baseia na propriedade da dupla refração sofrida por um feixe de luz natural quando atravessa o cristal de calcita. São originados dois raios polarizados perpendicularmente entre si. Um chamado de ordinário e em fase com o raio original e outro chamado extraordinário, e fora de fase com o original. Para eliminar um dos raios foi desenvolvido um prisma cortado em dois com muita precisão com ângulo de  $68^\circ$ . Estes foram colados entre si com uma resina chamada de bálsamo-do-canadá transparente. O raio ordinário atinge a resina e é refletido, pois é mais refringente que o cristal. Somente o raio extraordinário atravessa o prisma gerando um feixe de luz polarizado. (UNESP, 2015)

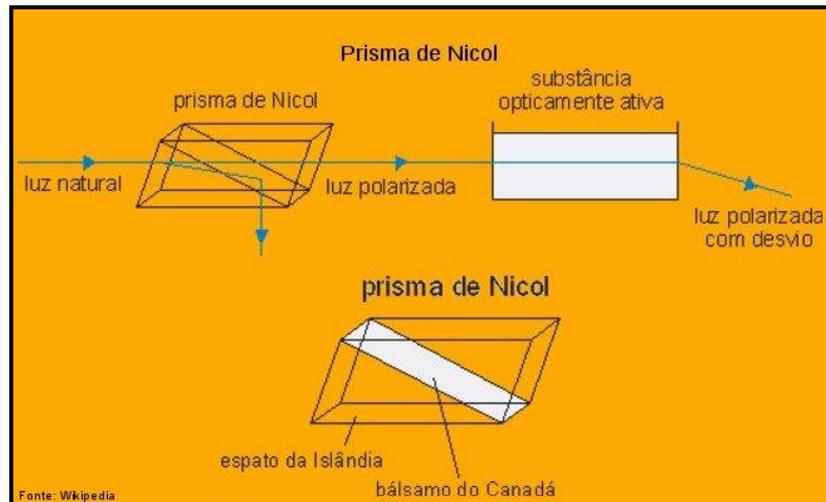


Figura 11: Prisma De Nicol Como Polarizador

Fonte: [http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/uploads/4/831prisma\\_de\\_nicol.jpg](http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/uploads/4/831prisma_de_nicol.jpg)

Outro aperfeiçoamento foi dado por Mitscherlich, que introduziu o uso de luz monocromática. Utilizou lâmpadas de sódio, que apresenta comprimento de onda na chamada linha “D” cujo comprimento de onda era da faixa de 580nm

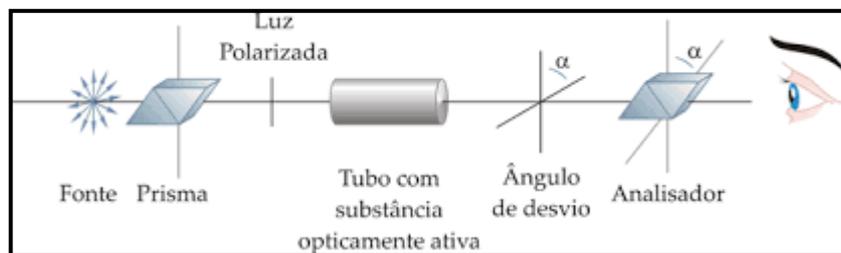


Figura 12: Esquema Do Polarímetro Aperfeiçoado Por Mitscherlich

Fonte: <https://www.profpc.com.br/2002-41-133-23-i005a.gif>

Segundo Bagatin *et al.* (2005), o desenvolvimento técnico dos polarímetros foi observado ao mesmo tempo tanto na França quanto na Alemanha. O equipamento mostrou ser eficiente na análise de açúcares. Em 1860 o governo da Prússia resolveu taxar e controlar a qualidade do açúcar refinado. A adoção da taxaço foi aprovada e se estendeu rapidamente a outros países aumentando a importância estratégica da boa qualidade das análises.

Biot construiu o primeiro polarímetro destinado exclusivamente às análises de açúcares e este recebeu o nome de sacarímetro. O equipamento trata-se de um polarímetro comum com uma escala com a conversão indicando valores percentuais em massa de sacarose.

Após aperfeiçoamentos os polarímetros comerciais passaram a ser constituído basicamente por uma fonte de radiação monocromática, um prisma Nicol que atua como polarizador da radiação utilizada, um tubo para acondicionamento da solução com a amostra, um prisma de Nicol como analisador e um detector que pode ser o olho do analista ou um sensor fotoelétrico.

### 3.9 A lei de Biot e a rotação específica

Segundo Bagatin *et al.* (2005) é importante salientar que o ângulo de rotação provocado pela solução depende de vários fatores sendo que os principais são:

- I- Poder rotatório óptico, que é uma propriedade específica e inerente a cada substância quiral. Esta é uma função de seus grupamentos atômicos e do arranjo espacial destes na molécula.
- II- A temperatura da amostra.
- III- A concentração das substâncias usadas tem relação direta e possui papel importante.
- IV- Espessura da amostra percorrida pela luz, ou seja, o caminho óptico.
- V- Também tem grande influência o comprimento de onda (cor) da luz utilizada.

Biot foi o responsável por uma das primeiras e mais importante das aplicações para o seu invento. Após observar que a atividade óptica de cada substância possui valores específicos e bem particulares não demorou muito para elaborar os parâmetros da notória nova metodologia de análise de açúcares. A aplicação mais comum da polarimetria é na determinação da concentração de substâncias opticamente ativas presentes em uma solução. Por meio da lei de Biot, é possível realizar os cálculos desde que sejam conhecidos a substância presente na solução e o desvio óptico específico. Cada substância possui um desvio óptico, pois, esta é uma propriedade específica da matéria assim como o ponto de ebulição e fusão, densidade etc.

O desvio angular do plano da luz polarizada ao atravessar uma solução depende do número de moléculas opticamente ativas (quirais) que a luz encontra em sua trajetória, ou seja, sua concentração. Este ângulo também é proporcional ao caminho óptico, ou seja, o espaço percorrido pela luz na cubeta de análise do

polarímetro. Com o objetivo de obter os desvios angular específico, Biot elaborou a seguinte equação:

$$[\alpha_D^{20}] = \frac{\alpha}{LC}$$

Equação 2 - Rotação específica padrão

$[\alpha_D^{20}]$  = é a rotação específica padrão da substância opticamente ativa na temperatura de 20° C, expressa em graus angulares no comprimento de onda correspondente à linha D do espectro de emissão do sódio, 589nm.

$\alpha$  = desvio angular observado no polarímetro.

L= comprimento da cubeta em dm.

C= concentração da solução em g/dm<sup>3</sup>

### 3.9.1 Exemplo aplicação da Lei de Biot

Exemplo 1. Uma amostra de xarope de sacarose foi levada para o laboratório com o objetivo de calcular sua concentração em g/L. Durante a análise no polarímetro a leitura observada foi de +10,1° de desvio óptico (para a direita). Sabendo-se que a cubeta de análise possui caminho óptico correspondente a 1 dm, calcule a concentração da amostra.

Dados:  $[\alpha_D^{20}] = +66,5^\circ$ .

$$[\alpha_D^{20}] = \frac{\alpha}{LC}; \quad = +66,5^\circ = \frac{10,1^\circ}{1dm \cdot C}; \quad C = \frac{10,1^\circ}{66,5^\circ \times 1dm} = 0,152 \text{ g/mL portanto } 152 \text{ g/L}$$

## 4.0 PRODUTO

### 4.1 Descrição do polarímetro experimental

O polarímetro desenvolvido neste estudo é constituído de equipamentos de fácil aquisição no comércio local. Sua base é constituída por placas que podem ser construídas desde simples placas de papelão grosso, passando por materiais plásticos, isopor, MDF até madeira reaproveitada. Também é uma ótima oportunidade para propor projetos utilizando impressão 3D quando a escola possui acesso a estes equipamentos por meio de FAB-LAB ou por equipamento próprio. No caso dos protótipos foram utilizados compensados comuns de madeira. Obs.: Os detalhes das medidas se encontram no manual de construção do polarímetro na Unidade II do documento digital elaborado como produto, em anexo.

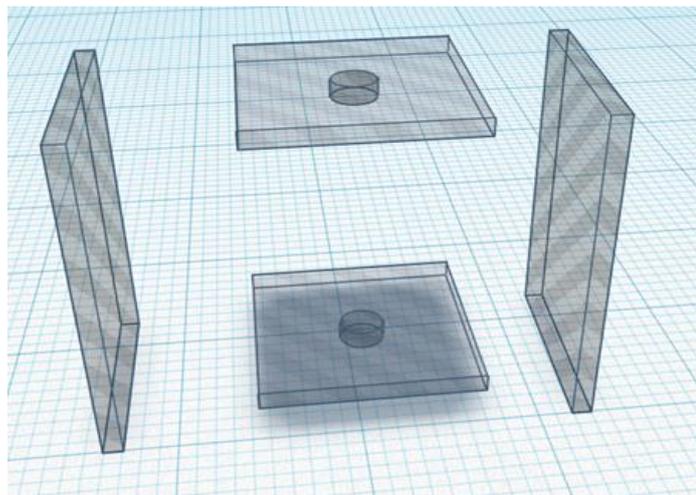


Figura 13: Plano de corte do compensado  
Fonte: Elaborado pelo autor

A câmara de análise é confeccionada com tubos de PVC opacos soldáveis utilizados em encanamentos de água potável.

O polarizador é constituído por uma película polaroide, utilizada em equipamentos para fotografia, colada ao tubo de PVC com cola rápida e recortada com tesoura, figura 14.



Figura 14: Instalação Da Película Polarizadora  
Fonte: Elaborada pelo autor

Pode ser adquirida pelos sites de vendas pela internet como Mercado Livre, Ebay, Aliexpress etc.

Em último caso, a película pode ser obtida removendo com auxílio de um secador de cabelos, da tela de equipamentos descartados como, por exemplo, tela de celulares, monitores LCD etc.



Figura 15: Câmara De Análise  
Fonte: Elaborada pelo autor

A luz comum é obtida por meio de um LED amarelo que apresenta emissão numa faixa bem estreita de comprimento de onda compreendida em 560 a 590 nm, como foi padronizado por Mitscherlich, mas poderia ser utilizado de qualquer cor para experimentos e verificações. Na figura 16 é apresentado o diagrama eletrônico de ligação do LED utilizando-se duas pilhas AA de 1,5V, um interruptor e um resistor de 1K $\Omega$  de proteção contra sobrecarga para o LED.

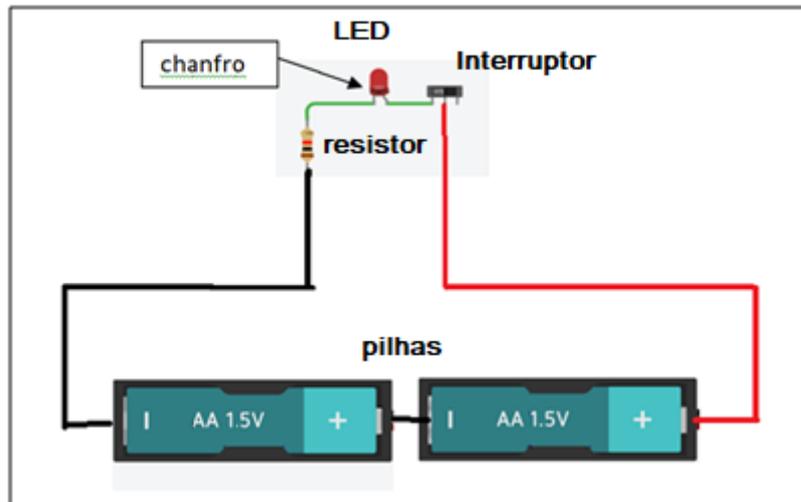


Figura 16: Diagrama eletrônico de ligação do LED  
Fonte: Elaborado pelo autor

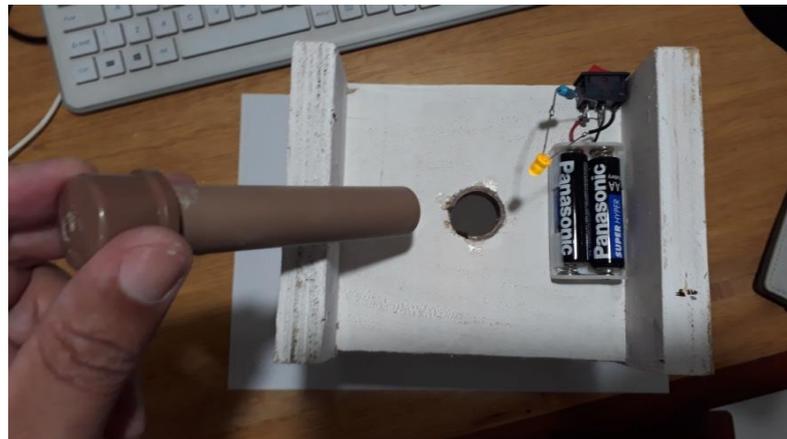


Figura 17: Instalação da câmara de análise na base  
Fonte: Elaborada pelo autor



Figura 18: Instalação e teste da fonte de luz monocromática  
Fonte: Elaborada pelo autor

O analisador é construído com um tubo de PVC colado na abertura central na face inferior de um CD usado. Figura 18.



Figura 19: Vista Inferior Do Analisador  
Fonte: Elaborado pelo autor

Na outra face do CD, tampando completamente a abertura do CD, um recorte circular ou quadrado da película polarizadora. Esta é fixada cuidadosamente com cola de secagem rápida. Sobre a face do CD é colado um transferidor impresso com as escalas angulares para leitura dos desvios ópticos.



Figura 20: Vista Superior Do Analisador  
Fonte: Elaborada pelo autor

Diferentemente dos polarímetros comerciais, a câmara de análise foi projetada para receber tubos de ensaios de vidro comum, de uso geral, de 12 cm ao invés de cubetas sofisticadas de cristais, o que facilita e diminui bem os custos.

A calibragem é feita pelo giro da câmara de análise até obter o menor brilho ou apagamento total da luz. Figura 21- a.

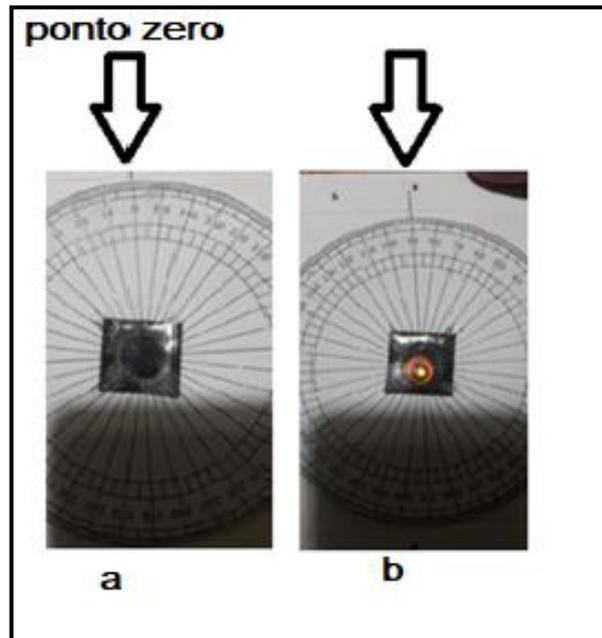


Figura 21: Calibragem para  $0^\circ$  e  $90^\circ$   
Fonte: O Autor

Isto indica que o ângulo entre os planos de polarização da película polarizadora e a analisadora é de ( $90^\circ$ ). Neste momento é feita uma marcação no ponto correspondendo a  $0^\circ$

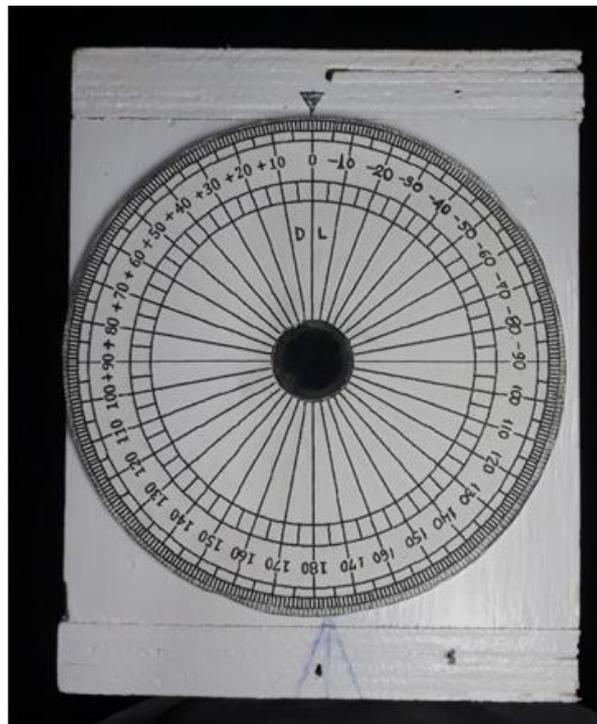


Figura 22: Polarímetro calibrado  
Fonte: Elaborado pelo autor

Depois de montados e calibrados é só fixar com cola e realizar as análises das soluções.

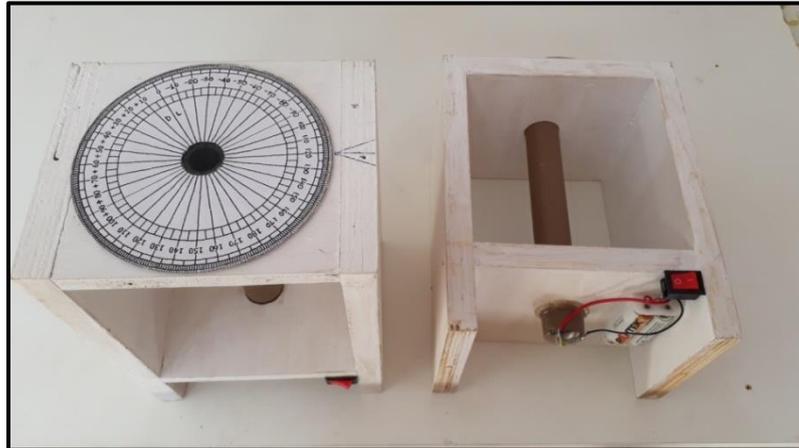


Figura 23: Vista superior e lateral do polarímetro  
Fonte: Elaborado pelo autor



Figura 24: Polarímetro pronto para uso  
Fonte: Elaborado pelo autor

## 5. A EXPERIMENTAÇÃO EM SALA DE AULA

O tipo de experimentação proposto para a investigação neste trabalho consiste na produção de equipamentos e materiais didáticos construídos como alternativa aos de laboratórios que prioriza o uso de materiais de baixo custo e fácil aquisição no mercado local ou pelos sites de compras na internet.

Também é marcado pela simplicidade na construção podendo envolver estudantes e professores em atividades multidisciplinares desenvolvendo não só habilidades manuais, como também habilidades cognitivas.

Para Souza (2011), não é possível estabelecer um marco temporal de quando teve início o uso de experimentações em sala de aula com estas características no ensino de Química ou de Ciências. Possivelmente esta prática se remeta aos moldes primitivos que originaram a escola, onde um tutor tenha reproduzido um fenômeno para demonstrar ao seu aprendiz (SOUZA, 2011) tentando tornar mais significativo o aprendizado. Para usar como referencia ilustrativa, Souza (2011) sugere um levantamento dos experimentos publicados na seção “Experimentação No Ensino De Química” em edições da Revista Química Nova na Escola (QNEsc). A QNesc é uma publicação da Divisão de Ensino da Sociedade Brasileira de Química, cuja edição número 1 foi publicada em maio de 1995, e a última, o volume 43, número 1, foi publicada em fevereiro de 2021. Segundo a revista, a seção destina-se à:

[...] divulgação de experimentos que contribuam para o tratamento de conceitos químicos no Ensino Médio e Fundamental e que utilizem materiais de fácil aquisição, permitindo sua realização em qualquer das diversas condições das escolas brasileiras (SBQ, 2010).

Admitindo-se os mesmos pressupostos que Souza (2011), Silva e Zanon (2000) o simples fato de ter aulas experimentais não assegura, por si só, que haja a promoção da aprendizagem significativa. Também não assegura que o estudante estabeleça as relações adequadas entre a teoria e a prática.

Destaco aqui o uso do polarímetro experimental não como um fim, mas como um meio potencialmente significativo que pode contribuir para a promoção da aprendizagem significativa. A interação com os conhecimentos prévios e os

conceitos ancorados (subsunçores) modificando-os contribuindo assim na construção do conhecimento científico. As autoras Silva e Zanon (2000) destacam que atualmente existe uma prevalência equivocada de uma visão simplista que atribui um peso muito forte à experimentação. Tal visão transforma em proposição automática de que: se há experimentação há aprendizagem significativa e aquisição de conhecimento científico por parte dos estudantes. De acordo com Souza (2011),

Na verdade, inserir a ESA, juntamente com os termos próprios da Química e outras singularidades, permite a apropriação do conceito referente à experimentação e suas bases epistemológicas, como o construtivismo e o sócio-interacionismo, conferindo-lhe significado e familiaridade. (SOUZA, 2011, p. 48)

De acordo com o autor, “[...] a experimentação é realizada também como um elemento motivador dos estudantes” (SOUZA, 2011, p. 50). A motivação pode ser o primeiro passo para impulsionar a aprendizagem de conteúdos para níveis mais significativos. (SOUZA, 2011).

O uso do polarímetro como recurso experimental é apenas uma ferramenta entre um pluralismo metodológico para o ensino significativo de atividade óptica.

Laburú *et. al.* (2003) questionam a atribuição de aprendizagem significativa em práticas pedagógicas que se baseia em apenas um recurso didático: “[...] único estilo didático, que só daria conta das necessidades de um tipo particular de aluno ou alunos e não de outros” (LABURÚ *et al.*, 2003, p. 251).

Então, o conjunto de mecanismos que podem levar ao sucesso de uma metodologia a ser aplicada está relacionado diretamente ao nível de clareza dos objetivos e para onde desejamos levar o estudante. Tudo está intrinsecamente ligado ao planejamento do experimento, a maneira com que este será conduzido, a forma com que será a problematização, como será conduzida a discussão dos resultados obtidos e como todas estas informações vão se conectar aos conhecimentos científicos que sustentam e embasam os fenômenos percebidos.

## 5.1 Tipos de experimentação

A experimentação no ensino de química deve estar sustentada em objetivos bem claros e específicos a serem alcançados. O que irá delimitar o percurso

experimental e a natureza das discussões é o bom planejamento das atividades, no entanto, o professor pesquisador deve ter em mente sempre a categoria do experimento para atender aos parâmetros de seu planejamento. Araújo e Abib (2003) classificaram a abordagem experimental em três categorias: Atividade de investigação, atividades de demonstração e atividades de verificação.

### 5.1.1 Como atividade investigativa

Este tipo de atividade tem chamado atenção nas pesquisas em ensino. Segundo Araújo e Abib (2003), esta categoria de pesquisa permite que os estudantes assumam uma posição mais atuante durante o processo de construção do seu conhecimento. Exige do estudante mais autonomia e requer tomada de decisões sobre o melhor caminho a ser tomado para solucionar problemas. É um processo de reflexão, pois primeiro tem que identificar o problema e depois pensar em métodos para explicar os fenômenos observados. O professor atua apenas como um mediador e facilitador do processo. Desta forma, a experimentação por meio da investigação permite desenvolver a observação, discussão, trabalho em equipe, entre outros atributos.

Este tipo de abordagem experimental exige maior tempo para a sua realização e necessita da presença constante do professor mediando todo o processo inclusive as discussões, idéias, construção de hipóteses. A experimentação como atividade investigativa desafia o estudante e estimula a encontrar uma solução do problema prendendo sua atenção ao envolver mais com a prática. (BORGES, 2002)

Segundo Oliveira (2010), a experimentação deve valorizar o uso de montagens experimentais com o objetivo de se coletar dados e realizar a interpretação dos dados obtidos no decorrer do experimento.

Azevedo (2004) chama atenção em seu trabalho com relação aos aspectos científicos:

[...] a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica. (AZEVEDO, 2004, p. 21)

De acordo com Hofstein e Lunetta (2003), a abordagem investigativa tira o estudante do papel de sujeito passivo, que executa a experiência como se tivesse seguindo uma receita de bolo. Ainda segundo os autores, a idéia principal é relacionar, planejar, discutir entre outros aspectos relevantes, o que não se observa em uma abordagem tradicional, como por exemplo, na atividade de demonstração, embora também de aspectos valorosos quando bem planejada.

Conforme Suart *et al.* (2009):

[...] se uma aula experimental for organizada de forma a colocar o aluno diante de uma situação problema, e estiver direcionada para a sua resolução, poderá contribuir para o aluno raciocinar logicamente sobre a situação e apresentar argumentos na tentativa de analisar os dados e apresentar uma conclusão plausível. Se o estudante tiver a oportunidade de acompanhar e interpretar as etapas da investigação, ele possivelmente será capaz de elaborar hipóteses, testá-las e discuti-las, aprendendo sobre os fenômenos estudados e os conceitos que os explicam, alcançando os objetivos de uma aula experimental, a qual privilegia o desenvolvimento de habilidades cognitivas e o raciocínio lógico. (SUART. *et al.*, 2009, p. 51).

Baseando-se nos aspectos experimentais estudados, é possível concluir que cada tipo de abordagem, seja ela de caráter demonstrativo, de verificação ou de investigação, todas possuem sua potencialidade de contribuição diante do processo de ensino e aprendizagem. Tudo depende de quais os objetivos do experimento dentro do planejamento do professor. Estas observações também estão de acordo com as observações realizadas no trabalho de Oliveira (2010) onde, também reforça a importância de uma atividade bem planejada e com objetivos bem definidos.

### 5.1.2 Como atividade de demonstração

As atividades experimentais de demonstração ocorrem geralmente durante a introdução das aulas expositivas antes de introduzir o conteúdo teórico, no entanto, há casos em que são aplicadas após a introdução teórica.

Neste tipo de atividade quem realiza o experimento de demonstração é o professor e os estudantes observam os fenômenos. Particularmente, os resultados de minhas experiências em sala de aula levam a ser favorável a esta categoria de experimentação. É adequada quando há escassez de reagentes, há riscos para os estudantes, quando não há local específico para a execução e, no entanto, a visualização é importante para a compreensão. É uma alternativa de metodologia

que tem demonstrado bons frutos quando realizada antes de qualquer aplicação teórica, pois, na discussão dos fenômenos observados cria-se um ambiente propício ao aprendizado. Araújo e Abib (2003) destaca que nestas atividades, o professor necessita conduzir e destacar aspectos importantes do experimento questionando e promovendo condições adequadas para a construção do conhecimento dos estudantes.

Segundo Oliveira (2010) algumas estratégias são importantes a serem adotadas quando se trata de atividades de demonstração. A primeira é a orientação previa e detalhada de toda a dinâmica da aula. Questionar o estudante com o objetivo de prever suas expectativas, discutir e questionar os possíveis eventos promovendo possíveis explicações. Orientar durante os experimentos para que observem atentamente e registrem em seus materiais. Ao final questionar novamente as explicações, apresentar e revisar os conceitos científicos sobre o que foi observado.

Segundo Sulzbach (2017), esta estratégia, se não aplicada adequadamente, pode não ser bem vista por alguns pesquisadores.

Esse tipo de atividade de experimental geralmente apresenta um roteiro fechado e, por não envolver a participação direta dos estudantes, sofre crítica de alguns pesquisadores, especialmente quando conduzido de forma a não promover discussão e questionamento entre os estudantes. (SULZBACH, 2017, p.23)

A autora leva em consideração a discussão entre os estudantes para a explicação dos fenômenos observados como ponto fundamental na construção do conhecimento.

É importante salientar, que diante destas discussões, que o planejamento do professor é a ferramenta principal dos aspectos construtivistas desta atividade e que o professor seja fiel a esta metodologia.

### 5.1.3 Como objetivo de verificação

Conforme Araújo e Abib (2003), esta classe de atividade possui seus resultados previsíveis e as explicações para os fenômenos são conhecidas. São propostos com o objetivo de verificar ou confirmar uma lei ou teoria.

Esta modalidade permite interpretar parâmetros envolvidos no comportamento dos fenômenos observados vinculando com os aspectos científicos, realizando generalizações e extrapolando-se para novas situações.

Conforme relata Borges (2002), independente dos novos atributos que a atividade vem recebendo, é importante salientar que esta modalidade tem seu valor pautado em atividades onde os estudantes necessitam se habilitar em atividades rotineiras, procedimentos específicos, manuseio de equipamentos ou habituar-se em seguir sequências de operações. Contudo, ainda tem sua aplicação largamente presente no processo de ensino aprendizagem, pois, também facilita na supervisão e avaliação dos resultados finais, e ainda, permitindo realizar mais facilmente correções durante a execução e obter mais êxito na atividade.

Professores que utilizam este tipo de atividade relatam seu potencial de motivacional, pois tem grande articulação teoria-prática de uma maneira bem realística não se limitando as leituras de seus livros didáticos (OLIVEIRA, 2010).

Oliveira (2010) pontua a importância do planejamento destas atividades prevendo relatos descritos com explicações científicas que corroboram com o que foi observado. Tais relatos devem sempre estar articulando a teoria com a prática, proporcionando momentos de comparações e discussões entre os resultados dos demais estudantes de cada grupo.

## **6 METODOLOGIA**

### **6.1 Percursos Metodológicos**

Inicialmente foi realizado o levantamento bibliográfico sobre o tema. Os polarímetros foram desenvolvidos, montados, calibrados e testados. Na sequência passaram por atualizações na estrutura física das bases. Foram realizados testes piloto com várias soluções de diversos solventes até que se chegou às soluções aquosas de sacarose e frutose como melhor alternativa aos experimentos com os estudantes em casa.

### **6.2 A aplicação**

A proposta de aplicação do teste do polarímetro foi submetida ao comitê de ética da UFMS e foi aprovada sob parecer nº 4.164.588.

#### **6.2.1 Roteiro de aplicação da sequência didática:**

I. Realização do roteiro experimental utilizando o polarímetro experimental do kit. (apêndice 01).

II. Aplicação do questionário de pré-teste. (apêndice 02).

III. Intervenção didática.

IV. Aplicação do questionário de pós-teste. (apêndice 03).

### **6.3 A escolha do público**

A amostragem é composta pela escolha aleatória de 20 estudantes de ambos os sexos em idade escolar referente ao ensino médio de escolas públicas e privadas da cidade de Campo Grande – MS, que aceitaram participar de todas as etapas da aplicação da investigação. Aqueles que deixaram de cumprir parte dos procedimentos ou desistiram da participação foram excluídos das análises de resultados conforme previsto inicialmente no TALE e TCLE, aprovados pelo comitê de ética.

Os estudantes participantes da investigação foram orientados previamente sobre todos os aspectos da aplicação da pesquisa. Receberam em suas casas, nos dias previamente agendados, os kits experimentais contendo todo material e os documentos: TALE, TCLE e o Roteiro com diário de bordo.

#### 6.4 Os experimentos

O objetivo desta etapa experimental foi realizar a leitura da atividade óptica de seis amostras preparadas com substâncias comestíveis presentes no cotidiano dos estudantes, sacarose e frutose. As leituras foram obtidas por meio de um polarímetro de baixo custo desenvolvido especificamente para esta atividade. Os dados dos ângulos observados referentes às atividades ópticas de cada amostra foram anotados na tabela de leituras presentes no caderno de bordo, anexo 01.

Os experimentos foram conduzidos a distância. Foram divididos em cinco grupos conforme a tabela 1.

Tabela: 1 Distribuição dos kits experimentais

<b>Grupo</b>	<b>Recebimento</b>	<b>Entrega</b>
1	Segunda-feira	Quarta-feira
2	Quinta-feira	Sábado
3	Segunda-feira	Quarta-feira
4	Quinta-feira	Sábado
5	Segunda-feira	Quarta-feira

Fonte: Elaborada pelo autor

Cada grupo correspondia a quatro estudantes, sendo que cada um recebeu seu kit individual de experimentação em suas casas. No total foram vinte participantes recebendo em suas residências um kit de experimentação e devolvendo ao pesquisador em dois dias.

Para facilitar na hora da experimentação, os estudantes participantes além de serem devidamente orientados no momento da entrega, também, receberam um link enviado por What's up® para um vídeo de orientações. O roteiro também foi auto-explicativo contendo orientações claras e bem detalhadas sobre as tarefas a serem realizadas.

## 6.5 A intervenção

A aula proposta como intervenção didática, teve como objetivo complementar os aspectos abordados nos experimentos, dando o devido aprofundamento teórico necessário para as explicações e o entendimento dos fenômenos.

Foram discutidas situações cotidianas envolvendo a polarização e a seleção do plano de oscilação da luz, de forma contextualizada para que desse a oportunidade de interação e reflexão sobre o tema buscando compreender sua importância para a sociedade.

Questionamentos foram delineando a introdução aos aspectos históricos que levaram os pesquisadores a aceitar a luz como uma onda transversal até chegar à invenção do polarímetro de Biot. A partir deste momento iniciaram-se os estudos da atividade óptica em soluções realizados por Pasteur. Em seus trabalhos, Lois Pasteur dá início ao conjunto de trabalhos que levaram à elucidação e consolidação da existência da isomeria óptica.

Novamente foram utilizados os aspectos cotidianos, já conhecidos, como organizadores prévios na intenção de promover condições para que houvesse a construção dos conhecimentos que se relacionam diretamente com a isomeria óptica.

Em virtude do momento de restrição e distanciamento social obrigatório pela pandemia causada pelo COVID19, esta intervenção foi realizada por meio de uma aula gravada contendo narrações de áudio e vídeo disponibilizadas por meio de link via What's up® no youtube® para os participantes.

## 6.6 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio da análise das respostas utilizando-se três instrumentos:

- I. Roteiro de aula experimental presente no caderno de bordo, anexo 01.
- II. O questionário inicial QX-PRE, anexo 02.
- III. O questionário inicial QX-POS, anexo 03.

O roteiro de aula experimental foi elaborado como parte integrante do caderno de bordo. Neste instrumento os estudantes registraram os resultados experimentais

e anotaram suas observações. Foi incorporado um questionário discursivo orientando o estudante a relatar melhor sua experiência com o método.

Ambos os questionários foram aplicados na modalidade à distância, através da plataforma Google forms®. O questionário inicial, QX-PRE, foi respondido logo após a realização do experimento, antes da intervenção didática teórica. Foi enviado por link via What's up®.

O questionário final, QX-POS, foi realizado após a intervenção didática envolvendo aspectos teóricos abordando temas cotidianos e contextualizados à realidade dos estudantes. Também foi aplicado à distância por link via What's up®. Esta modalidade foi eleita em virtude do momento de restrição em que vivemos por conta da pandemia causada pelo COVID-19.

Também foi assegurado o anonimato das respostas. Os estudantes foram informados que não haveria identificação dos participantes ao responder os questionários Qx-PRE e Qx-POS garantindo assim a isenção e confiabilidade das respostas. O único instrumento que poderia haver identificação do estudante era o roteiro de aula prática contendo o caderno de bordo. Este instrumento tem caráter confidencial e teve seu conteúdo revelado exclusivamente ao pesquisador e seus orientadores.

## **6.7 Tratamento de dados**

O trabalho consiste em uma pesquisa experimental, de caráter predominantemente quantitativo, utilizando-se, como instrumento de coleta de dados, questionários estruturados. Possui como abordagem estatística a amostragem probabilística, do tipo casual simples, onde toda a população do conjunto universo escolhido pode ser contemplada e tem a mesma probabilidade de pertencer à amostra.

O universo da pesquisa corresponde a indivíduos de ambos os sexos, estudantes do terceiro ano do ensino médio, de escolas públicas e privadas. A amostra corresponde a 20 estudantes selecionados aleatoriamente de forma não arbitrária.

## **6.8 Os questionários**

O questionário inicial buscou identificar os conhecimentos prévios dos estudantes participantes relativo ao uso do polarímetro e ao conteúdo de atividade óptica e isomeria óptica. O questionário final teve o objetivo de evidenciar se houve promoção do aprendizado por meio da intervenção e evolução dos conceitos pré-existentes, detectados no questionário inicial. Cada questionário era composto por treze questões sendo que tanto o inicial quanto o final foram constituídos pelas mesmas questões.

## **6.9 O caderno de bordo**

O caderno de bordo era constituído pelo roteiro experimental, os quadros de anotações e uma questão discursiva, anexo 01. Este teve o objetivo de orientar o experimento e registrar dados de leitura dos desvios ópticos das soluções investigadas durante os procedimentos. O preenchimento das tabelas, e a sequência de operações tiveram a finalidade de revelar informações importantes sobre a usabilidade do equipamento proposto como produto e da adequação do roteiro às atividades propostas. No final do roteiro houve uma questão discursiva investigando aspectos sobre a realização da experimentação. A análise de conteúdo das respostas pode revelar aspectos de interatividade, aprendizagem, quebra de paradigmas entre outros.

## **6.10 Considerações importantes.**

A proposta inicial de aplicação do projeto aprovada pelo CEPE relatava a condução das atividades com estudantes de terceiro ano do Ensino Médio nas dependências da Escola Estadual José Barbosa Rodrigues, situada à Rua Elesbão Murtinho, 856, Bairro: Jardim Universitário, no município de Campo Grande – MS, durante o turno de aula dos estudantes. Com a evolução da pandemia em virtude do COVID-19, várias medidas de biossegurança foram tomadas nas esferas federais, estaduais e municipais atendendo a solicitação da Organização Mundial da Saúde. Na esfera estadual houve um conjunto de medidas desde o toque de recolher à

suspensão das atividades presenciais em vários setores, inclusive nas escolas. Sendo assim tornou-se necessário reavaliar a forma de gerenciamento da aplicação da sequência didática e coleta de dados, mas para não perder o foco da pesquisa e manter as características iniciais da investigação foi necessário adotar um novo método de abordagem didática envolvendo o ensino híbrido. “O ensino híbrido é a modalidade de ensino que combina práticas presenciais e remotas, por meio do uso de ferramentas digitais”. (SAS, 2021).

Para garantir a fidelidade da amostragem probabilística, a abordagem dos estudantes foi completamente aleatória por meio de grupos de alunos de diferentes escolas com o auxílio dos professores de Química que fizeram o convite por grupos de What's up® em suas respectivas escolas.

Na sequência, foi realizado o contato com os estudantes participantes para orientações e esclarecimentos diversos sobre a condução da atividade no formato remoto.

### **6.11 Preparação dos kits (roteiro produto)**

Primeiramente foram testadas de forma piloto várias soluções, entre elas, soluções de ibuprofeno, sacarose, e xarope de glicose, mel de abelha, mel de milho. No entanto, só foi obtido êxito na realização dos testes de atividade óptica com soluções aquosas de sacarose e frutose. A escolha destas duas soluções foi em função do baixo custo, facilidade de obtenção em supermercados com boa pureza e, acima de tudo, boa solubilidade em água. Vale a pena salientar, que são substâncias completamente seguras, são açúcares comestíveis e não oferecem riscos em nenhum nível da aplicação dos experimentos.

As soluções foram preparadas utilizando como instrumento de pesagem balanças comuns de 0,001g de precisão, obtidas no comércio de importados. Também foi estudada a possibilidade de trabalhar com sachês de 5g e, como peso já vem definido, a balança não seria necessária.

Todas as soluções foram preparadas em balões volumétricos de 250 ml com água destilada, mas testes com água potável foram realizados e obteve-se resultados satisfatórios para uso imediato, pois, com o decorrer do tempo, observou-se o aparecimento de fungos e algas.

Com o objetivo de evitar fermentação, as soluções foram estocadas na geladeira até o momento do fracionamento.

Foram preparadas quatro soluções:

- I- Solução de sacarose de concentração 310g/L
- II- Solução de sacarose 160g/L
- III- Solução de frutose 150g/L
- IV- Solução de frutose 300g/L

Os valores das concentrações foram eleitos em função da percepção da atividade óptica (maior ângulo de desvio) e levando em consideração as vidrarias disponíveis para as medidas, simulando assim as condições reais de uma sala de aula em escolas que não possuem muitos recursos materiais disponíveis.

## **6.12 A entrega dos kits**

O agendamento foi de extrema importância para a logística e organização do ritmo das investigações, pois, só dispunha de quatro kits ativos. A logística foi bem trabalhosa e em apenas uma tarde ia até a residência de cada um dos estudantes, deixava a caixa contendo todos os documentos, o caderno de bordo da investigação, e o material para experimentação. Todos os cuidados de biossegurança foram tomados, uma vez que a pandemia se encontrava em uma fase crítica.

Monitorado à distância, o estudante realizava a parte experimental com o polarímetro preenchendo o primeiro instrumento de coleta de dados, que é o caderno de bordo. Depois, era enviado um link por e-mail ao estudante, mas a partir daí começaram os problemas de ordem social, muitos estudantes não possuíam e-mail, computadores e acesso à internet à disposição. Sendo assim, os estudantes passaram a utilizar o celular para acessar o link do pré-teste e responder on-line na plataforma Google forms, utilizando o 4G. Na sequência, o estudante acessava, por meio de links, três vídeos curtos com intervenção didática na forma de aula com recursos audiovisuais. Ao fim, um link direcionava o estudante para o questionário de pós-teste. Após o recolhimento os kits foram submetidos à quarentena e desinfecção com etanol 70% e limpeza com água e detergente.

### **6.13 Dificuldades encontradas**

A demora, por parte do estudante, na realização dos experimentos e formação de colônias de leveduras pela fermentação dos açúcares presentes nas amostras foram algumas das dificuldades encontradas na aplicação dos testes. Outro aspecto muito importante foi a época da condução dos testes, pois os experimentos foram realizados próximos ao período do ENEM, dos principais vestibulares do estado e de outras regiões do país. Isto teve reflexo direto no tempo e na aceitação em realizar o experimento da maneira adequada.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As questões foram representadas pela letra “Q”, seguida de um número correspondente à ordem nos questionários e a indicação do tipo de teste.

Exemplo 1:

Q1-PRE: corresponde à questão de número um do pré-teste (anexo - 02).

Exemplo 2:

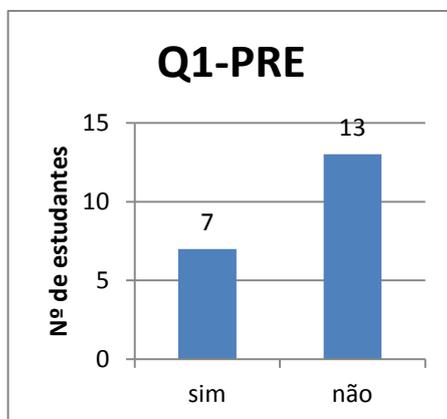
Q5-POS: corresponde à questão de número cinco do pós-teste (anexo - 03).

### 7.1 Resultados das questões obtidas através dos questionários de pré-teste e pós-teste.

**Questão 01: “Você já ouviu falar em polarímetro anteriormente?”**

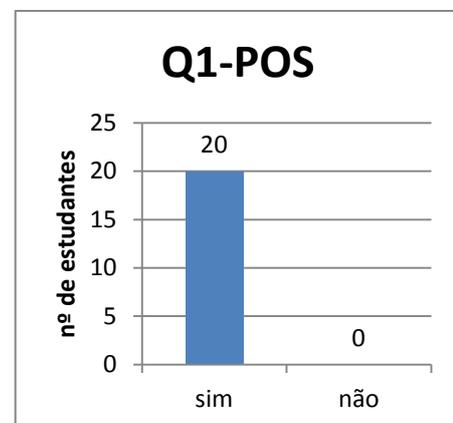
**a.( ) Sim. b.( ) não.”**

Gráfico 1: Respostas da questão 01 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 2: Respostas da questão 01 do questionário final

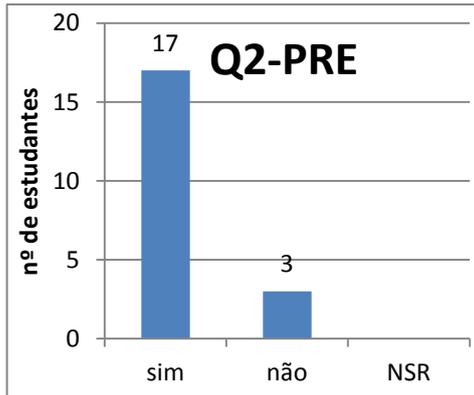


Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta questão sete estudantes marcaram o item “sim”, correspondendo a 35 % no questionário inicial, enquanto no questionário final o item “sim” recebeu 100% das respostas.

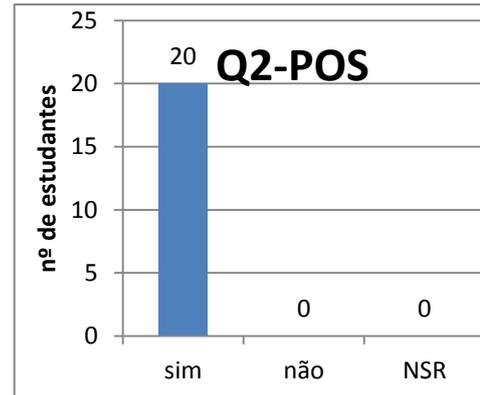
**Questão 02: “Em sua opinião, o uso do polarímetro experimental contribuiu para compreender melhor a atividade óptica, ou seja, o desvio da luz, na isomeria óptica?” a.( ) Sim. b.( ) Não. c.( ) NSR.**

Gráfico 3: Respostas da questão 02 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 4: Respostas da questão 02 do questionário final



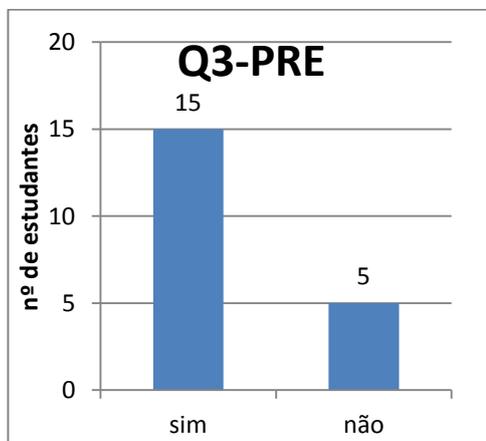
Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta questão dezessete estudantes marcaram o item “sim”, correspondendo a 85 % no questionário inicial, enquanto no questionário final o item “sim” recebeu 100% das respostas.

**Questão 03: “Já ouviu falar em óculos com lentes polarizadas?”**

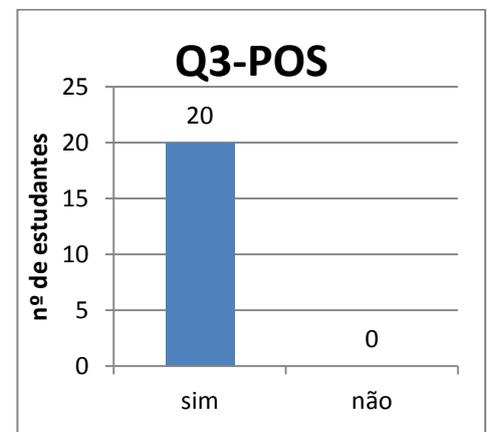
**a.( ) Sim. b.( ) não.”**

Gráfico 5: Respostas da questão 03 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 6: Respostas da questão 03 do questionário final

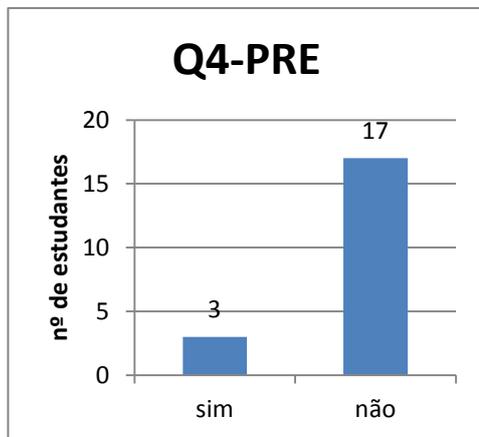


Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta questão quinze estudantes marcaram o item “sim”, correspondendo a 75 % no questionário inicial, enquanto no questionário final o item “sim” recebeu 100% das respostas.

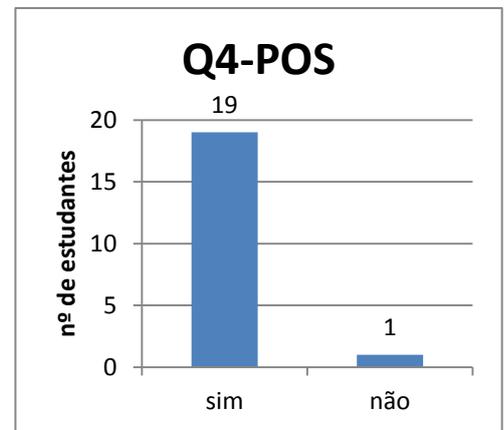
**Questão Q4: “Você sabe para que servem as lentes polarizadas nos óculos? ( ) Sim. ( ) não.”**

Gráfico 7: Respostas da questão 04 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 8: Respostas da questão 04 do questionário final



Fonte: Elaborado pelo autor

Nesta questão apenas três estudantes marcaram o item “sim”, correspondendo a 15 % no questionário inicial, enquanto no questionário final o item “sim” recebeu 95% das respostas.

**Questão Q5: “A luz é classificada como uma onda eletromagnética transversal ao eixo de propagação, eixo “Z”. Das figuras a seguir, uma corresponde à luz natural e outra a luz polarizada. Marque apenas a que você interpreta como luz polarizada.**

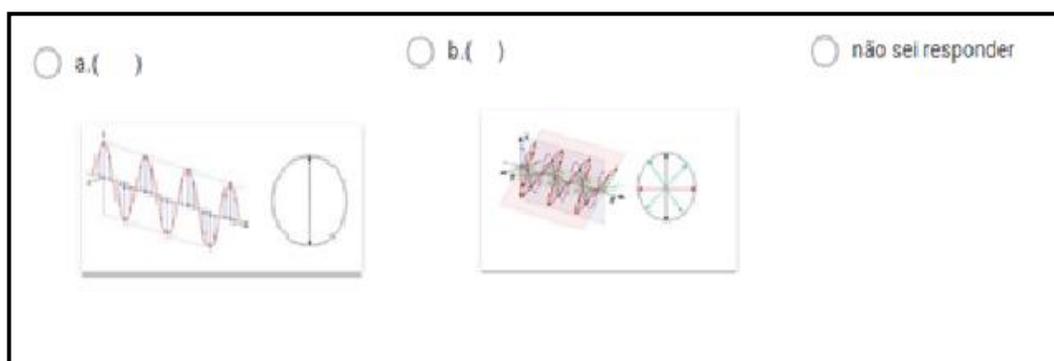
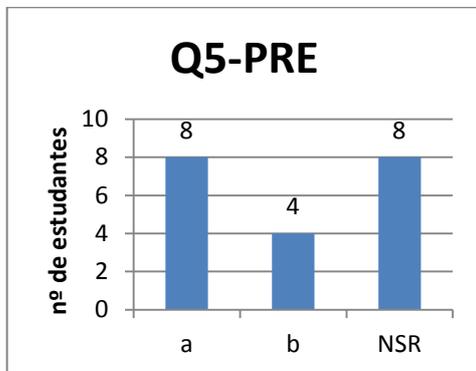
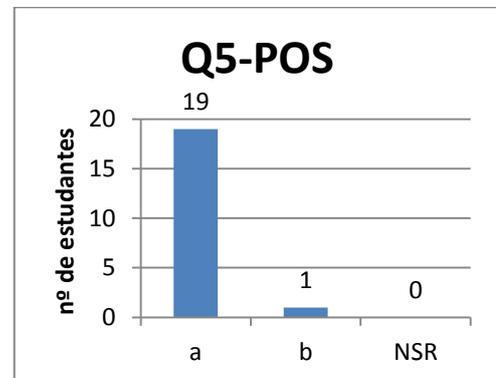


Gráfico 9: Respostas da questão 05 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 10: Respostas da questão 05 do questionário final



Fonte: Elaborado pelo autor

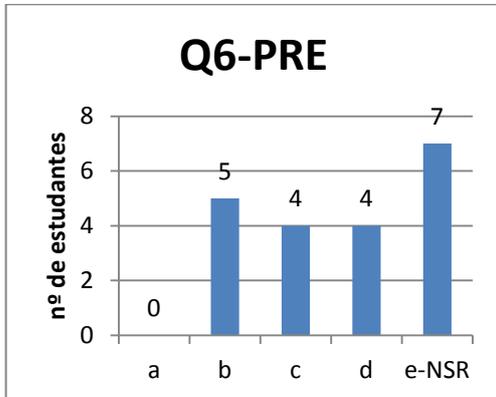
Nesta questão oito estudantes marcaram o item “a” correspondendo a resposta correta indicando 40 % do total. Quatro marcaram o item “b”, incorreto, correspondendo a 20% e oito não souberam responder marcando o item NRS no questionário inicial, enquanto no questionário final o item correto “a” recebeu dezenove marcações, ou seja, 95% das respostas e apenas uma para o item “b”.

**Questão 06: “Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de 31° para a direita que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?”**

- a.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levorotatória.
- b.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextrorotatória.
- c.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levo-rotatória.
- d.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextrorotatória.
- e.( ) não sei responder.

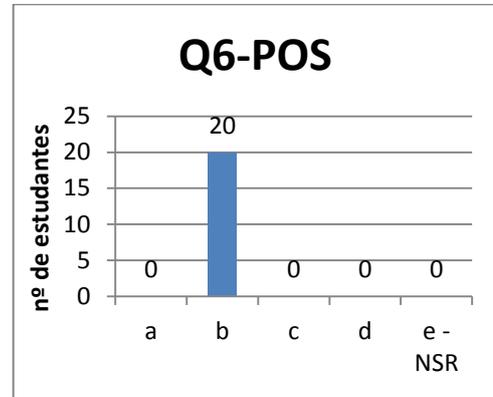
Para esta questão o item correto corresponde a letra “b”.

Gráfico 11: Respostas da questão 01 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 12: Respostas da questão 06 do questionário final

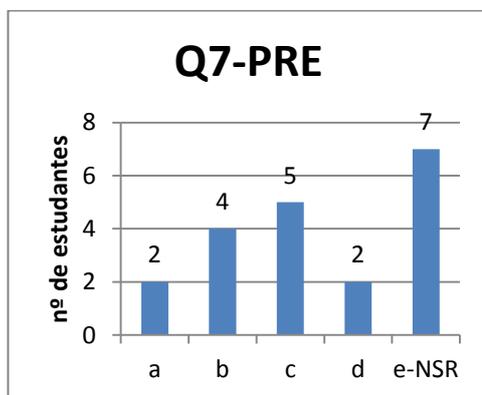


Fonte: Elaborado pelo autor

Apenas cinco estudantes conseguiram acertar esta questão no questionário inicial enquanto no questionário final 20 estudantes acertaram a resposta.

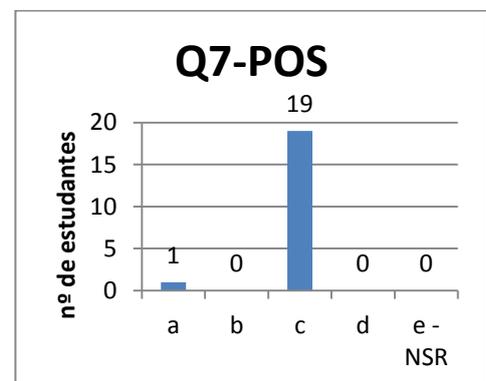
**Questão 07: "Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de  $22^\circ$  para a esquerda que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?"** como respostas foram obtidas:

Gráfico 13: Respostas da questão 07 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 14: Respostas da questão 07 do questionário final



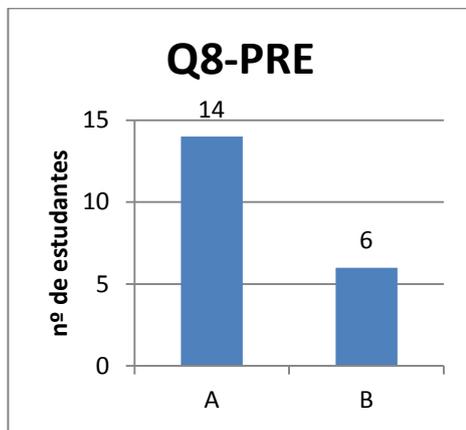
Fonte: Elaborado pelo autor

Para esta questão o item correto é o “c”. Observando os gráficos, apenas cinco acertaram a resposta no questionário inicial, enquanto no final, foram dezenove acertos.

**Questão 08: “Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e não há desvio do ponto zero que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?”**

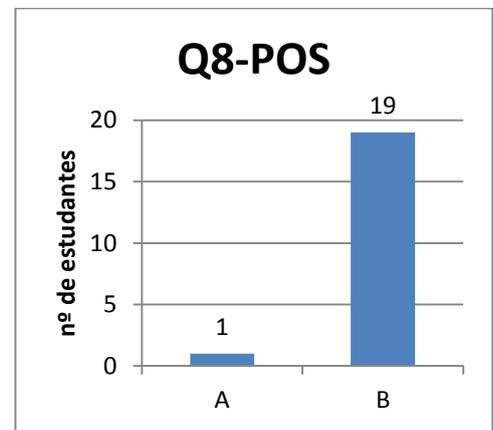
- a. ( ) a substância possui atividade óptica.  
b. ( ) a substância não possui atividade óptica.

Gráfico 15: Respostas da questão 08 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 16: Respostas da questão 08 do questionário final



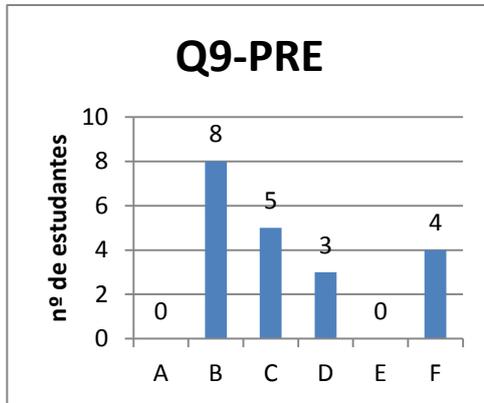
Fonte: Elaborado pelo autor

A resposta correta para esta questão é o item “b” e no questionário inicial apenas seis estudantes acertaram a resposta enquanto no questionário final dezenove acertaram.

**Questão 09: “Analisar cuidadosamente cada fator citado a seguir e escolha apenas um ao qual você associaria os fenômenos de desvio óptico do plano da luz por parte das moléculas envolvidas nos experimentos”.**

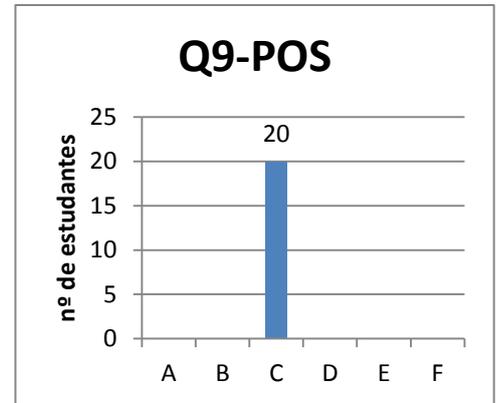
- a. Cor.  
b. Tamanho das moléculas.  
c. Presença de carbono quiral.  
d. Presença de oxigênios.  
e. Presença de hidrogênios.  
f. Suas solubilidades em água.

Gráfico 17: Respostas da questão 09 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 18: Respostas da questão 09 do questionário final



Fonte: Elaborado pelo autor

Para esta questão a resposta correta é o item “c”. No questionário inicial foram cinco acertos enquanto para o questionário final foram vinte acertos.

**Questão 10: “Observando a estrutura da sacarose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?”**

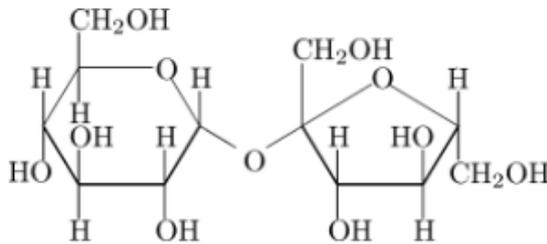
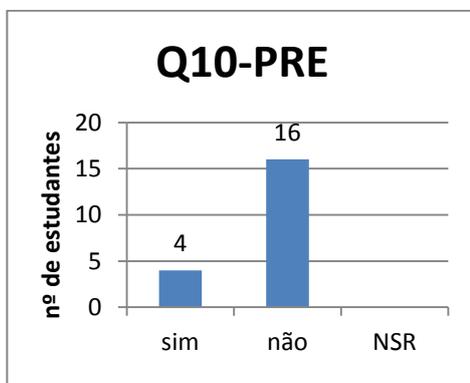
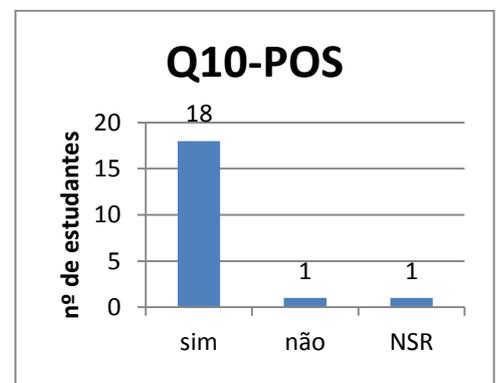


Gráfico 19: Respostas da questão 10 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 20: Respostas da questão 10 do questionário final



Fonte: Elaborado pelo autor

No questionário inicial apenas quatro estudantes marcaram “sim” como resposta enquanto no questionário final foram dezoito.

**Questão 11: “Observando a estrutura da frutose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?”**

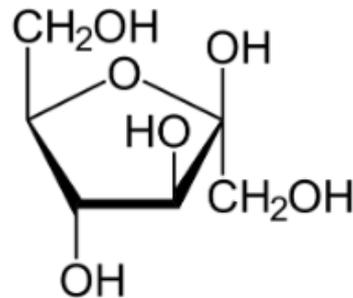
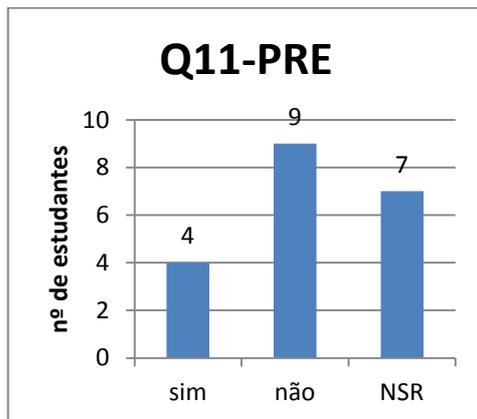
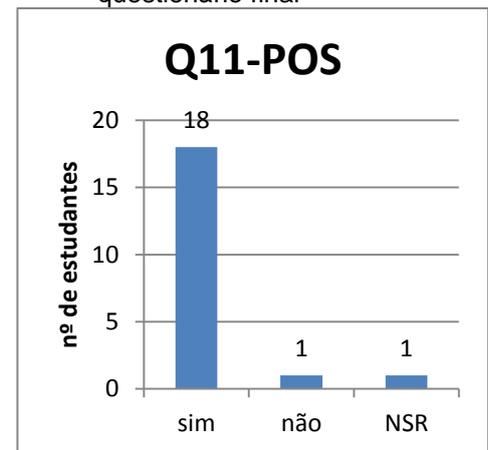


Gráfico 21: Respostas da questão 11 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 22: Respostas da questão 11 do questionário final

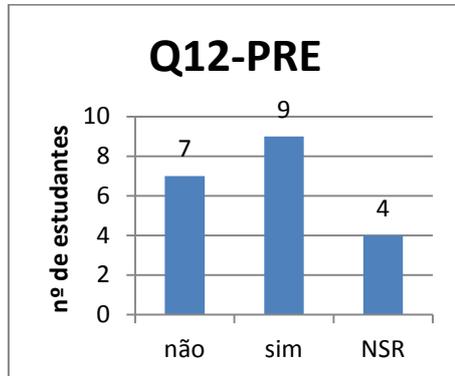


Fonte: Elaborado pelo autor

No questionário inicial foram obtidas quatro respostas para “sim” enquanto no questionário final foram dezoito.

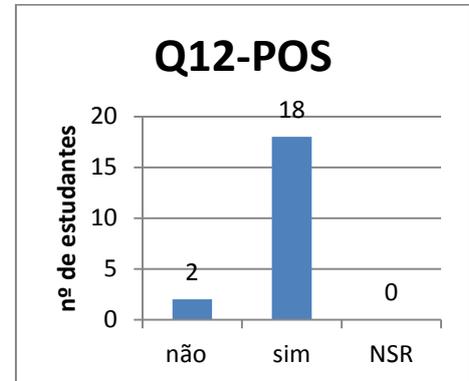
**Questão 12: “O ângulo de desvio é uma propriedade específica da matéria como densidade, calor específico, PF e PE. Sendo assim este ângulo pode ser chamado de rotação específica. Baseando-se nos seus experimentos seria possível determinar a concentração de uma substância presente em uma solução sabendo o ângulo de desvio óptico de uma amostra de sacarose de concentração desconhecida?”**

Gráfico 23: Respostas da questão 12 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 24: Respostas da questão 12 do questionário final

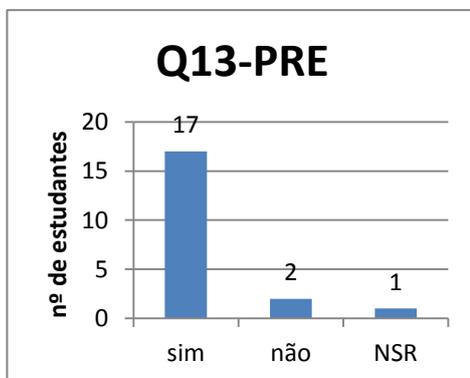


Fonte: Elaborado pelo autor

No questionário inicial foram obtidas nove respostas para “sim” enquanto no questionário final foram dezoito.

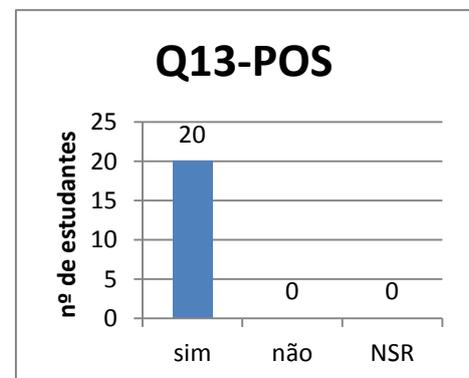
**Questão 13: “No experimento você pode perceber em algum momento se o caminho óptico que a luz percorre (quantidade de solução em função do comprimento do tubo) causa alguma interferência nas leituras do polarímetro?”**,

Gráfico 25: Respostas da questão 13 do questionário inicial



Fonte: Elaborado pelo autor

Gráfico 26: Respostas da questão 13 do questionário final



Fonte: Elaborado pelo autor

Como respostas para esta questão no questionário inicial foram obtidos dezessete estudantes marcando “sim” enquanto no questionário final foram 20 estudantes marcando “sim”.

## **7.2 Análise dos resultados do questionário inicial.**

Na primeira questão, Q1-PRE, apenas sete estudantes marcaram que havia ouvido falar em polarímetro anteriormente no ambiente escolar, mesmo já tendo estudado isomeria óptica na escola. Isto corresponde a 35% dos participantes. Já para a segunda questão, Q2-PRE, é possível perceber que mesmo sem ter ouvido falar no polarímetro, dezessete estudantes, 85% dos participantes, acreditam que o uso do polarímetro pode contribuir com o aprendizado de atividade óptica e isomeria óptica.

A análise das respostas da terceira questão, Q3-PRE, mostrou que os óculos de lentes polarizadas são objetos comuns no cotidiano de 15 dos 20 estudantes participantes. Isto corresponde a 75% dos participantes. Eles têm o conhecimento da existência das lentes polarizadas, no entanto, somente três estudantes (15%) revelaram compreender sua função nos óculos, conforme análise das respostas da questão 04 (Q4-PRE).

Ao analisar os resultados da Questão 05 é possível verificar que oito estudantes (40%) responderam corretamente marcando o item “a”, quatro marcaram item “b” e oito não souberam responder marcando o “c”. Considerando-se este resultado pode-se interpretar que havia algum tipo de conhecimento prévio sobre polarização de ondas eletromagnéticas, estando de acordo com os dados obtidos nos gráficos Q1-PRE, onde sete participantes revelaram conhecer o polarímetro, no entanto, ao comparar com o gráfico Q4-PRE, nota-se que apenas três mostraram saber a função das lentes polarizadoras. Isto leva a interpretação de que embora haja algum conhecimento prévio, ainda há muita confusão nos conceitos e particularidades da polarização da luz. Percebe-se que ainda há uma barreira entre o experimental e o teórico ao não relacionar corretamente a forma da onda polarizada com a lente polarizadora.

A questão Q6-PRE avalia conceitos mais aprofundados em isomeria. Para analisar seus resultados iniciamos definindo a resposta correta para esta questão como sendo o item “b”.

Nenhum estudante marcou o item “a” **“trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levo-rotatória”**, isto pode estar relacionado com o conhecimento prévio que o estudante já possui sobre isomeria óptica ao classificar, mesmo que de forma inadequada e confusa, que se uma amostra desvia a luz  $31^\circ$  para a direita ela não poderia ser opticamente inativa e muito menos levógira. Já o item “b” **“trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória”**, recebeu cinco respostas (25%). O item “c” **“trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levo-rotatória”** recebeu quatro respostas (20%), da mesma forma, o item “d”: **“trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória”**. Neste item há uma contradição entre desviar a luz para a direita e ser opticamente inativa. O item com maior número de respostas foi o “e”: **“não sei responder”** apresentando sete respostas (35%).

Os resultados tabulados neste gráfico estão em acordo com as questões Q1-PRE e Q5-PRE, nos levando a concluir a existência de conhecimentos mais específicos sobre a isomeria óptica, só que em um percentual pequeno de 25% dos participantes (5 estudantes) e 75% não possuem estes conceitos bem organizados necessitando de uma intervenção didática para aprimorá-los e reelaborá-los.

A questão Q7-PRE avaliou de forma semelhante a Q6-PRE e observou-se os seguintes resultados: Considerando-se a resposta correta para esta questão como sendo o item “c”. A análise deste gráfico permitiu observar que as respostas estão concordando com o Q6-PRE onde, no item “a” possivelmente houve confusão ou desatenção com o termo “opticamente inativo” recebendo duas respostas. No item “b” obtivemos quatro respostas, no item “c”, que é a resposta correta, obtivemos cinco respostas. No item “d” foram registradas apenas duas respostas e no item “e” correspondente ao “não sei responder” foram registradas sete respostas. Estes resultados combinam em partes com a questão Q6, como no item que define corretamente as respostas. São cinco acertos para Q6-PRE no item “b” e cinco acertos para Q7-PRE no item “c” isto confirma em 25% dos participantes a existência de conhecimentos prévios. Também há concordância com o número de participantes que não souberam responder, que foram sete em cada uma (35%). Ao

total 75% dos pesquisados não possuem conhecimentos organizados o suficientes para responder corretamente a questão.

Na questão Q8-PRE, obtivemos quatorze participantes (70%) marcando incorretamente o item “A” que diz “**a substância possui atividade óptica**”. Já a resposta correta, o item “B”, que traz: “**a substância não possui atividade óptica**” recebeu apenas 30% das respostas estando em acordo com os dados revelados anteriormente nas análises das respostas em Q7, Q6 e Q1, com pequena ressalva de uma resposta (5%) em desacordo, corroborando com a ideia de que uma pequena porcentagem de 25% possuem algum conhecimento anterior sobre o assunto.

Para a questão Q9-PRE, a resposta correta é o item “c”. A análise dos resultados mostrou que no item “A”, relativo à “cor” não recebeu nenhuma resposta, no entanto o item “B”: “Tamanho das moléculas” recebeu o maior número de respostas, 40% (8), indicando que eles acreditam ser o “tamanho” das moléculas o responsável pela atividade óptica. Apenas 25% relacionaram a atividade óptica com a “presença de carbono quiral”, item “C”, resposta correta. Um grupo de 15% (3) atribuiu à presença de oxigênio, nenhum relacionou com o item “E” “Presença de hidrogênios”, mas 20% (4) fizeram relação com o item “F” “Suas solubilidades em água”.

Para a questão Q10-PRE, foi observado que somente 20% dos estudantes (4) marcaram que “sim”, acreditando que há um fator que relaciona o comportamento da solução no polarímetro com a estrutura da sacarose e 80% dos estudantes (16) não acreditam que haja relação da atividade óptica com a estrutura.

De forma semelhante, na questão Q11-PRE, a análise das respostas permite perceber que 20% (4) dos pesquisados conseguem relacionar o comportamento da solução no polarímetro com um fator existente na fórmula estrutural da frutose, como também foi feito na questão Q10-PRE para a glicose. Também é possível verificar algumas divergências em que 45 % (9) marcaram que não há relação. 35% (7) não conseguem ver uma relação não sabendo responder. Comparando-se com a questão anterior, a divergência se aplica apenas aos números: que em Q10-PRE eram de 80% (16) para o item “não” e nenhum para “NSR” e em Q11-PRE são apenas 45% (9) para o item “não” e 35% para o item “NSR”.

A análise do gráfico de respostas para a questão Q12-PRE permitiu verificar que 35% (7) dos estudantes marcaram o item incorreto “não” que afirma: “**pois**

**considerando a mesma concentração molar pode haver vários tipos de moléculas com o mesmo desvio**". 45% (9) dos estudantes marcaram o item correto "sim" que afirma: "**pois considerando a mesma concentração molar para diferentes moléculas, cada uma apresentará um desvio específico para cada molécula**". Deste total, 20% (4) não souberam responder. Isto indica que o percentual de estudantes que perceberam a relação existente entre a rotação óptica e a concentração das soluções opticamente ativas foi de 45% enquanto 55% não perceberam. Uma observação importante é que podemos intuir nesta questão que um roteiro experimental por si só, "a prática pela prática" não é capaz de promover muitos significados se não houver uma condução movida por questionamentos e desafios.

A análise deste gráfico de respostas da Q13-PRE, mostra que somente com o procedimento experimental sem nenhuma intervenção do professor que 85% (17) dos estudantes perceberam que o caminho óptico influenciava no valor numérico do ângulo de desvio da luz polarizada, provocada pela solução ao ser submetida ao polarímetro. 10% (2) não perceberam e 5% (1) não souberam responder.

### **7.3 Análise dos resultados do questionário final.**

Após a intervenção didática, percebeu-se que houve uma evolução de uma maneira geral nos resultados das questões. Na Q1-POS e Q2-POS todos os participantes revelaram que passaram a ter ciência do que é um polarímetro e acreditam que sua utilização pode contribuir na aprendizagem promovendo melhor compreensão da atividade óptica. Na Q3-POS revelou que todos passaram a ter ciência de que há óculos com lentes polarizadoras e em Q4-POS, 95% dos participantes revelaram ter compreendido sua função e funcionamento. Na Q5-POS 95% dos participantes compreenderam como funciona a polarização da luz estando concordando com as respostas de Q4-POS.

A questão Q6-POS apresentou 100% de respostas corretas e Q7-POS 95%, revelando que após a intervenção houve melhor compreensão do significado da rotação óptica na classificação do isômero, bem como no significado de atividade óptica como mostrou os resultados de Q8-POS, onde 95% dos participantes

marcaram que quando uma amostra não apresenta desvio do plano da luz no polarímetro ela é chamada opticamente inativa.

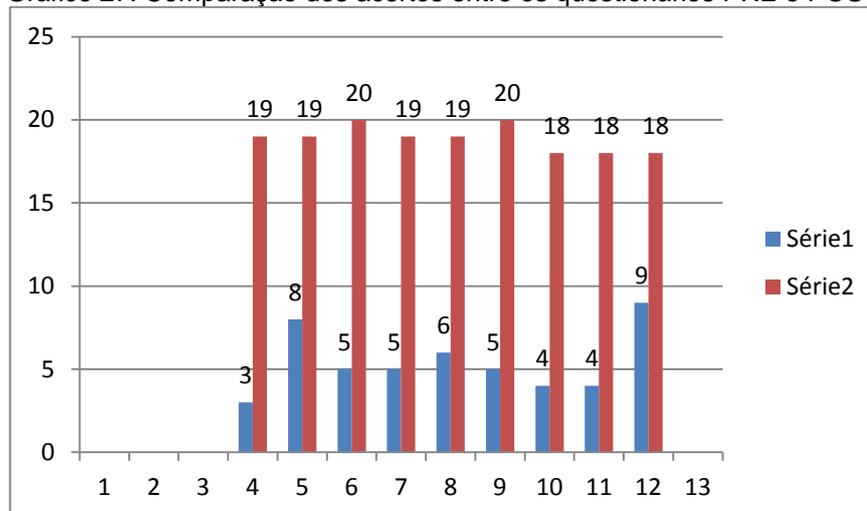
Na questão Q9-POS observou-se que 100% dos participantes conseguiram compreender o fator que determina a atividade óptica nas moléculas, no entanto, duas questões chamaram atenção, a Q10 e Q11 que pedem para relacionar o a leitura de uma análise no polarímetro com algum fator presente nas moléculas de sacarose e na seqüência a frutose. Em ambas as questões 90% conseguiram relacionar corretamente os fatores e percebeu-se que 10% não conseguiram.

Na Q12-POS notou-se que 90% (18) conseguiram compreender que por meio do desvio óptico foi possível identificar a concentração desconhecida de uma amostra, compreendendo assim a forte relação existente entre rotação óptica específica e concentração da espécie em solução. Também foi possível notar em Q13-POS, que houve melhor compreensão da relação de proporcionalidade entre caminho óptico (comprimento da amostra) e a leitura no polarímetro, ângulo de desvio, onde foram obtidos 100% das respostas corretas.

#### 7.4 Análise comparativa dos questionários.

Observando-se o gráfico 27, a seguir, é possível comparar os acertos no questionário inicial e final para as questões objetivas.

Gráfico 27: Comparação dos acertos entre os questionários PRE e POS



Fonte: Elaborado pelo autor

A série 1 corresponde ao questionário inicial (PRE) e a série 2 corresponde ao questionário final (POS).

As questões 1, 2, 3 e 13 foram retiradas deste gráfico, pois se referem às respostas subjetivas e foram avaliadas em outro momento.

De uma forma geral, observou-se no gráfico 27 que houve aumento nos índices de acerto após a intervenção didática aliada aos experimentos. Conceitos que no questionário inicial (PRE) estavam confusos e sem o aprofundamento conceitual esperado, passaram a ter outra perspectiva no questionário final (POS).

De forma mais específica, ao comparar os resultados de algumas questões, percebeu-se que houve evolução conceitual nos aspectos teóricos que envolveram a polarização da luz e compreensão de sua propagação no espaço, Q4 e Q5. Também se notou melhor entendimento da atividade óptica nos compostos orgânicos, Q6 e Q7. Notou-se também melhor entendimento na definição de rotação óptica específica e a relação entre a concentração molar das amostras em Q12 e, da mesma forma, também a relação do desvio óptico com o caminho óptico em Q13.

Através da análise dos resultados citados anteriormente referentes ao questionário inicial e final, quando confrontados no gráfico 27, foi possível perceber que com a metodologia de ensino anterior não havia sido entendido corretamente, observe os resultados apresentados na “Série 1” do gráfico 27, correspondente ao questionário inicial, são todos inferiores a nove acertos (45%). A parte da intervenção experimental complementou melhorando significativamente esta compreensão elevando o número de acertos variando entre dezoito e vinte (90% e 100%) que pode ser vista no questionário final, “Serie 2” do gráfico 27. Isso mostra que uso do polarímetro na experimentação e do material utilizado na intervenção didática agregou melhora na compreensão dos conceitos que já haviam sido trabalhados na escola, mas de forma teórica. Esta melhora não foi somente nos estudos de isomeria óptica, mas também para os conceitos de ondulatória, polarização da luz e atividade óptica, que abrangem e fundamentam os fenômenos estudados.

## **7.6 Análises dos dados no caderno de bordo.**

O caderno de bordo dos estudantes continha o roteiro de experimentação onde as tarefas do procedimento experimental foram detalhadas. Para fins de análise do conteúdo as repostas dos estudantes que foram anotadas durante as

atividades juntamente com a questão discursiva sugerida ao final de cada experimento, foram classificadas nas categorias a seguir:

- I. Usabilidade e realização da tarefa.
- II. Interesse pelo assunto.
- III. Aprendizagem.
- IV. Associação da teoria com a prática.

#### 7.6.1 Categoria “usabilidade e realização da tarefa”

Conforme a análise das respostas apresentadas no quadro de leituras realizadas no polarímetro, ANEXO 01, referente ao caderno de bordo, todos os estudantes obtiveram êxito conseguindo chegar aos resultados esperados.

Com relação aos valores de leituras dos desvios ópticos observados nas amostras, ocorreram pequenas divergências, mas estava dentro do esperado, como foi possível observar nas ilustrações abaixo:

2. Preencha o tubo 02 até a **metade** com a solução de **SACAROSE 160 g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo **cheio**.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 02	+5°	+10°

Figura 25: Fragmento do caderno de bordo do estudante 01

2. Preencha o tubo 02 até a **metade** com a solução de **SACAROSE 160 g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo **cheio**.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 02	≈ +7	≈ +15

Figura 26: Fragmento do caderno de bordo do estudante 02

2. Preencha o tubo 02 até a **metade** com a solução de **SACAROSE 160 g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo **cheio**.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 02	+6.5	+10

Figura 27: Fragmento do caderno de bordo do estudante 03

É possível notar que para a mesma amostra houve diferenças entre as leituras observadas por alguns estudantes ao utilizar os polarímetros. Enquanto o

estudante 01 observou desvio de  $+5^\circ$  e  $+10^\circ$ , o estudante 02 observou  $+7^\circ$  e  $+15^\circ$  e o estudante 03 observou  $+6,5^\circ$  e  $+10^\circ$ .

Estas respostas puderam ser interpretadas levando-se em consideração quatro fatores relevantes.

- I. Possíveis limitações de visão de cada participante.
- II. Estado de fermentação das amostras.
- III. Erro atribuído à padronização das escalas dos polarímetros.
- IV. Erro no procedimento experimental. Todo procedimento experimental é passível de erros, pois é uma das características deste método.

Apesar destes fatores, os valores obtidos estavam dentro dos limites previstos e aceitáveis, pois a leitura foi realizada observando-se a intensidade luminosa que atravessa a amostra sem auxílio de qualquer equipamento e, neste caso, poderia haver erro, por menor que seja, já que não se trata de detecções eletrônicas.

Um estudante foi extremamente cauteloso em suas leituras e percebeu também que os ângulos opostos poderiam dar resultados complementares e fizeram anotações destes valores, tais como:

Figura 28: Fragmento do caderno de bordo do estudante 04

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 01	$0^\circ, 360^\circ / 180^\circ, \pi$	$0^\circ, 360^\circ / 180^\circ, \pi$
2. Preencha o tubo 02 até a <b>metade</b> com a solução de <b>SACAROSE 160 g/L</b> . Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo <b>cheio</b> .		
Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 02	$0^\circ - +10^\circ / 38^\circ - 170^\circ$	$+10^\circ / -170^\circ$
3. Preencha o tubo 03 até a <b>metade</b> com a solução de <b>SACAROSE 310 g/L</b> . Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo <b>cheio</b> .		
Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 03	$+10^\circ, 30' - +10^\circ / -170^\circ, 30' - 170^\circ$	$+20^\circ - +20^\circ / -160^\circ - -160^\circ, 30'$
4. Preencha o tubo 04 até a metade com a solução de <b>FRUTOSE 150 g/L</b> . Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo cheio.		
Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 04	$-10^\circ - -10^\circ, 30' / +170^\circ - +170^\circ, 30'$	$-20^\circ / +160^\circ$

Para  $0^\circ$  ou  $360^\circ$  seu oposto foi  $180^\circ$ , para os deslocamentos à direita as variações de  $0^\circ$  em direção ao  $+10^\circ$  seu oposto foi anotado equivocadamente como  $-170^\circ$ , ao invés de  $+170^\circ$ . Essas observações foram descritas em seus quadros de resultados das leituras realizadas no polarímetro. Os primeiros resultados deixaram

evidente a necessidade de realizar correções na escala do polarímetro evitando equívocos nas leituras.

Após as correções da escala, foi possível perceber que houve mais facilidade na utilização e manuseio do polarímetro experimental, pois se mostrou possuir fácil leitura e interpretação dos dados sem a necessidade dispor de tempo com treinamentos para seu uso.

A maioria dos participantes conseguiram realizar o experimento de maneira satisfatória, no tempo previsto, mostrando que o roteiro possui boa adequação à série e aos assuntos investigados. Também permitiu evidenciar que não há necessidade de um ambiente específico para a realização da experimentação, pois, os mesmos, foram realizados nas residências dos participantes. Nenhum dos estudantes relatou qualquer dificuldade, inclusive argumentaram positivamente em suas respostas no caderno de bordo e classificaram a metodologia como interessante e inovadora por se tratar de uma atividade realizada em casa.

7.6.2 Respostas dos estudantes à questão dissertativa do caderno de bordo a seguir:

**“Em poucas palavras comente, da maneira que achar mais adequada, sobre sua experiência em trazer um kit para realizar experimentos em casa.”**

Tabela: 2 Tabela de respostas da questão aberta do caderno de bordo.

Estudante	Respostas fiéis aos discursos dos estudantes.
01	“Eu acho interessante e se bem executado, pode ser um ótimo método de aprendizado”... “é mais fácil aprender em prática do que na teoria.”
02	“Achei muito inovador. Gostei muito. Foi uma experiência diferente, pois aumenta nosso interesse em aprender mais e aprofundar no que já aprendemos na escola, mas de uma maneira diferente.”
03	“É válido. É uma oportunidade para aprender mais e entender melhor os conteúdos, foi muito interessante.” Gosto de química e sinto falta de experiências”
04	“Achei muito interessante, pois, permite ter contato com a química que muitas vezes não temos na escola. aprendi muito com o experimento e despertou minha curiosidade sobre o assunto.”
05	“Achei muito interessante em ver isso na prática, na maioria das escolas não é possível.”
06	“Foi muito boa a sensação dessa simulação de estar de volta a um laboratório , mesmo de casa. Despertou muito minha curiosidade sobre o assunto.”

07	“muito interessante, por trazer em prática, o conteúdo teórico de polarização de ondas, o que facilita o entendimento e estimula o estudo da matéria.”
08	“Muito interessante, pois incentiva o aprendizado de maneira inovadora e divertida.”
09	“São poucas as oportunidades de realizar um experimento prático em casa; é sempre bom poder ver na prática a parte teórica já estudada, já que deixa de forma mais clara o que foi visto anteriormente na teoria.”
10	“pra quem gosta de ciências, é uma maravilha, muito interessante poder fazer atestamentos científico, mesmo que haja um possível erro por parte de nós alunos, apenas o fato de se empolgar com a ciências e fascinante. Entendi e aprendi muito sobre isomeria óptica com esta atividade”
11	“Fora uma experiência acertadamente frutífera, haja vista que foi possível observar, na prática, aquilo que me foi ensinado ao longo de minha trilha pelo ensino médio. Ademais, ressalta-se a excelente disponibilidade e orientação proveniente do professor responsável.”
12	“A idéia é incrível e inovadora, muito legal participar de um experimento científico e melhor ainda, estando em casa. Poder ver como funciona a química na vida real é um privilégio, uma vez que na escola eu e meus colegas não saímos do papel.”
13	“ é muito interessante esta oportunidade de ver na prática com experiencias o que só vemos na teoria e no papel”
14	“ achei muito legal e interessante o aparelho. Vi que uma coisa tão complicada na teoria pode ser tão simples de entender e aprender com a prática”
15	“certamente foi a melhor aula de isomeria óptica que já tive, me interessei mais pelo assunto, pois pude conferir na pratica o que aprendi na teoria. Pude entender melhor o que queria dizer com desvio óptico”
16	“muito interessante poder ver a teoria funcionando na prática com o aparelho. Aprendi melhor os assuntos de isomeria óptica”
17	“achei muito interessante a experiencia com o aparelho polarímetro. Compreendi mais sobre isomeria”
18	“foi muito gratificante poder enxergar o que acontece na prática o que aprendemos no papel. Muito interessante e facilitou o entendimento.”
19	“foi muito interessante porque eu não tinha entendido nada de isomeria antes. O experimento com o polarimetro permitiu ver na prática o que acontecia na teoria. Foi muito válido e poderia se repetir em mais matérias.”
20	“Eu achei muito interessante o funcionamento do aparelho e tão simples. Foi muito bom entender a matéria na prática e poder associar com a teoria.”

### 7.6.2.1 Categoria “Interesse pelo assunto”

Esta categorização permitiu perceber que houve boa aceitação do equipamento em experimentos de atividade óptica e despertou o interesse pelo

conteúdo e a curiosidade. Dos vinte estudantes participantes dezoito (90%) relataram que se interessaram pelo assunto após a realização dos experimentos. Cinco estudantes relataram verbalmente que realizaram testes com vários produtos domésticos, como: água sanitária, detergente, refrigerantes incolores e coloridos (com e sem açúcar), adoçantes, mel (abelha e xarope de milho).

Estes relatos não foram gravados em mídias ou escritos nos roteiros, foram obtidos informalmente por verbalização durante o recolhimento dos kits e registrados no meu caderno de bordo de pesquisa de mestrado. É importante mencionar, porque evidencia a empolgação, interesse e curiosidade estimulados pela metodologia com os experimentos mesmo que sejam equipamentos adaptados e com procedimentos tão simplificados. Também é importante ressaltar que justamente neste momento foi evidenciada a aprendizagem significativa. Foi quando alguns estudantes após terem usado o equipamento dentro do que foi proposto tomaram a iniciativa de sair do roteiro e foram além. Começaram a testar outras substâncias utilizando o que aprendeu e tentaram aplicar em outras situações cotidianas.

#### **7.6.2.2 Categoria “Aprendizagem”**

Nesta categoria, a análise das respostas da questão dissertativa observou-se que dos vinte estudantes participantes dezessete (85%) argumentaram que o experimento com o polarímetro contribuiu com o aprendizado dos conteúdos de isomeria óptica, conforme alguns relatos, apresentados na íntegra, a seguir:

Estudante 01 “Eu acho interessante e se bem executado, pode ser um ótimo método de aprendizado” [...] “é mais fácil aprender em prática do que na teoria.”

Estudante 02 “Achei muito inovador. Gostei muito. Foi uma experiência diferente, pois aumenta nosso interesse em aprender mais e aprofundar no que já aprendemos na escola, mas de uma maneira diferente.”

Estudante 03 “É válido. É uma oportunidade para aprender mais e entender melhor os conteúdos, foi muito interessante”. “Gosto de química e sinto falta de experiências.”

Estudante 04 “Achei muito interessante, pois permite ter contato com a química que muitas vezes não temos na escola. Aprendi muito com o experimento e despertou minha curiosidade sobre o assunto.”

Estudante 07 “[...] muito interessante, por trazer em prática, o conteúdo teórico de polarização de ondas, o que facilita o entendimento e estimula o estudo da matéria.”

Estudante 08 “Muito interessante pois incentiva o aprendizado de maneira inovadora e divertida.”

Estudante 10 [...] “pra quem gosta de ciências, é uma maravilha, muito interessante poder fazer atestamentos científico, mesmo que haja um possível erro por parte de nós alunos, apenas o fato de se empolgar com a ciências e facinante. Entendi e aprendi muito sobre isomeria óptica com esta atividade.”

Além das idéias de cunho estruturalista, onde foram evidenciadas as estruturas hierárquicas dos conceitos de David Ausubel, foi possível perceber também na fala dos estudantes o fator mais humanista nas relações de aprendizagem. Foi possível identificar ação e o envolvimento emocional positivo com o material nas falas dos estudantes apresentadas na tabela 02, por exemplo, os estudantes nº 02, 03, 04, 07, 08, 12, 14, 15, 16, 17, 19 e 20 que deixam bem claro a importância da relação positiva entre o aprendizado e o material proposto. Outro aspecto importante é o fato de que em uma época de pandemia, isolamento social e restrições nas atividades escolares, uma atividade que pudesse demonstrar ação e envolvimento emocional com o material como foi relatado pelo estudante 06 em que cita “Foi muito boa a sensação dessa simulação de estar de volta a um laboratório, mesmo de casa. Despertou muito minha curiosidade sobre o assunto.” O estudante nº 11 mencionou além dos fatos expostos anteriormente, a relação de afetividade entre aprendiz e professor em que relata sua experiência na metodologia utilizada “Ademais, ressalta-se a excelente disponibilidade e orientação proveniente do professor responsável”, estudante nº 11.

Estes relatos se mostraram de acordo com o pensamento de NOVAK; MINTZES; WANDERSEE, 1998, com relação à aprendizagem significativa, pois, para Novak, uma teoria de educação centrada na aprendizagem significativa deve considerar que seres humanos pensem, sintam e ajam devendo ajudar a explicar como melhorar as maneiras pelas quais as pessoas operacionalizam tais modos.

Segundo Novak, Mintzes e Wandersee (1998) O evento educativo é um compartilhamento de saberes e significados entre aprendiz e professor. É também acompanhado de uma experiência afetiva. A pré-disposição para aprender está

intimamente relacionada com a experiência afetiva que o aprendiz tem no evento educativo: uma identificação com o professor.

Assim, pode-se perceber que para os estudantes a aplicação da metodologia experimental associada ao ensino de isomeria óptica contribuiu de maneira positiva com atributos favoráveis para uma aprendizagem significativa, reduzindo assim as dificuldades encontradas no entendimento deste conteúdo que sempre é tratado de forma teórica sem contexto.

### 7.6.2.3 Categoria “Associação da teoria com a prática”

Nesta categoria observou-se que 90% das respostas apresentavam menções na associação da prática com a teoria durante o ensino da isomeria óptica, conforme os apontamentos dos estudantes descritos abaixo.

Estudante 01 “Eu acho interessante e se bem executado, pode ser um ótimo método de aprendizado”...“é mais fácil aprender em prática do que na teoria.”

Estudante 03 “É válido. É uma oportunidade para aprender mais e entender melhor os conteúdos, foi muito interessante”. “Gosto de química e sinto falta de experiências.”

Estudante 04 “Achei muito interessante, pois permite ter contato com a química que muitas vezes não temos na escola. Aprendi muito com o experimento e despertou minha curiosidade sobre o assunto.”

Estudante 05 “Achei muito interessante em ver isso na prática, na maioria das escolas não é possível.”

Estudante 07 “... muito interessante, por trazer em prática, o conteúdo teórico de polarização de ondas, o que facilita o entendimento e estimula o estudo da matéria.”

Estudante 09 “São poucas as oportunidades de realizar um experimento prático em casa; é sempre bom poder ver na prática a parte teórica já estuda, já que deixa de forma mais clara o que foi visto anteriormente na teoria.”

Estudante 11 “Fora uma experiência acertadamente frutífera, haja vista que foi possível observar, na prática, aquilo que me foi ensinado ao longo de minha trilhagem pelo ensino médio. Ademais, ressalta-se a excelente disponibilidade e orientação proveniente do professor responsável.”

Estudante 12 “A idéia é incrível, muito legal participar de um experimento científico e melhor ainda, estando em casa. Poder ver como funciona a química na vida real é um privilégio, uma vez que na escola eu e meus colegas não saímos do papel.”

Os relatos dos estudantes evidenciaram que a atividade experimental com o polarímetro é um recurso muito rico na exploração de conceitos científicos. A articulação entre teoria-prática é muito favorável ao aprendizado e atrai de maneira satisfatória a atenção e foco para o tema.

## 8.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do caderno de bordo dos estudantes permitiu identificar evidências importantes sobre os aspectos da experimentação com o polarímetro nas aulas de isomeria óptica. Os fragmentos analisados e categorizados anteriormente revelaram que o produto formado pelo polarímetro, o roteiro experimental associado à aula teórica foi bem aceito pelos estudantes, despertando a curiosidade e o interesse pelo assunto estudado. Mostrou-se bastante eficiente para o ensino, pois agregou melhora na compreensão dos conceitos que já haviam sido trabalhados na escola, mas de forma teórica apenas. Também se mostrou adequado quanto a sua usabilidade dispensando a necessidade de um laboratório. Abriu-se um leque de opções aos professores e estudantes podendo ser realizada no próprio ambiente de sala de aula, já que os equipamentos não necessitam de bancadas específicas ou climatização. Os maiores cuidados estão relacionados aos materiais escolares, mais especificamente com as soluções aquosas açucaradas.

Em ensaios pilotos, realizados em aula presencial, anterior a declaração da pandemia, foi possível observar que a atividade proposta também poderia ser realizada em grupo, com até cinco estudantes, sem que houvesse prejuízo aos objetivos específicos da aula.

Considerando os aspectos de aprendizagem as atividades se mostraram adequadas ao entendimento da atividade óptica nas soluções, fator importante para compreensão de isomeria óptica. De forma semelhante, verificou-se nas respostas dos questionários, relatos apresentados nos cadernos de bordo de pesquisa e registros de verbalizações, que a proposta de experimentação com o polarímetro associada a uma intervenção teórica didaticamente adequada e contextualizada, relacionando os aspectos cotidianos com os observados pelos estudantes, são recursos facilitadores para a promoção de uma aprendizagem significativa.

Em se tratando de cognição e o conjunto de mecanismos interativos em que os estudantes foram submetidos: aspectos experimentais, aspectos teóricos conceituais, aspectos de abordagem cotidiana e intervenção didática, há uma probabilidade favorável à promoção do aprendizado de maneira mais significativa para os conteúdos de atividade óptica e isomeria óptica.

Vale à pena salientar que os produtos gerados por esta investigação de mestrado profissional em Química, isoladamente, não garantem que haja alguma

aprendizagem sobre isomeria óptica. Da mesma forma, a execução do roteiro experimental sem o devido planejamento e sem objetivos claros, se torna apenas uma tarefa vazia a ser cumprida mecanicamente.

Os experimentos em sala de aula promovem o interesse e despertam a curiosidade quebrando a rotina da aula. Quando bem planejados, se tornam um instrumento de estímulo ao conhecimento e, por meio de questionamentos dos fenômenos observados levam ao desenvolvimento do pensamento crítico. Este instrumento de alto potencial significativo pode contribuir para que o conhecimento já existente na estrutura cognitiva dos estudantes possa interagir se articulando com o novo, ser reelaborado, ressignificado tornando o aprendizado mais eficiente e de uma forma mais prazerosa.

## BIBLIOGRAFIA

ABRAVIDRO. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. Acesso em 28/12/2020 disponível no endereço: <https://abravidro.org.br/precisamos-falar-sobre-anisotropia/>

AIRES, J. A.; LAMBACH, M. Contextualização do ensino de Química pela problematização e alfabetização científica e tecnológica: uma possibilidade para a formação continuada de professores. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.10, n.1, ISSN 1806-5104, 2010.

ALEGRO, R. C. Conhecimento prévio e aprendizagem significativa de conceitos históricos no ensino médio. Tese (Doutorado – Programa De Doutorado Em Educação) - Universidade Estadual Paulista “Julio De Mesquita Filho” Unesp Marília, Marília, São Paulo, 2008.

APRENDIZ. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/aprendiz/>. Acesso em: 23/08/2020.

ALVES, J. B. da M. “Teoria Geral de Sistemas: em busca da interdisciplinaridade”, Instituto Stela. Florianópolis, 2012.

ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.25, n. 2, 2003.

ARAÚJO, S. M.; SILVA, F. W. O. da. A Teoria Ondulatória De Huygens Em Livros Didáticos Para Cursos Superiores. **Revista Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 323-341, 2009. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132009000200006](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132009000200006). Acesso em 15/06/2020.

AUSUBEL , D.P., Educational Psychology: A Cognitive Viel, New York: Holt, Rinehart and Winston, Inc, 1968.

BAGATIN, O. SIMPLICIO,; F. I.; SANTIN FILHO, O. ; SANTIN, . Rotação de Luz Polarizada por Moléculas Quirais. **Química Nova**, v. 21, p. 34-38, 2005.

BAGATIN, O.; Simplício, F.A.; Santin, S. M. O.; Filho, O. S. Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica com abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 21, p. 34-38, 2007.

BAZIN, M. (1987). Three years of living science in Rio de Janeiro: learning from experience. Scientific Literacy Papers, 67-74. Brasil. (1998). Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: Ciências Naturais/Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.13, p.291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Ensino Básico. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Orientações Curriculares para o Ensino Médio. V. 2. Brasília, 2006.

CAMARGO, E. C.G; FELGUEIRAS, C. A; MONTEIRO, A. M. V. A Importância da Modelagem da Anisotropia na Distribuição Espacial de Variáveis Ambientais Utilizando Procedimentos Geoestatísticos. Anais da X SBSR- Foz do Iguaçu, PR. 2001. INPE, p. 395, 402. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/pessoais:abtmartins:0395.402.280.pdf>.

CASTANÕN, Gustavo (2007). O que é cognitivismo? Fundamentos filosóficos. São Paulo: EPU. 141 p.

COGNIÇÃO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/cognição/>. Acesso em: 23/08/2020.

COGNITIVO. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/cognitivo/>. Acesso em: 23/08/2020.

COVOLAN, S. C. T; SILVA, D. A Entropia no Ensino Médio: concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 1, p. 97-117, 2005. Acesso em 25 fev. 2020. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/250992134\\_A\\_entropia\\_no\\_Ensino\\_Medio\\_utilizando\\_concepcoes\\_previas\\_dos\\_estudantes\\_e\\_aspectos\\_da\\_evolucao\\_do\\_conceito](https://www.researchgate.net/publication/250992134_A_entropia_no_Ensino_Medio_utilizando_concepcoes_previas_dos_estudantes_e_aspectos_da_evolucao_do_conceito).

DELIZOICOV, D; ANGOTTI, J. A; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos. São Paulo: Cortez, 2002.

FAUTH, L. H. A; BATISTA, P. D. Montagem de um sistema optoeletrônica para medida da rotação do plano de polarização da luz. **Notas Técnicas**, v. 8, n. 2, p. 36–42, 2018. CBPF- Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

FERNANDES, E. Conhecimento Prévio. **Nova Escola**. Mar 2011. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1510/conhecimento-previo>. Acesso em; 27/05/2020.

FREIRE, P. Professora sim, tia não: Cartas a quem ousa ensinar. São Paulo: Olho D'Água, 1997.

FREITAS, T. R. Metodologia de pesquisa. Disponível em: [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1112856\\_2013\\_cap\\_4.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1112856_2013_cap_4.pdf). Acessado em 15/10/2020.

GRAF: Grupo de re-elaboração do ensino de Física. Física 2: Física Térmica/ óptica /GRAF. 5º Ed. 1. Reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

GUIMARÃES, L. R. Série professor em ação: Atividades para as aulas de ciências no ensino fundamental. São Paulo, Nova Espiral, 2009.

HALLIDAY, D; RESNIK. R.; KRANE, K. S. Fundamentos de Física 4, Ótica e Física Moderna. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HOFSTEIN, A.P.; LUNETTA, V. The laboratory science education: Foundation for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, p. 28-54, 2003.

JÚNIOR, J. S. S. "Lei de Brewster"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lei-brewster.htm>. Acesso em 21 de dezembro de 2020.

KRAPAS, S. Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** (Cessou em 2001. Cont. ISSN 1677-2334 Caderno Brasileiro de Ensino de Física), v. 28, p. 564-600, 2011. disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p564/20251> acessado em 15/06/2020.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; UZEDA, D. O Tratado sobre a luz de Huygens: comentários. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, p. 123-151, 2011. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p123>. Acesso em 15/06/2020.

LEXICOTECA-MODERNA Enciclopédia Universal, Lisboa: Círculo de leitores, 1985. Tomo II.

LIBARONE, A. C. L. F. As concepções alternativas de alunos da 8ª série do ensino fundamental sobre o Fenômeno do Efeito Estufa. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Maringá, Paraná, 2007.

LIMA, M. C. de; Silva, L. Sobre as origens das Leis de Fresnel. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Abr 2019, v. 41, nº 3. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172019000300702](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172019000300702). Acesso em 15/06/2020.

LIMA, V. L. E. Os fármacos e a quiralidade: Uma breve abordagem. **Química Nova**, v. 20, p. 657-663, 1997.

MARTINS, A. P. B.; PORTO, M. B. D. S. M. A Luz, sua História e suas tecnologias: curso de atualização para professores da educação básica. Programa de Pós-Graduação de Ensino em Educação Básica - PPGEB Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira – CAP/UERJ. Rio de Janeiro 2018. Disponível em: [https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431389/1/Livro%20\\_%20A%20Luz%](https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431389/1/Livro%20_%20A%20Luz%20)

20sua%20Historia%20e%20suas%20Tecnologias\_Atualizacao%20Professores%20da%20Ed%20Bas\_Ana%20Paula%20Martins\_Maria%20Beatriz%20Porto.pdf acessado em 15/07/2020.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 37 (4): 4202-1 a 4202-32. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000400202&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000400202&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em 15/06/2020.

MENEZES, R. S. Genêro, Ensino e Pesquisa em Matemática: um estudo de caso. Tese (Doutorado em Física) Instituto de Física - Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia, 2015.

MORAES, R. M. A teoria da aprendizagem significativa- TAS. Construir notícias. Ed.34. 2021. Disponível em <https://www.construirnoticias.com.br/a-teoria-da-aprendizagem-significativa-tas/#:~:text=2.1%20A%20aprendizagem%20representacional,ao%20s%C3%ADmbo lo%20que%20o%20representa>. Acesso em 28/09/2021

MOREIRA, M.A., Caballero, M.C. e Rodríguez, M.L. (orgs.) (1997). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44

MOREIRA, M.A. e Masini, E.F.S. (1982) Aprendizagem significativa: a teoria de aprendizagem de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. 2012 Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acessado em 22/10/2021.

MOREIRA, M. A. Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências – A teoria da aprendizagem significativa. Porto Alegre. 1ª edi. 2009, 2ª edi. 2016. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>. Acessada em 09/04/2021.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. São Paulo: Centauro Editora. 2010

MOREIRA, M.A. O Que É Afinal Aprendizagem Significativa? 2010. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acessado em 30/04/2021.

MOURA, B. A. Isaac Newton e a dupla refração da luz (Isaac Newton and the double refraction of light). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4602 (2014). Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172014000400021](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000400021). Acessado em 10/02/2021.

MVGP- Museu virtual geológico do pampa. Acessado em 28/12/2020, disponível em: <https://sites.unipampa.edu.br/mvgp/propriedades-fisicas-dos-minerais/#C3>. Acessado em 10/02/2021.

NEVES, D. A. B. Meta-aprendizagem e Ciência da informação: uma reflexão sobre o ato de aprender a aprender. **Perspectivas em Ciências da Informação**. v. 12. nº 3. p. 116 – 128. Set/dezembro 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/pci/v12n3/a09v12n3.pdf>. Acessado em 22/10/2020.

NEVES, D. A. B. Meta-aprendizagem e Ciência da Informação: uma reflexão sobre o ato de aprender a aprender. *Perspect. ciênc. inf.* [online]. 2007, vol.12, n.3, pp.116-128. ISSN 1981-5344. <https://doi.org/10.1590/S1413-99362007000300009>.

NOVAK, Joseph David, MINTZES, J., WANDERSEE, H. J. Teaching Science for Understanding. A Humam Construtivist **View**. **San Diego: Academic Press**, 1998.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e Abordagens das Atividades Experimentais no Ensino de Ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae** (ULBRA), v. 12, p. 139-153, 2010.

ORLANDO, R. M.; FILHO, C. N.; GIL, S. E. de; STRINGUETTA, J. P. de S. Importância Farmacêutica de Fármacos Quirais. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 4, 2007.

PANASYS. Conhecimento básico do filme polarizador. Jun 29, 2018. Disponível em: <http://pt.panasyslcd.com/info/basic-knowledge-of-polarizing-film-31707954.html> acessado em 18/11/2020.

PELIZZARI, A.; KRIEGL M.; BARON M. P.; FINCK N. T. L.; DOROCINSKI S. I. Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel. **Revista PEC**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 37- 42 jul. 2001 – jul. 2002.

POZO, J. I. ; ECHEVERRÍA, M.D. P. P. Aprender a resolver problemas e resolver problemas para aprender. Porto Alegre: **Artes Médicas**, 1998.

RAUPP, D. J.; Del Pino, J. C. O desafio do ensino de estereoquímica no Ensino Médio e o papel da visualização. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindóia, São Paulo, 2013.

RAUPP, D. T; Del Pino, J. C. "Estereoquímica no Ensino Superior: historicidade e contextualização em livros didáticos de Química Orgânica." **Acta Scientiae** 17.1 (2015).

REGINALDO, C. G; SHEID, N. J; GÜLLICH, R. I. C. O Ensino De Ciências e a Experimentação. IX ANPED SUL- Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul. 2012. Disponível em:

<http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/anpedsul/9anpedsul/paper/viewFile/2782/286>. Acessado em 09/04/2021.

REZENDE, G. A. A. Ensino de estereoquímica: Construção e aplicação de um modelo em sala de aula. Tese (Doutorado em Educação em Química) Instituto de Química - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2016.

RIBEIRO, A. R.; COELHO, L.; BERTOLAMI, O.; ANDRÉ, R. Luz - História, Natureza e Aplicações. **Rev. Sociedade Portuguesa de Física**. V. 39. Nº 1/2, p. 6-12. 2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf>. Acessado em 10/10/2020.

RIBEIRO, L. P. D. Espectropolarimetria e Polarimetria baseada em cristas birrefringentes para as regiões espectrais do visível e infravermelho próximo. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química. Campinas, São Paulo, 2012.

ROCHA, J. S; VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de Aprendizagem no Ensino de Química: Algumas Reflexões. In: Encontro Nacional De Ensino De Química, 18., Florianópolis, SC, 2016. Anais [...], 2016. Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2020. Acessado em 10/11/2020.

ROGOSVISKI, R. F. Construção de Um Espectrofotômetro Como Metodologia Didática. 2014. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em licenciatura Plena em Matemática) Campus Universitário de Sinop, Departamento de Matemática - UNEMAT. Sinop, 2014.

RONCA, A. C. C. Teorias De Ensino: A Contribuição De David Ausubel. **Temas em Psicologia**, v. 2, n. 3, Ribeirão Preto. 1994. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/tp/v2n3/v2n3a09.pdf>. Acesso em 13 de maio 2020.

ROSA, C. A. P. A História da Ciência – O Pensamento Científico e a Ciência no século XIX. Vol. 2. 2ªedi Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília, 2012.

SED-2021 – disponível em :[https://blog.saseducacao.com.br/ensino-hibrido/?gclid=Cj0KCCQiA962BBhCzARIsAlpWEL2WLU7SFY0Qj4PK2iPD5YcKfnHNOG4bAwEXYCSH0L6jmDfnxcTTefgaAn4sEALw\\_wcB](https://blog.saseducacao.com.br/ensino-hibrido/?gclid=Cj0KCCQiA962BBhCzARIsAlpWEL2WLU7SFY0Qj4PK2iPD5YcKfnHNOG4bAwEXYCSH0L6jmDfnxcTTefgaAn4sEALw_wcB). acessado em 16/02/2021

SERAFIM, M.C. A Falácia da Dicotomia Teoria-Prática. Rev. **Espaço Acadêmico**, 7. Disponível em: [www.espacoacademico.com.br](http://www.espacoacademico.com.br), 2001. Acessado em 10/11/2020.

SILVA, E. L. Contextualização No Ensino De Química: Idéias E Proposições De Um Grupo De Professores. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências)- Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, L. H. A.; ZANON, L. B. A experimentação no ensino de ciências. In: SCHNETZLER, R. P. e ARAGÃO, R. M. R. (orgs.). Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, 2000.

SILVA, W.; CLARO, G. R.; MENDES, A. P. Aprendizagem significativa e Mapas Conceituais. XIII Congresso Nacional de Educação EDUCERE. 2017. Disponível em <https://docplayer.com.br/60810894-Aprendizagem-significativa-e-mapas-conceituais.html>. Acessado em 10/11/2020.

SOUZA, M. M. Construindo com materiais de baixo custo uma Anti-Luneta Polarizadora e o Sistema Solar, Tese (mestrado profissional em Física) Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2017.

SOUZA, R. A. Teoria da Aprendizagem Significativa e experimentação em sala de aula: integração teoria e prática. Dissertação (Programa de Pós- Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências (UFBA/UEFS) Salvador, Bahia, 2011.

SUART, R. D. C.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. **Ciências & Cognição**, v. 14, n. 1, p. 50-74, 2009.

SULZBACH, A. C.; LÜDKE, E. O Ensino de Isomeria Óptica por meio da utilização de um polarímetro didático. **Vivências (URI. ERECHIM)**, v. 13, p. 333-342, 2017.

UNESP. Mineralogia óptica –Polarização por dupla refração. [S.l.] [2015?]. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/mopoldupla.html> > Acesso em: 10 nov. 2020.

YUNES, Rosendo Augusto. Polarização Da Luz: Uma Proposta De Experiências Simples. Tradução de Elisa Colombo, Mirta Jaén. Instituto de Física Universidade Nacional de Tucumán Sain Miguel de Tucumán – Argentina. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 8, n. 1, abr. 1991. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/10016/9263>. Acesso em 15 fev. 2020.

## APÊNDICES

### Apêndice 1- Caderno de bordo de aula experimental

Titulo da aula: Atividade óptica de soluções

Estudante: \_\_\_\_\_.

<b>Procedimento experimental.</b>
-----------------------------------

Cada amostra deverá ser testada seguindo as recomendações mostradas na ordem em que aparecem abaixo. Para desvios à esquerda do ponto zero utilize o sinal de ( - ) e desvios à direita utilize o sinal ( + ) antes do valor do ângulo, conforme aparece no polarímetro.

1. Preencha o tubo 01 com **água da torneira** até a metade. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo cheio.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 01		

2. Preencha o tubo 02 até a **metade** com a solução de **SACAROSE 160g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo **cheio**.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 02		

3. Preencha o tubo 03 até a **metade** com a solução de **SACAROSE 310g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo **cheio**.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 03		

4. Preencha o tubo 04 até a metade com a solução de **FRUTOSE 150g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo cheio.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 04		

5. Preencha o tubo 05 até a metade com a solução de **FRUTOSE 300g/L**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo cheio.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 05		

- 6- Preencha o tubo 06 até a metade com a **solução Desconhecida**. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado abaixo. Repita a operação, só que agora, com o tubo cheio.

Experimento	Leitura com metade do volume	Leitura com tubo cheio
Tubo 06		

#### Sobre sua experiência com esta prática, preencha a pergunta:

1-Em poucas palavras comente, da maneira que achar mais adequada, sobre sua experiência em trazer um kit para realizar experimentos em casa. (Foi inovador, interessante contribuiu para o aprendizado?)

## Apêndice 2- Questionário de pré-teste

Questão 01. Você já ouviu falar em polarímetro anteriormente?

( ) Sim ( ) não

Questão 02. Em sua opinião, o uso do polarímetro experimental contribuiu para compreender melhor a atividade óptica, ou seja, o desvio da luz na isomeria óptica?

a.( ) Sim b.( ) não c.( ) não sei responder

Questão 03. Já ouviu falar em óculos com lentes polarizadas?

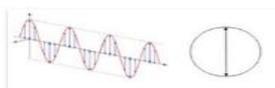
a.( ) Sim b( ) não

Questão 04. Você sabe para que servem as lentes polarizadas nos óculos?

( ) Sim ( ) não

Questão 05. A luz é classificada como uma onda eletromagnética transversal ao eixo de propagação, eixo "Z". Das figuras a seguir, uma corresponde a luz natural e outra a luz polarizada. Marque apenas a que você interpreta como luz polarizada.

a.( )



b.( )



não sei responder

Questão 06. Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de  $31^\circ$  para a direita que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levorotatória.

b.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

c. ( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levorotatória.

d. ( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

e. ( ) não sei responder.

Questão 07. Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de  $22^\circ$  para a esquerda que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a. ( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levorotatória.

b. ( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

c. ( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levorotatória.

d. ( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

e. ( ) não sei responder.

Questão 08. Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e não há desvio do ponto zero que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a. ( ) a substância possui atividade óptica.

b. ( ) a substância não possui atividade óptica.

Questão 09. Analise cuidadosamente cada fator citado a seguir e escolha apenas um ao qual você associaria os fenômenos de desvio óptico do plano da luz por parte das moléculas envolvidas nos experimentos.

a. Cor.

b. Tamanho das moléculas.

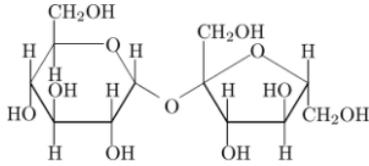
c. Presença de carbono quiral.

d. Presença de oxigênios.

e. Presença de hidrogênios.

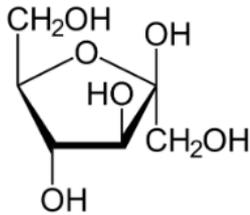
f. Suas solubilidades em água.

Questão 10. Observando a estrutura da sacarose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?



a.  Sim b.  Não c.  não sei responder.

Questão 11. Observando a estrutura da frutose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?



a.  Sim b.  Não c.  não sei responder.

Questão 12. O ângulo de desvio é uma propriedade específica da matéria como densidade, calor específico, PF e PE. Sendo assim este ângulo pode ser chamado de rotação específica. Baseando-se nos seus experimentos seria possível determinar a concentração de uma substância presente em uma solução sabendo o ângulo de desvio óptico de uma amostra de sacarose de concentração desconhecida?

não, pois considerando a mesma concentração molar pode haver vários tipos de moléculas com o mesmo desvio.

Sim, pois considerando a mesma concentração molar para diferentes moléculas, cada uma apresentará um desvio específico para cada molécula.

Questão 13. No experimento você pode perceber em algum momento se o caminho óptico que a luz percorre (quantidade de solução em função do comprimento do tubo) causa alguma interferência nas leituras do polarímetro?

Sim  Não  Não sei responder.

### Apêndice 3 - Questionário de pós-teste

Questão 01-Você já ouviu falar em polarímetro anteriormente?

( ) Sim ( ) não

Questão 02-Em sua opinião, o uso do polarímetro experimental contribuiu para compreender melhor a atividade óptica, ou seja, o desvio da luz na isomeria óptica?

a.( ) Sim b.( ) não c.( ) não sei responder

03-Já ouviu falar em óculos com lentes polarizadas?

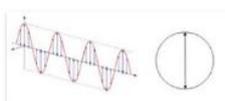
a.( ) Sim b( ) não

04-Você sabe para que servem as lentes polarizadas nos óculos?

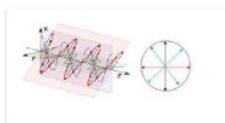
( ) Sim ( ) não

Questão 05-A luz é classificada como uma onda eletromagnética transversal ao eixo de propagação, eixo "Z". Das figuras a seguir, uma corresponde a luz natural e outra a luz polarizada. Marque apenas a que você interpreta como luz polarizada.

a.( )



b.( )



não sei responder

Questão 06-Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de  $31^\circ$  para a direita que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levorotatória.

b.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

c.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levorotatória.

d.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

e.( ) não sei responder.

Questão 07.Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e ocorre desvio do ponto zero de  $22^\circ$  para a esquerda que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo levógira ou levorotatória.

b.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

c.( ) trata-se de uma substância opticamente ativa do tipo levógira ou levorotatória.

d.( ) trata-se de uma substância opticamente inativa do tipo dextrógira ou dextro-rotatória.

e.( ) não sei responder.

Questão 08.Quando uma amostra desconhecida é analisada em um polarímetro e não há desvio do ponto zero que conclusão pode tirar sobre este composto diante da luz polarizada?

a.( ) a substância possui atividade óptica.

b.( ) a substância não possui atividade óptica.

Questão 09.Analise cuidadosamente cada fator citado a seguir e escolha apenas um ao qual você associaria os fenômenos de desvio óptico do plano da luz por parte das moléculas envolvidas nos experimentos.

a.Cor.

b.Tamanho das moléculas.

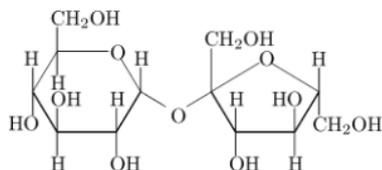
c.Presença de carbono quiral.

d.Presença de oxigênios.

e.Presença de hidrogênios.

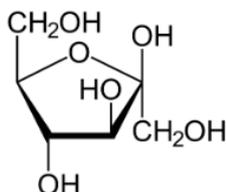
f.Suas solubilidades em água.

Questão 10. Observando a estrutura da sacarose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?



a.  Sim b.  Não c.  não sei responder.

Questão 11. Observando a estrutura da frutose é possível associar algum fator em sua fórmula estrutural com seu comportamento no polarímetro?



a.  Sim b.  Não c.  não sei responder.

Questão 12. O ângulo de desvio é uma propriedade específica da matéria como densidade, calor específico, PF e PE. Sendo assim este ângulo pode ser chamado de rotação específica. Baseando-se nos seus experimentos seria possível determinar a concentração de uma substância presente em uma solução sabendo o ângulo de desvio óptico de uma amostra de sacarose de concentração desconhecida?

não, pois considerando a mesma concentração molar pode haver vários tipos de moléculas com o mesmo desvio.

Sim, pois considerando a mesma concentração molar para diferentes moléculas, cada uma apresentará um desvio específico para cada molécula.

Questão 13. No experimento você pode perceber em algum momento se o caminho óptico que a luz percorre (quantidade de solução em função do comprimento do tubo) causa alguma interferência nas leituras do polarímetro?

Sim  Não  não sei responder.

#### **Apêndice 4 - Itens avaliados em cada questão.**

##### Questão Q1

A primeira questão tem o objetivo de avaliar se os estudantes ouviram falar em polarímetro em algum momento na aula. No que se refere ao pré-teste, é uma pergunta que pode revelar como o assunto foi abordado anteriormente. E em relação ao questionário final pode indicar como foi a condução didática, se compreenderam que o equipamento utilizado para a execução das tarefas se tratava de um tipo de polarímetro.

##### Questão Q2

Nesta questão foi avaliada a contribuição do polarímetro experimental na compreensão da atividade óptica na visão do estudante.

##### Questão Q3 e Q4

Estas questões tiveram como objetivo contextualizar o tema ao cotidiano do estudante buscando elementos que pudessem fazer a articulação com a teoria ao tratar da função da lente polarizada nos óculos.

##### Questão Q5

Esta questão avalia se o estudante compreende que a luz é uma onda, como ela se propaga no espaço transversalmente ao eixo, bem como a diferença entre a polarização e a não polarização.

##### Questão Q6 e Q7

Estas questões avaliam a percepção da atividade óptica no polarímetro durante o experimento. Trata da classificação do isômero analisado em dextrógiro ou levógiro em função da leitura no equipamento.

##### Questão Q8

Nesta questão, de forma semelhante as Q6 e Q7, avaliam a percepção da atividade óptica no polarímetro durante o experimento. Nesta questão o estudante é levado a pensar sobre a ausência da atividade óptica em uma amostra desconhecida.

### Questão Q-09

Esta questão investiga se há conhecimento sobre a relação entre atividade óptica e estrutura das moléculas:

### Questão Q-10 e Q-11

A partir do comportamento das soluções de sacarose verificada por meio do polarímetro, esta questão, semelhante Q-09 investiga a relação entre o desvio da luz polarizada causada pela solução com algum fator associado a sua estrutura molecular.

### Questão Q-12

Esta questão investiga se o estudante, apenas com o roteiro experimental, seria capaz de perceber se há alguma relação existente entre o desvio óptico e sua concentração molar, podendo servir como método de identificação e determinação de pureza.

### Questão 13

Esta questão investiga se o estudante é capaz de relacionar o caminho óptico, distância que a luz percorre na amostra, com o ângulo de desvio obtido na leitura do polarímetro quando se usa diferentes volumes de solução.

## **Apêndice 5 - Links para os vídeos sobre o produto desenvolvido.**

Acesse os links abaixo para analisar o produto desenvolvido e seu funcionamento em uma atividade experimental.

### 1. Polarímetro

<https://youtu.be/x9jYyZMHnwY>

### 2. Utilização do polarímetro.

<https://youtu.be/l8jtvPbxTT4>

**Apêndice 6 – Produto Educacional.**

O Produto educacional será apresentado na sequência.

2021

Atividade Óptica e Quiralidade para  
o Ensino Médio



Silvio Mendes Mazarin  
PROFQUI – UFRJ/ INQUI-UFMS  
16/09/2021

# Ficha técnica

Mestrando Silvio Mendes Mazarin

Orientador: Prof. Dr. Walmir Silva Garcez

Coorientadora: Prof. Dra. Luzinátia Ramos Soares

# Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>5</b>
<b>Unidade 1 .....</b>	<b>6</b>
<b>A atividade óptica e a quiralidade .....</b>	<b>6</b>
<b>O Polarímetro experimental .....</b>	<b>41</b>
<b>Unidade 2 .....</b>	<b>41</b>
1.0 Descrição detalhada do polarímetro experimental .....	42
2. Manual de construção e montagem .....	43
3. Planta com plano de corte do MDF:.....	47
<b>Protótipo desenvolvido .....</b>	<b>57</b>
O Polarímetro .....	57
Roteiro de aula prática .....	58
<b>3. UM BREVE HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ .....</b>	<b>61</b>
<b>Unidade 3 .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1 A luz e o fenômeno ondulatório .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2 Luz Comum.....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 A Polarização Da Luz.....</b>	<b>66</b>
<b>3.4 Polarizadores.....</b>	<b>68</b>
<b>3.5 Tipos De Polarização .....</b>	<b>69</b>
<b>3.5.1 Polarização por dupla refração.....</b>	<b>69</b>
<b>3.5.2 Polarização por reflexão.....</b>	<b>71</b>
<b>3.5.3 Polarização por absorção seletiva. ....</b>	<b>72</b>
<b>3.6 Atividade Óptica.....</b>	<b>75</b>
<b>3.7 Polarimetria .....</b>	<b>75</b>

<b>3.8 Polarímetro .....</b>	<b>76</b>
<b>3.9 A lei de Biot e a rotação específica .....</b>	<b>79</b>
<b>3.9.1 Exemplo aplicação da Lei de Biot .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>

## Apresentação

Este documento digital é um produto educacional que faz parte da pesquisa intitulada **Polarímetro de Baixo Custo: Uma proposta para o ensino significativo de atividade óptica e isomeria óptica no Ensino Médio**, desenvolvida no Mestrado Profissional em Química – PROFQUI do Instituto de Química da UFMS.

O conteúdo deste documento digital foi elaborado conforme foram surgindo os resultados da pesquisa que tem o polarímetro como objeto investigativo. Temos a intenção de que este conteúdo educacional possa servir como material de apoio aos estudantes e professores que desejam utilizar novos recursos e estratégias experimentais contextualizadas para o ensino de Química no ambiente de sala de aula das escolas públicas.

## **Unidade 1**

### **A atividade óptica e a quiralidade**

## 1. O que é quiralidade? Qual sua importância?

As biomoléculas e muitos dos medicamentos são quirais. Para compreender suas propriedades é necessário conhecer esse conceito.

A quiralidade está relacionada aos conceitos de simetria e assimetria aplicados à química.

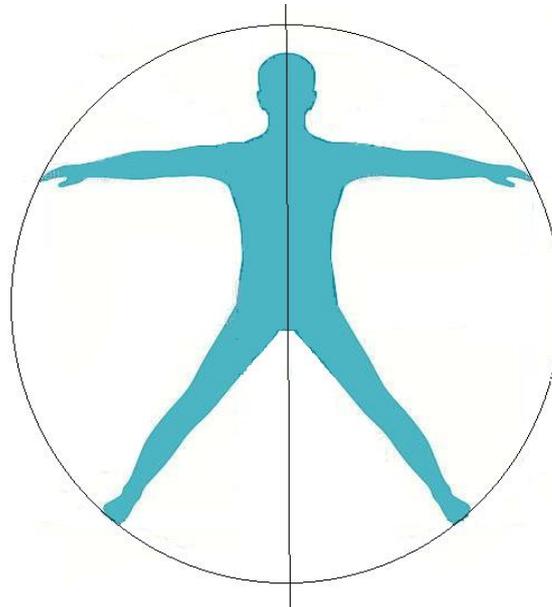
### Simetria e assimetria?

Simetria é um conceito visto no Ensino Médio no campo da Biologia, no entanto é um conceito que passa por várias áreas, como matemática, artes, biologia e arquitetura.

O plano de simetria é definido por uma reta real ou imaginária que passa pelo centro de um corpo, desenho ou objeto, dividindo-o em duas partes iguais.

O termo simetria vem do grego: *syn* que significa reunião, junto, e *metron*: significa medida ou que tem a mesma medida.

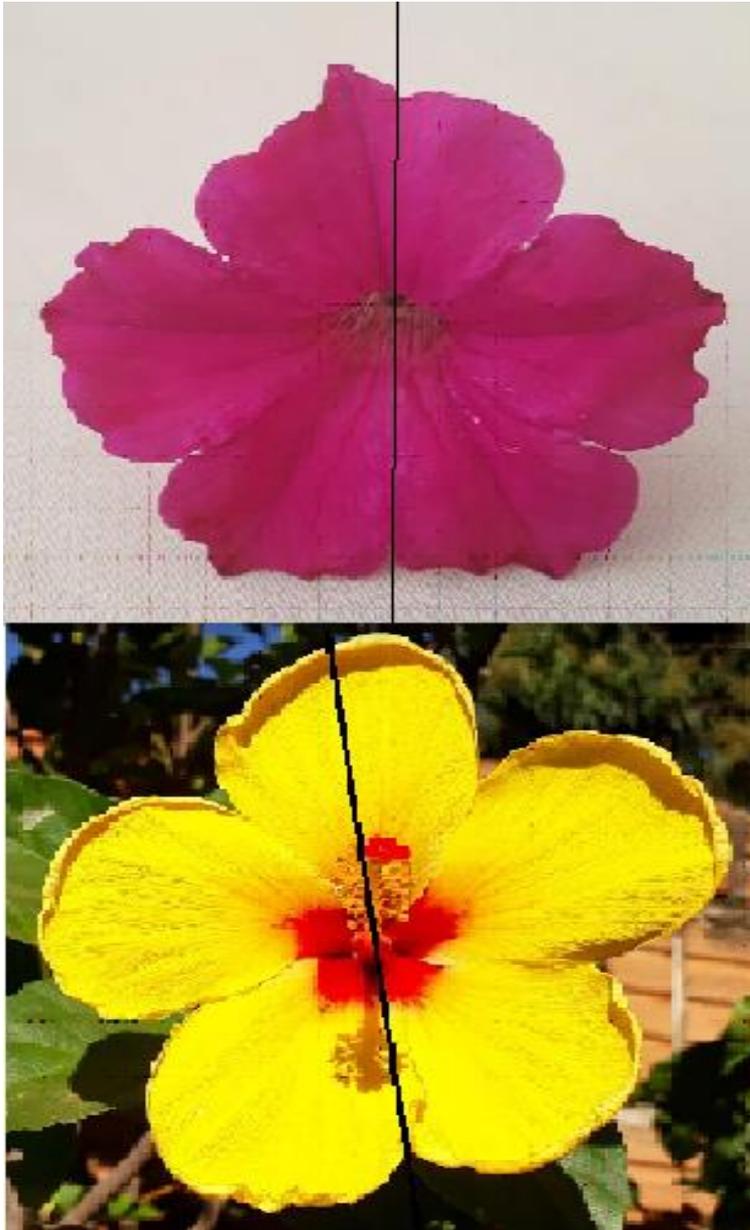
Figura 01. Plano De Simetria Do Corpo Humano



Fonte: o autor

## 2. Você já observou que na natureza há objetos ou corpos simétricos e assimétricos?

Figura 02. Planos de simetria na natureza.



Fonte: o autor

Se o objeto apresenta plano de simetria ele é chamado de simétrico. Observe o plano que divide as imagens das flores.

## *Alguns objetos, imagens e figuras também possuem plano de simetria*

Figura 03. Simetria nos objetos\*

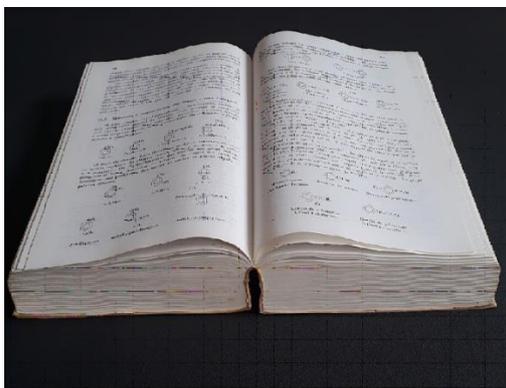
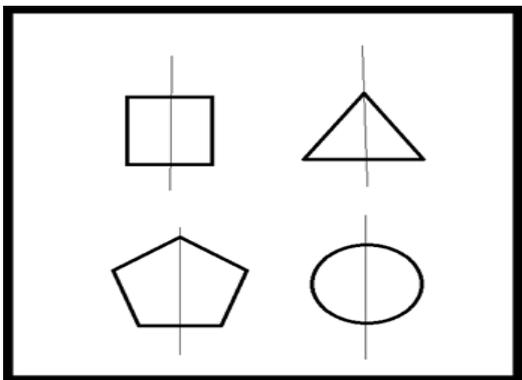


Figura 04. Simetria na natureza\*



Figura 05. Simetria nas figuras\*



\* Fonte: figuras elaboradas pelo autor

*O livro pode ser dividido em duas partes iguais*

*O reflexo da imagem na água traz elementos de simetria*

*Figuras geométricas podem ser simetricamente divididas*

*Por outro lado, se não possui plano de simetria é chamado assimétrico.*

Figura 06. Assimetria nos objetos.\*



*Uma xícara não pode ser dividida ao meio em duas partes iguais nesta perspectiva*

Figura 07. Assimetria na natureza.\*



*Uma árvore não apresenta elementos de simetria ao ser dividida em duas partes iguais*

\*Fonte: figuras elaboradas pelo autor

### 3- O conceito de simetria e assimetria é parte integrante da química no campo da isomeria espacial

As estruturas químicas podem ser simétricas ou assimétricas.

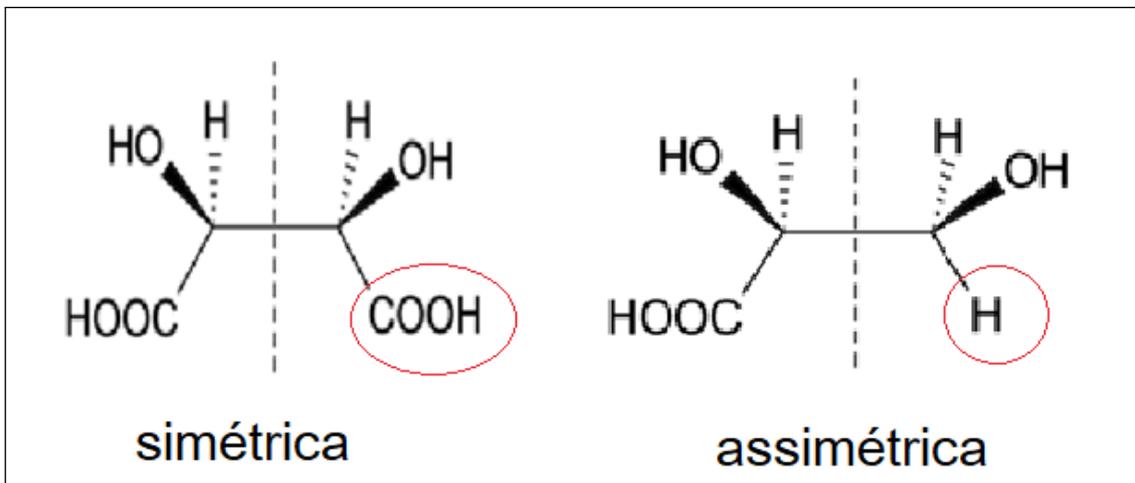
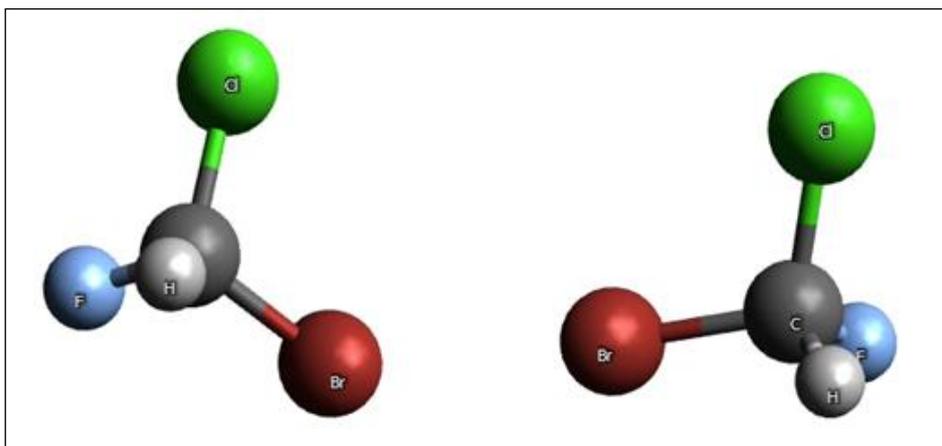


Figura 08. Simetria e assimetria nas moléculas.  
Fonte: Elaborada pelo autor

Na maioria dos casos, átomos de uma estrutura química têm um arranjo espacial. Isso significa que os átomos de uma estrutura química não estão contidos num plano, salvo estruturas simples.



*Os átomos  
não estão  
organizados  
em um plano  
definido*

Figura 09. Organização espacial de duas moléculas  
Fonte: Elaborada pelo autor

## Simetria das estruturas

Quando uma estrutura química não tem um plano de simetria diz-se que ela é **quiral** (assimétrica).

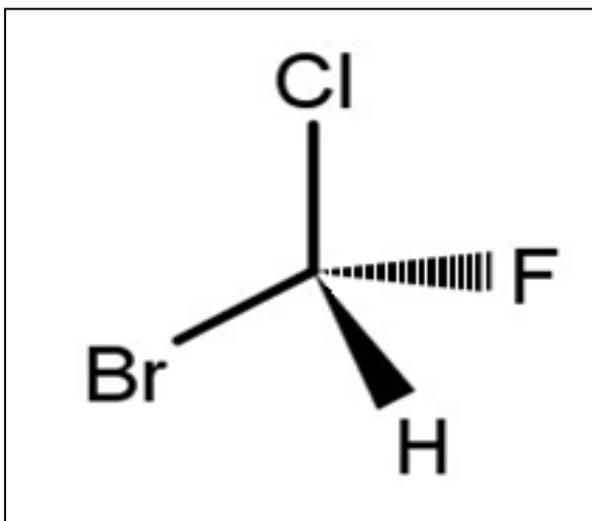


Figura 10. Fórmula espacial assimétrica ou quiral  
Fonte: Elaborada pelo autor

Se tem plano de simetria é **aquiral** (simétrica).

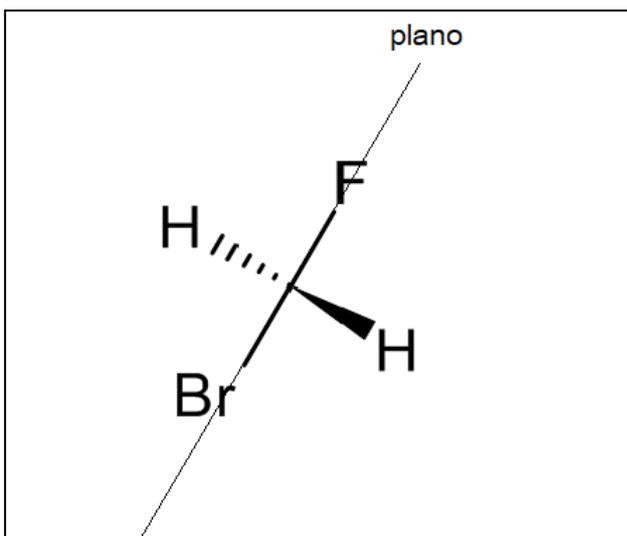
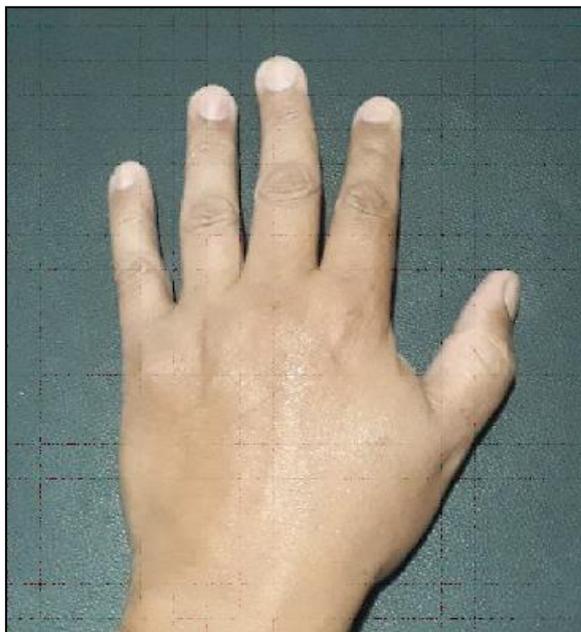


Figura 11. Fórmula espacial simétrica ou aquiral.  
Fonte: Elaborada pelo autor

*Simetria ou  
assimetria das  
estruturas  
químicas  
compões um  
campo da  
química  
chamado de  
estereoquímica  
- do grego  
stéreas -  
tridimensional,  
espacial*

## Assimetria das mãos

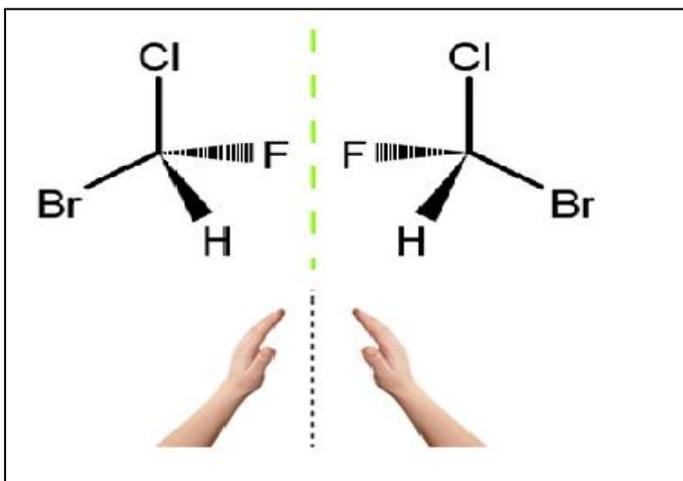
A mão é assimétrica. Ela não tem um plano de simetria.



Quiral vem do grego *chéri* (χέρι- pronuncia-se quéri), que significa mão

Figura12. Imagem de uma mão  
Fonte: Elaborada pelo autor.

Toda estrutura química que se assemelha a mão, ou seja, que não tem plano de simetria é chamada de quiral.



Quiral – não tem plano de simetria  
Aquiral – possui plano de simetria

Figura13. Relação das estruturas com a mão.  
Fonte: Elaborada pelo autor

## Como surgiu o conhecimento da quiralidade?

Esse conhecimento se iniciou com o estudo da luz e foi na interação da luz com a matéria que tudo começou.

A primeira experiência que chamou a atenção para os fenômenos de interatividade entre luz e a matéria foi a observação de um fenômeno chamado de birrefringência ou dupla refração, em 1699.

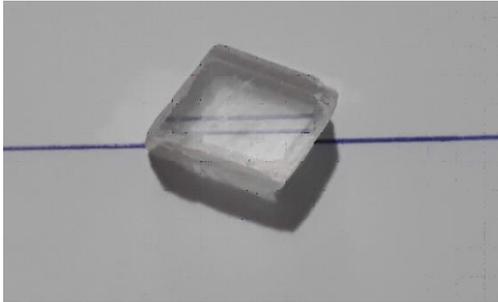


Figura 14. Cristal de calcita – espató da Islândia.  
Fonte: elaborada pelo autor.

O estudo desse fenômeno resultou numa propriedade física conhecida como rotação óptica ou atividade óptica.

## 4.0 - O estudo da Luz e a Atividade Óptica

Para melhor compreender os aspectos que envolvem uma aula sobre atividade óptica em soluções aquosas se faz necessário lançar mão de alguns conceitos iniciais. Levando em consideração que o estudo da atividade óptica está relacionado às características da luz, então vamos começar por ela.

**MAS, O QUE É A LUZ?**



## A luz

Olhe ao seu redor e veja a luz. Não dá pra explicar o que é a luz apenas olhando para ela. A Ciência explica caracterizando suas propriedades.

A luz é uma onda eletromagnética, que se propaga na forma de onda, figura 15.

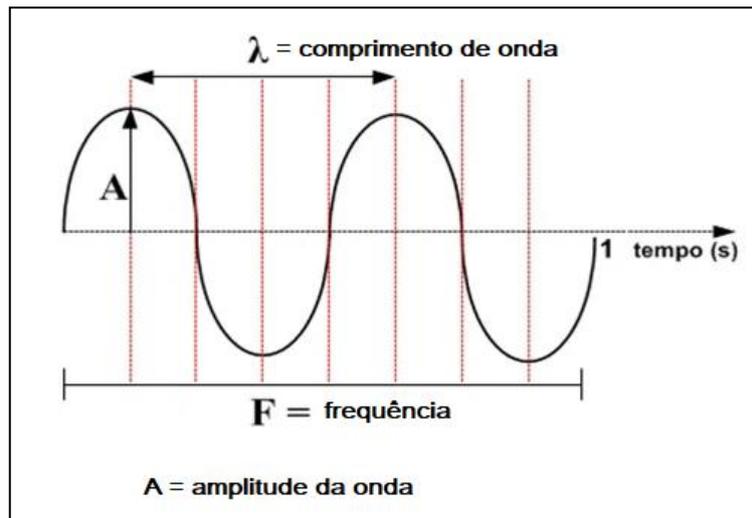


Figura 15: Caracterização de uma onda.

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo uma onda, a luz é caracterizada pela frequência ( $F$ ) e comprimento de onda ( $\lambda$ ). A luz que vemos é a faixa do visível e tem comprimento de onda entre 400 e 800nm (nm = nanômetros =  $10^{-9}$  metros). A luz branca é composta por ondas eletromagnéticas contendo toda esta faixa de comprimento de onda. A radiação na faixa de 500 e 565 nm tem a cor verde, por exemplo. Então isso é a luz: uma onda eletromagnética.

## O que é uma radiação eletromagnética?

### Como se chegou a essa descoberta?

Por volta de 1801, Thomas Young, realizou um dos mais importantes experimentos para a teoria ondulatória. Para seus estudos utilizou três anteparos como mostra a figura 16.

No primeiro, havia um único orifício em que ocorria a primeira difração da luz originada em uma fonte monocromática. Esta luz ao atravessar o orifício fazia a luz atingir os orifícios do segundo anteparo em fase, transformando-os em “fontes” coerentes, já que pertenciam a uma mesma fonte original de onda. No segundo anteparo havia dois orifícios colocados lado a lado, nos quais aconteciam novas difrações com a luz já difratada no primeiro orifício e estas eram projetadas no terceiro anteparo de observação.

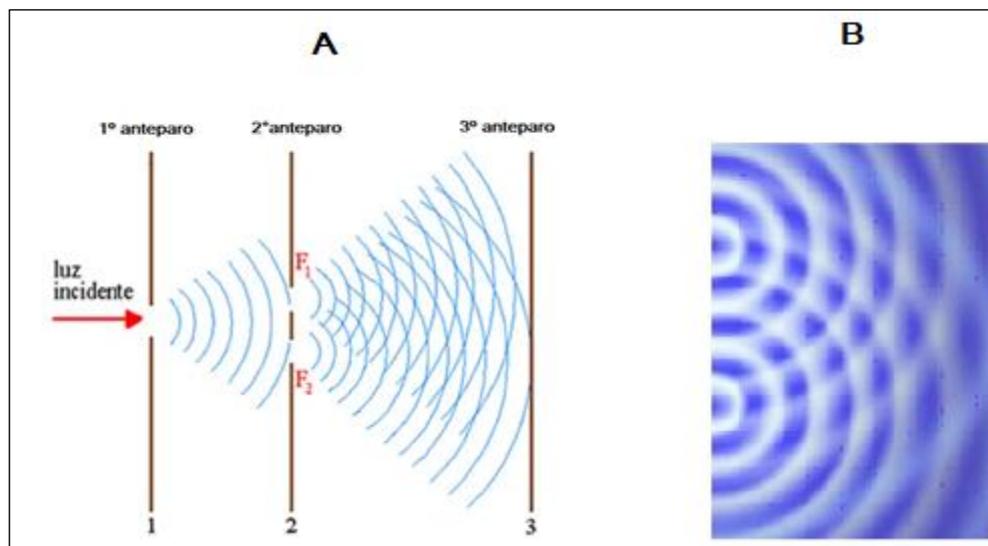


Figura 16: O experimento de Thomas Young

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>

O resultado foi a projeção de manchas de interferências e podiam ser observados máximos (regiões mais claras) e mínimos (regiões menos claras) de intensidade. Os anteparos com orifícios foram substituídos por anteparos com fendas finíssimas e essas manchas tornavam-se franjas de interferência, que eram mais bem visualizadas, figura 17.

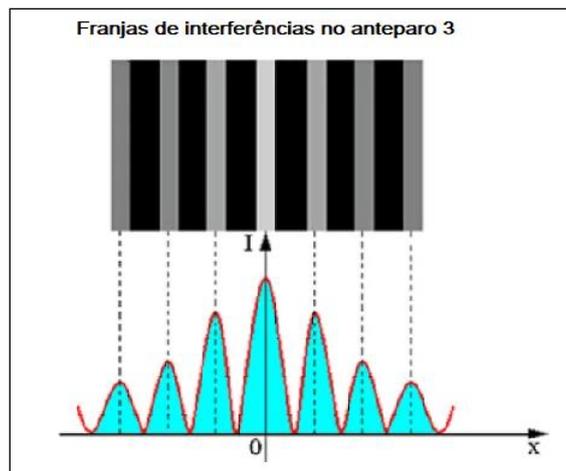


Figura 17: Franjas obtidas pelo experimento da dupla fenda.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>

Os experimentos de dupla fenda de Thomas Young, em 1801, mostrando a interferência construtiva (mesma fase - fendas claras) e interferências destrutiva (fora de fase - fendas escuras) de raios luminosos. Demonstram a natureza ondulatória da luz. Essa interpretação de natureza ondulatória da luz foi proposta pelo holandês Christian Huygens, em 1690, na mesma década em que foi descoberto ouro em Minas Gerais.

Esse conhecimento da natureza ondulatória da luz se consolidou em oposição à teoria corpuscular de Isaac Newton.

O francês Augustin Fresnel, que morreu de tuberculose aos 38 anos, deu uma fundamentação matemática à natureza ondulatória da luz, permitindo explicar diversos fenômenos, como a difração e a luz polarizada.

Segundo Fresnel a luz é uma radiação transversal. O que significa isto? Uma onda luminosa é como uma carga elétrica descrevendo um movimento oscilante, senoidal. A essa onda elétrica está associada um campo elétrico e, conseqüentemente, um campo magnético também. (isto está relacionado a uma lei do eletromagnetismo: a toda corrente elétrica está associada a um campo magnético).

Uma onda luminosa se propaga linearmente numa determinada direção. Considerando os eixos de um plano cartesiano e que a luz se propaga ao longo do eixo  $x$ , o campo elétrico oscila no plano  $xy$ , portanto os componentes da onda luminosa se propagam transversalmente (perpendicularmente) à direção de propagação.

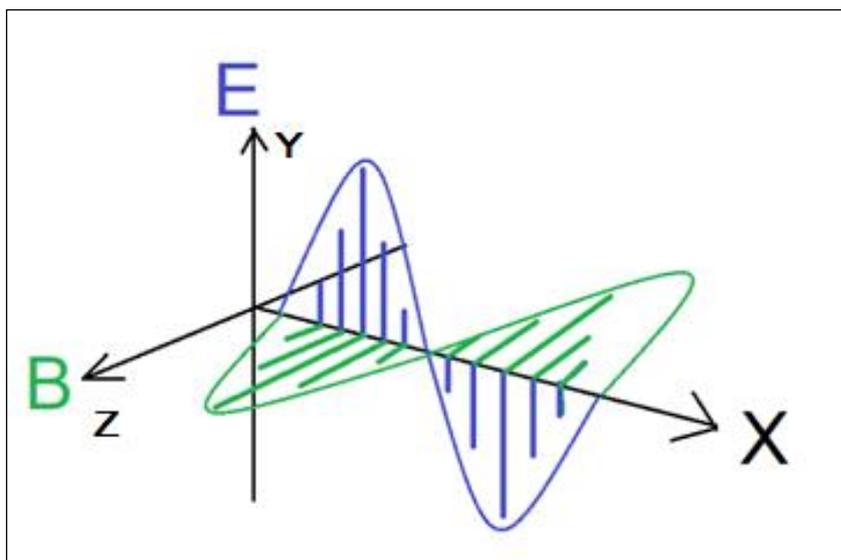


Figura 18. Planos de oscilação da luz.  
Fonte: elaborada pelo autor.



O plano de oscilação de **B** corresponde a onda magnética e o plano de oscilação de **E** corresponde a onda elétrica. O X é o eixo de propagação da onda. Este comportamento exibido pela luz foi demonstrado por Young e Fresnel em seus trabalhos individualmente, realizados na mesma época e em diferentes laboratórios, deixou claro que os estudos formulados por Isaac Newton sobre a teoria corpuscular da luz estavam equivocados. Newton considerava a luz como um feixe de matéria, que viaja em linha reta, composta por partículas.



## Óculos com lentes polarizadas?

Historicamente, a descoberta da polarização da luz foi feita mediante a interação com cristais de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), que se baseia na transmissão de radiação vibrando em determinados planos.

Porém há vários métodos de polarização, incluindo filmes polarizadores. Estes foram incorporados à vida cotidiana através dos óculos com lentes “polarizadas”.



Figura 19: Óculos de lentes polarizadoras revelando o contorno das nuvens.  
Fonte: elaborada pelo autor

Observe as imagens abaixo:



Figura 20: Óculos de lentes polarizadoras revelando o contorno das nuvens.  
Fonte: elaborado pelo autor

## Como funciona a lente polarizada?

Observe atentamente a figura abaixo:

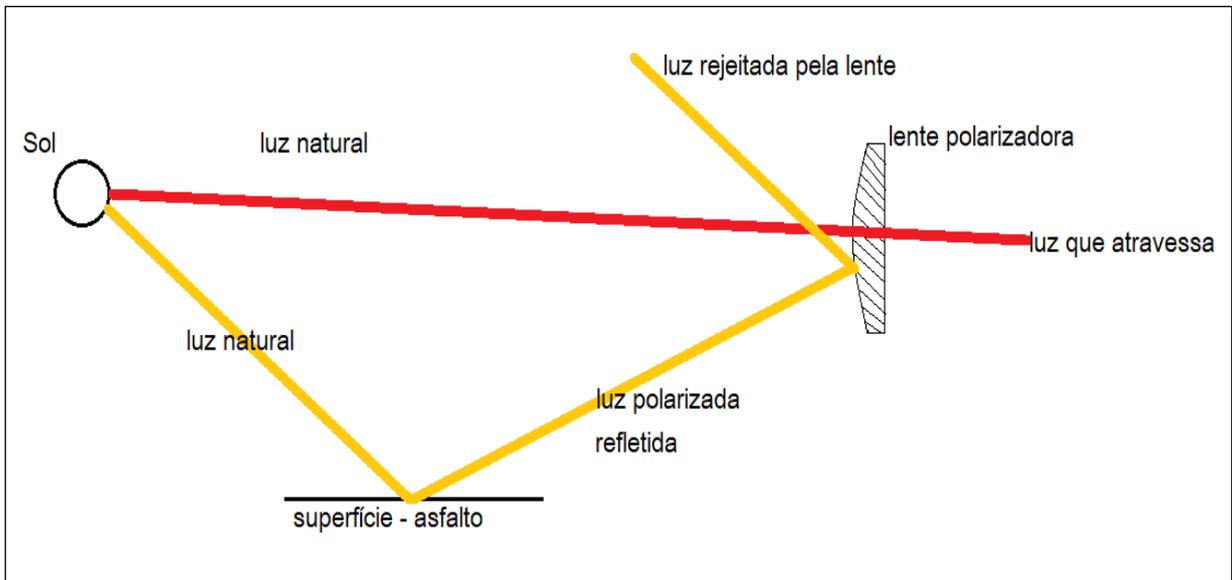


Figura 21.  
Fonte: elaborada pelo autor

A Luz natural que viaja diretamente da fonte (Sol) até os olhos passa pelas lentes dos óculos normalmente sem ser barrada, mas a luz que incomoda e atrapalha muito a visão é aquela que incide na superfície do asfalto sendo refletida de baixo. Esta luz refletida, de acordo com o ângulo de incidência, passa por um processo de polarização durante a reflexão onde algumas de suas componentes perpendiculares às superfícies são absorvidas e ao atingirem as lentes, estas são barradas em intensidade proporcional a seu grau de polarização.

A luz comum, sendo monocromática ou não, não é polarizada. Isso significa que o plano do vetor campo elétrico é sempre perpendicular à direção de propagação da luz, porém é aleatoriamente polarizada. O plano de polarização muda aleatoriamente. Portanto, num conjunto de ondas luminosas teremos todas as orientações possíveis. Figura 22 (I) e (II)

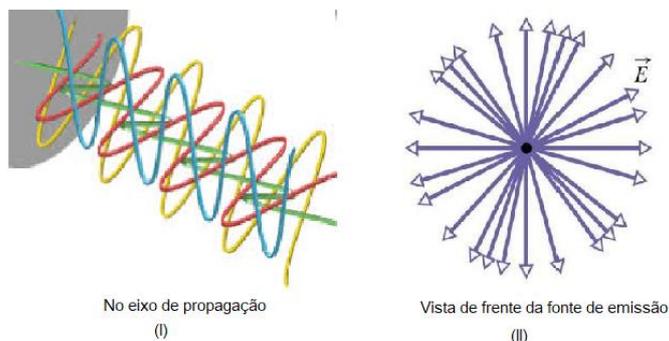


Figura 22. Oscilação da luz natural.  
Fonte: Figura elaborada pelo autor

Quando sofre um processo de polarização, atravessam o meio apenas ondas cujo vetor campo elétrico se propagam num único plano.

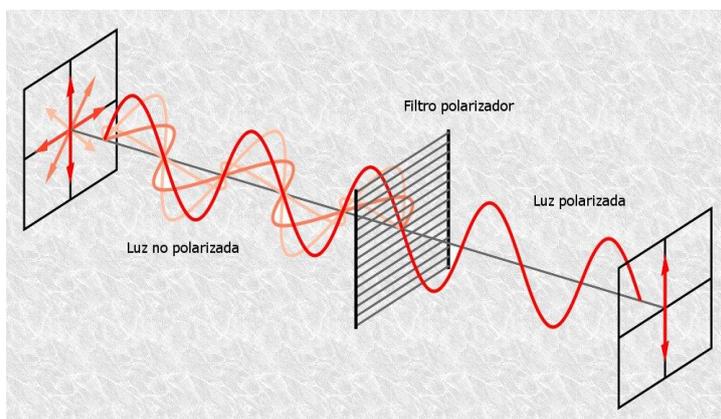


Figura 23. Polarização da luz.  
Fonte: Porto (2012) Imagem Licenciada:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LuzPolarizada.jpg>

Em 1669 Erasmus Bartholini publica os resultados de seus estudos no livro “Experiências de duplicação com cristais da Islândia”.

Além de Erasmus Bartolini, em 1678, outros, como Christiaan Huygens (1629 — 1695), se dedicaram ao estudo do fenômeno propondo até que poderiam ser perfeitamente explicados caso a luz fosse interpretada como uma onda propagante, pois, naquela época, predominava o conceito de Isaac Newton, em que a luz era considerada de natureza corpuscular.

Praticamente cem anos depois, 1808, Etienne Malus, retoma os estudos sobre a dupla refração da luz no espato da Islândia e com o auxílio dos resultados das pesquisas de Fresnell e Young, sobre a natureza ondulatória da luz, consegue explicar o fenômeno da birrefringência em termos de polarização de ondas transversais e assim, marca o início de uma era nas pesquisas com a demonstração da aplicação da lei de Malus.

*Você já se perguntou desde quando os fenômenos da interação da luz com a matéria são estudados?*

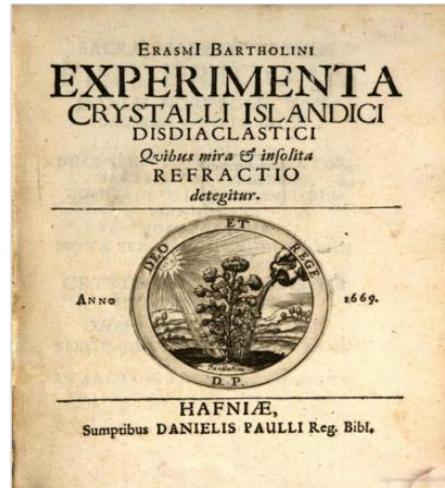


Figura 24. Capa do livro de Erasmus Bartholini.

Fonte:

<https://books.google.com.br/books/content?id=F7RAAAAACAAJ&printsec=frontcover&img=1&zoom=1&h=160&stbn=1>

Bartolini observa que havia a duplicação da imagem vista através do cristal.

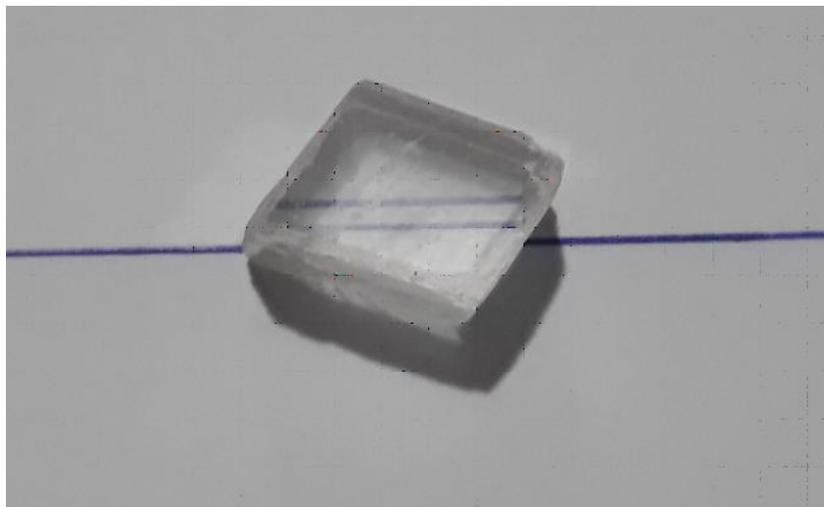


Figura 25. A birrefração causada pelo cristal de calcita.

Fonte: elaborado pelo autor.

## A lei de Malus e a polarização da luz

Segundo Malus, um feixe de luz ao passar pelo cristal de calcita, espato da Islândia, é dividido em dois feixes.

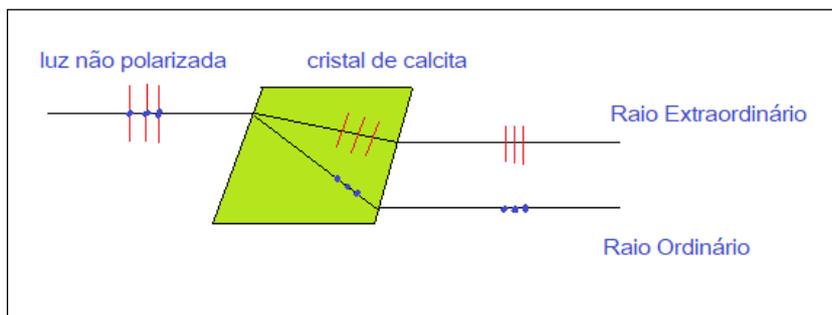


Figura 26. Esquema da birrefração.

Fonte: elaborado pelo autor

Ao atravessar o cristal ocorre a polarização dividindo o raio em dois. O raio Extraordinário tem polarização perpendicular ao raio Ordinário.

O termo “polarização” foi dado por Malus porque ele acreditava que um raio correspondia ao pólo positivo e o outro a um pólo negativo. Lembrando que no início do século XIX estava começando o domínio sobre a eletricidade com o surgimento da pilha de volta.

A equação que descreve o comportamento de um raio luminoso que é polarizado ao atravessar um cristal de espato da Islândia ao ser recebido pelo segundo cristal analisador, foi denominada como a expressão da lei de Malus.

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

O fenômeno da birrefringência foi cientificamente explicado pelo francês Étienne Malus em 1808, ano em que a família real veio para o Brasil. Malus observava o comportamento da luz que atravessava um cristal de minério de calcita e era recebido por outro cristal do mesmo mineral. Ao ser girado em alguma direção a luz transmitida pelo segundo cristal sofria variações de intensidade até desaparecer. Propôs uma teoria para descrever o comportamento da luz na calcita em termos de polarização da luz. Enunciou uma lei fundamentada matematicamente para explicar o fenômeno em termos de polarização que ficou conhecida como lei de Malus.

# Tratamento matemático para o fenômeno observado

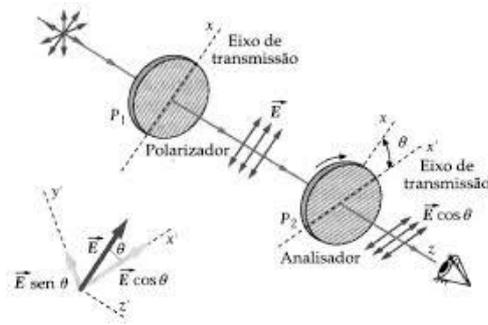


Figura 27. Projeção entre o plano da luz polarizada e o plano do analisador.

Fonte: elaborado pelo autor.

A intensidade do feixe de luz polarizada transmitida pelo cristal analisador é proporcional ao quadrado do cosseno do ângulo formado entre o plano de polarização da luz com o plano de polarização desse cristal.

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

Tal fenômeno só se explicaria admitindo-se a luz como sendo uma onda transversal.

O tratamento matemático dado por Malus pode ser interpretado observando os gráficos da figura abaixo:

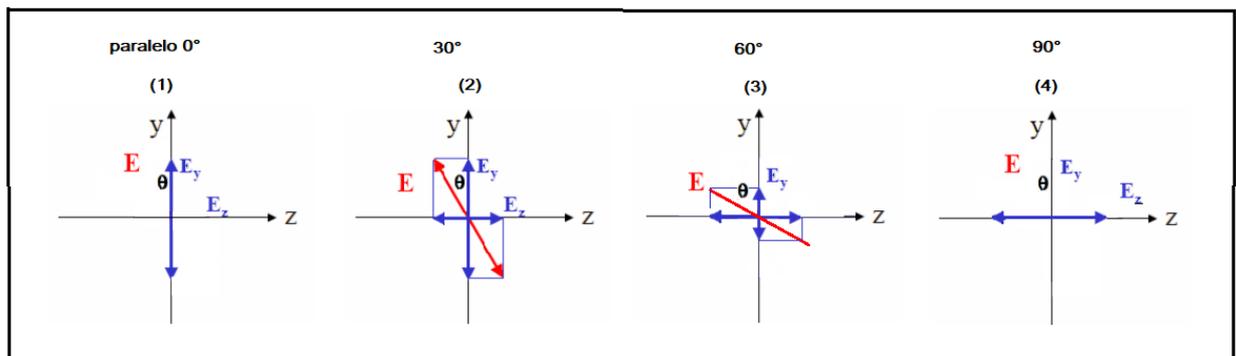


Figura 28. Projeções ortogonais.  
Fonte: elaborada pelo autor.

## *Interpretando a equação sugerida por Etienne Malus.*

Na figura 28,  $E_y$  corresponde ao valor da projeção do cosseno do ângulo  $\theta$  formado por  $E$  no eixo  $y$ , então:

$$E_y = E \cos \theta$$

$$\text{como: } I \propto E^2$$

então:

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

Quando o plano da luz polarizada é paralelo ao plano do cristal analisador, ou seja, fazem um ângulo de  $0^\circ$ , a luz transmitida é igual à luz que foi incidida ( $I = I_0$ ), pois o cosseno quadrado de zero vale um. À medida que o cristal analisador vai se movendo aumentando o ângulo  $\theta$ , conforme mostra a figura 28 nos desenhos 1, 2, 3 e 4 respectivamente, o valor do cosseno quadrado vai diminuindo até chegar ao seu valor mínimo com  $90^\circ$ , pois  $\cos^2 90^\circ$  vale zero. Então a intensidade da luz transmitida vale zero,  $I = 0$ . Isto significa que ao aumentar o ângulo  $\theta$  haverá a diminuição da intensidade da luz até atingir o valor mínimo de intensidade, pois toda a luz polarizada incidente será absorvida no analisador.

## Os estudos de Jean Baptiste Biot e a atividade óptica

Com base nos trabalhos de Etienne Malus, por volta de 1812, Jean Baptiste Biot iniciou seus estudos sobre o comportamento da luz polarizada ao atravessar cristais de quartzo.

Atribuiu o termo “atividade óptica” à maneira com que a luz polarizada interage com os diferentes tipos de matéria.

Observou a relação entre a espessura dos cristais e os ângulos de desvios do plano da luz polarizada. Quanto maior o caminho óptico ( $c$ ) percorrido no cristal, maior seria o ângulo desviado ( $\alpha$ ).

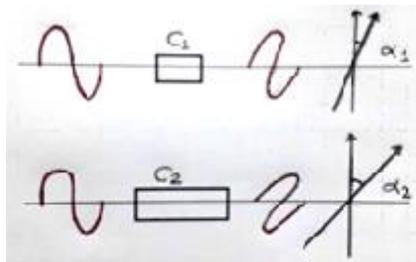


Figura 29: relação entre comprimento da amostra e desvio óptico.

Fonte: elaborada pelo autor.

Dependendo do cristal, o desvio poderia ser para a esquerda ao qual chamou de LEVÓGIRO ou para a direita ao qual chamou de DEXTRÓGIRO.

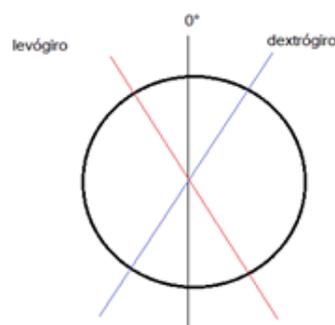


Figura 30: Desvios do plano original da luz polarizada ao atravessar uma amostra.

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir dessa observação Biot imagina se substâncias orgânicas líquidas ou em solução poderiam também desviar o plano da luz polarizada.

## Biot e a invenção do primeiro polarímetro

Para estudar melhor o fenômeno da atividade óptica, desenvolveu um aparelho que batizou inicialmente de polariscópio e logo mais deu o nome de polarímetro.

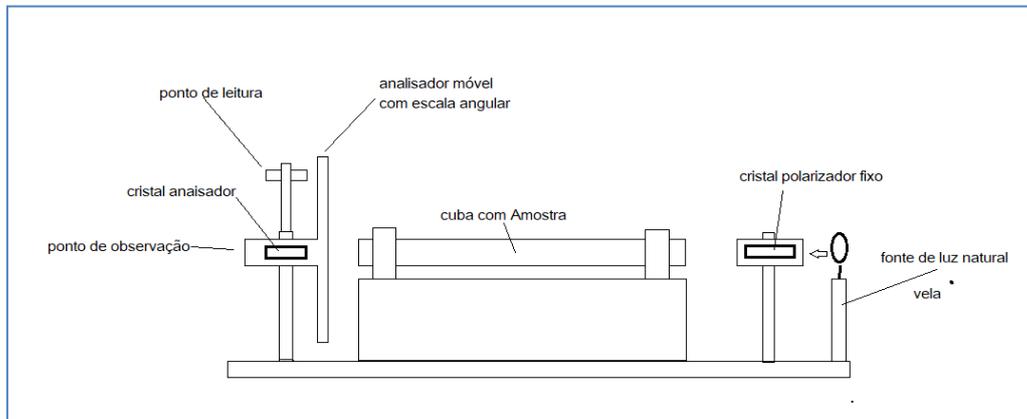


Figura 31: Esquema do polarímetro de Biot.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Biot percebeu que a atividade óptica não era exclusividade do arranjo cristalino dos cristais. Foi notada também em líquidos puros e soluções de alguns açúcares e ácido tartárico. Desta maneira, concluiu que a atividade óptica poderia estar intimamente relacionada com a estrutura molecular das substâncias.

Em 1842 Ventzke introduz um prisma de Nicol, que isolava um dos feixes de luz polarizada produzido pela calcita. Mitscherlich introduz o uso de luz monocromática amarela, ou seja, de uma faixa de frequência mais restrita em torno de 580nm.

Outra constatação foi que o ângulo de desvio da luz era proporcional à concentração molar das amostras sendo uma propriedade específica da matéria como Ponto de Ebulição, Ponto de Fusão e densidade.

Com base na relação entre a concentração e a atividade óptica específica criou o primeiro polarímetro especializado para medir o percentual em massa de sacarose no açúcar.

## Lois Pasteur e a isomeria óptica

Pasteur foi aluno de Biot e recebeu incentivo para dar continuidade ao estudo do comportamento da luz polarizada ao atravessar alguns materiais. Seus estudos iniciaram com sais de ácido tartárico, por serem de fácil obtenção em altos graus de pureza.

Observando atentamente com lupas, Pasteur percebeu que os cristais formados pelos sais de ácido tartárico produzidos pelas uvas eram idênticos entre si e apresentavam atividade óptica dextrorrotatória.

Cristais idênticos

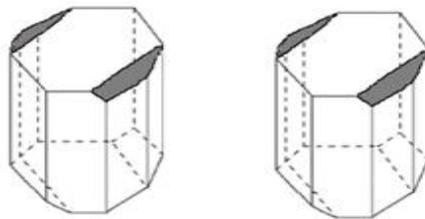


Figura 32. Cristais idênticos originados de ácido tartárico  
Fonte: elaborado pelo autor.

Os originados do ácido racêmico, obtidos após a fermentação da uva, eram de dois tipos idênticos um ao outro, mas como imagens no espelho.

semelhantes à imagens no espelho

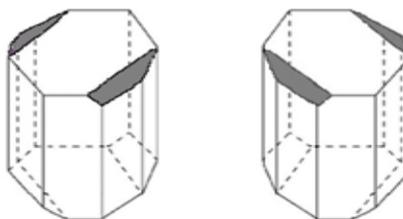


Figura 33. Cristais que são imagens especulares.  
Fonte: elaborado pelo autor.

## *Lois Pasteur e suas observações*

Com o auxílio de uma lupa e de uma pinça separou-os cuidadosamente.

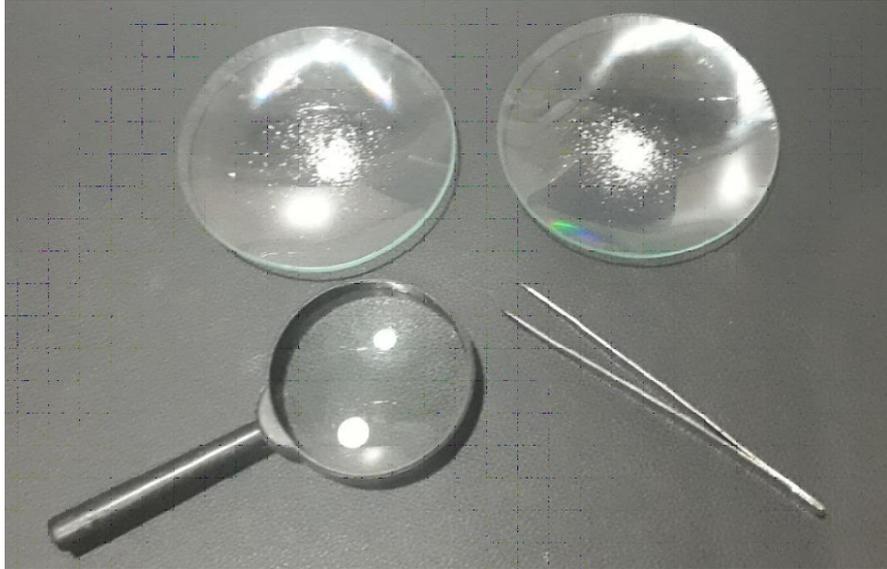


Figura 34: separação dos cristais.  
Fonte: elaborado pelo autor

Preparou soluções para cada tipo de cristal, realizou a análise no polarímetro.

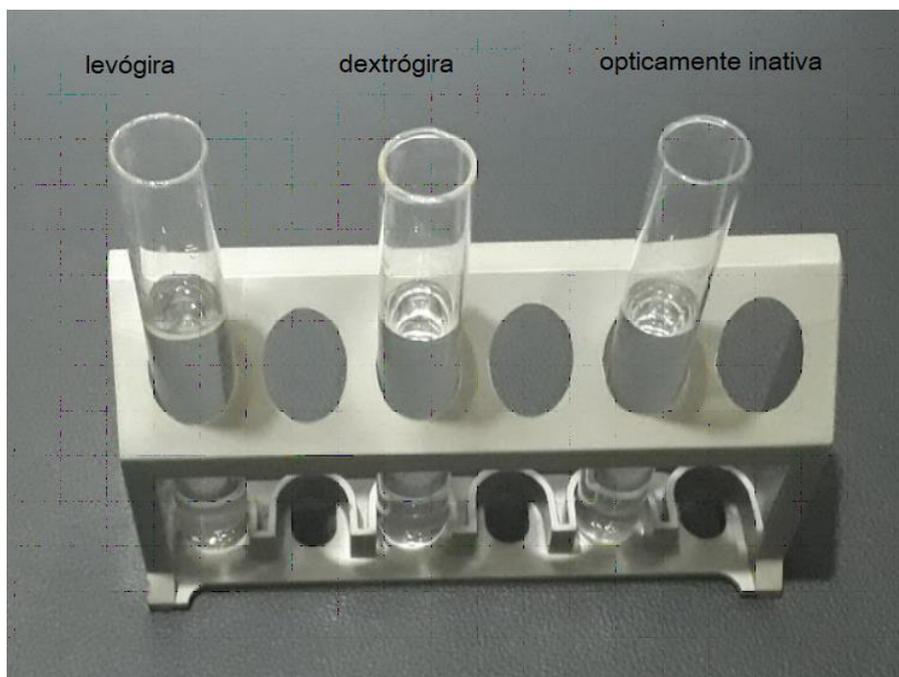


Figura 35: preparação de soluções de cada tipo de cristal.  
Fonte: elaborado pelo autor

Notou que uma solução desviava a luz para a esquerda e a outra para a direita e quando misturava quantidades iguais das duas soluções a mesma se apresentava sem nenhuma atividade óptica.

- ✓ Descobriu que os sais dextrorotatório desta mistura era o mesmo que estava presente na uva antes da fermentação.
- ✓ Concluiu que durante o processo fermentativo, de alguma forma, as leveduras possivelmente convertiam a espécie D em L gradativamente.
- ✓ Com seus estudos percebeu que havia uma estreita relação entre a configuração molecular, a atividade óptica e a estrutura cristalina dos sólidos.

Relacionando a atividade óptica com a estrutura espacial Pasteur sugeriu que os substituintes ao redor do átomo de carbono deveriam ter provavelmente um arranjo tetraédrico, mas só teve uma explicação definitiva mais adiante com os estudos realizados por van't Hoff e Le Bel.

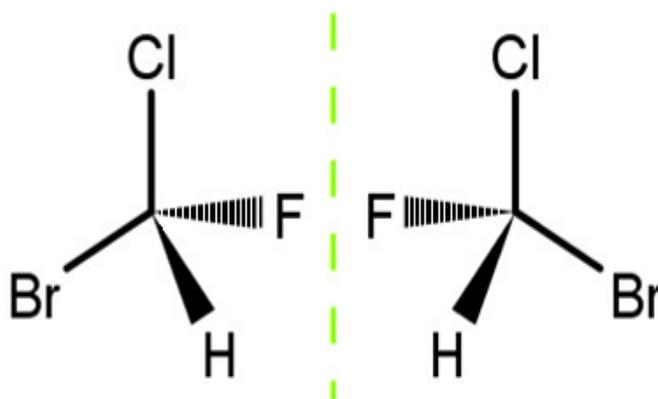


Figura 36: arranjos tetraédricos.  
Fonte: elaborado pelo autor

Segundo van't Hoff, a atividade óptica estava ligada à presença de um carbono assimétrico e de configuração tetraédrica (quiral) na molécula. A presença de quatro substituintes diferentes entre si e ligados ao carbono é condição necessária, mas não a única, para haver assimetria em uma molécula.

## A isomeria óptica

Isomeria óptica?



A isomeria óptica é um tipo de isomeria espacial, também conhecida por estereoisomeria, que estuda o comportamento das substâncias quando submetidas a um feixe de luz polarizada.

Os isômeros ópticos possuem a mesma fórmula molecular, mas são diferenciados em suas atividades ópticas. Os isômeros espaciais que apresentam carbonos quirais em suas estruturas possuem um comportamento bem característico diante da luz polarizada que é utilizado para sua identificação. Eles se diferem apenas no arranjo espacial dos átomos devido à estrutura tetraédrica assumida pelo carbono quiral. Veja nas figuras 37 e 38:

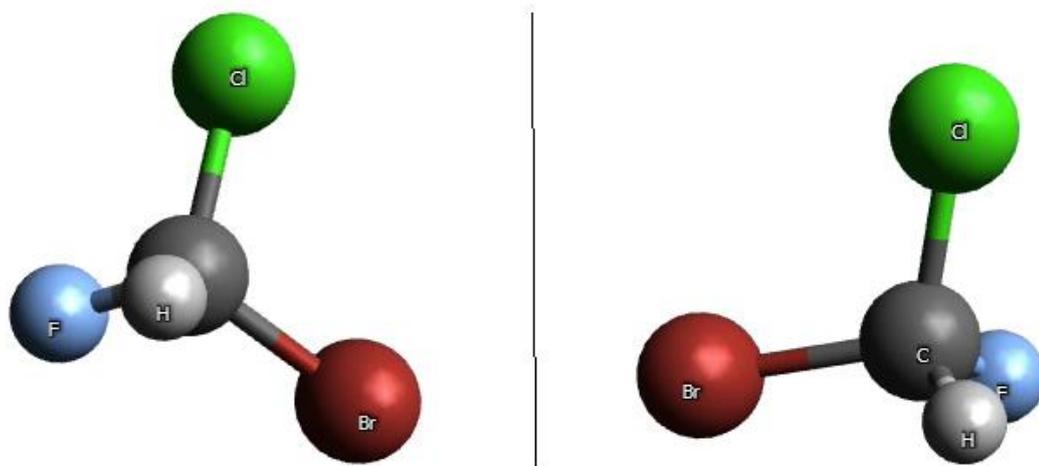


Figura 37: imagens especulares.  
Fonte: elaborado pelo autor

Ambas são imagens uma da outra.

As imagens quando são sobrepostas apresentam ligantes que não se encontram, vejam na figura 38.

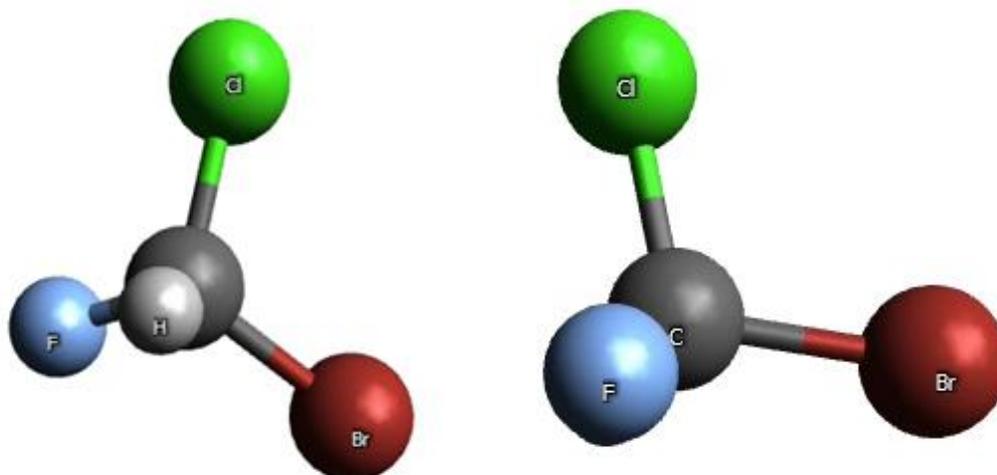


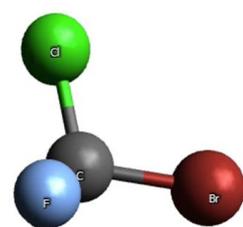
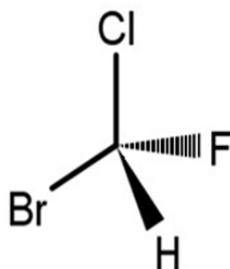
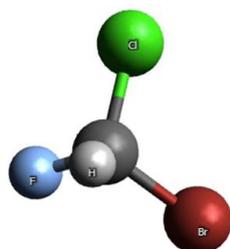
Figura 38 – tentativa de sobreposição.  
Fonte: Elaborada pelo autor

### ATENÇÃO !!!

É possível verificar que o ligante Cl e o Br se sobre põem, no entanto, o ligante F da primeira figura está para trás do plano e o da segunda figura está para frente do plano, a mesma inversão acontece com os átomos de H. Eles se encontram invertidos mostrando que não é possível sua sobreposição configurando assim diferenças espaciais entre os dois compostos.

Uma das estruturas desvia a luz polarizada para a esquerda e por isso será chamada de levógira (L) ou levorotatória. A outra estrutura desviará a luz polarizada para a direita e por isso será chamada de dextrógira (D) ou dextrorotatória. Desta forma só será possível identificá-la com o uso de um polarímetro.

## Características gerais dos isômeros ópticos e suas curiosidades



1.0 Os isômeros ópticos possuem a mesma fórmula molecular, propriedades físicas e químicas idênticas como: P.E, P.F, densidade, calor específico, funções químicas, diferenciando apenas na posição espacial de alguns átomos e na atividade óptica.

2.0 A única maneira de diferenciá-las é por meio do uso de luz polarizada em um equipamento chamado de polarímetro, onde sua atividade óptica irá revelar qual é o tipo de isômero correspondente.

3.0 São muito parecidos e por este motivo se torna difícil, não só sua identificação, mas também sua síntese, isolamento e purificação.

4.0 É comum a comercialização dos fármacos na forma de racematos, em função da dificuldade em sua purificação e isolamento. Quando as espécies dextrógiras e as espécies levógira são misturadas em proporção equimolar, ou seja, 50% de cada espécie, a mistura não apresenta atividade óptica e recebe o nome de mistura racêmica ou racemato.

5.0 Existem processos metabólicos nos seres vivos, animais, bactérias, fungos e até vegetais, que conseguem reconhecer apenas uma das espécies isoméricas e consumi-las, como é o caso das leveduras que fermentam a uva na produção do vinho. Porém outros processos bioquímicos não conseguem distinguir e acabam metabolizando as duas espécies. Esta situação pode causar danos irreparáveis, como é o caso da Talidomida onde um de seus isômeros ópticos tem efeito teratogênico.

### Talidomida.

A talidomida foi introduzida no mercado em 1957 por uma indústria farmacêutica alemã. Este medicamento era receitado para fins sedativos e contra enjoos para as grávidas. Apenas uma das duas formas isoméricas apresentava efeito terapêutico. A outra espécie do fármaco possuía efeito teratogênico, que causava as deformações nos membros inferiores e superiores, podendo ser até abortivo. Foi o responsável por causar deformidades nos bebês formando gerações com deficiências.

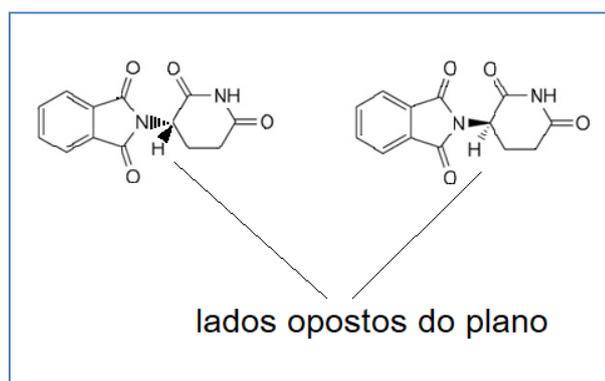


Figura 39. Estruturas das formas isoméricas da Talidomida.  
Fonte: elaborado pelo autor

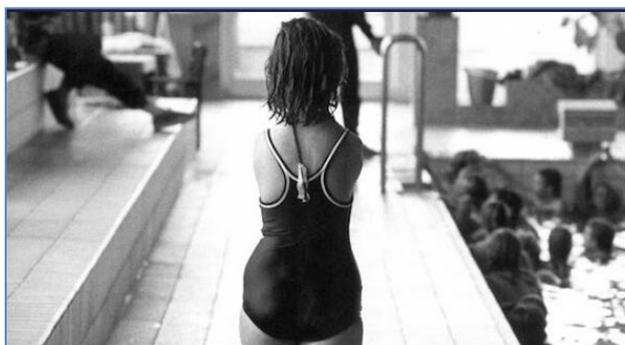


Figura 40. Efeito teratogênico causado pelo uso da Talidomida.  
Fonte: disponível em: <https://www.flickr.com/photos/94243611@N02/14421351460>.  
Imagem licenciada: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>

### Ibuprofeno

É um medicamento anti-inflamatório comercializado na forma de racemato. Por esta razão, suas soluções não apresentam atividade óptica ao serem analisadas no polarímetro.

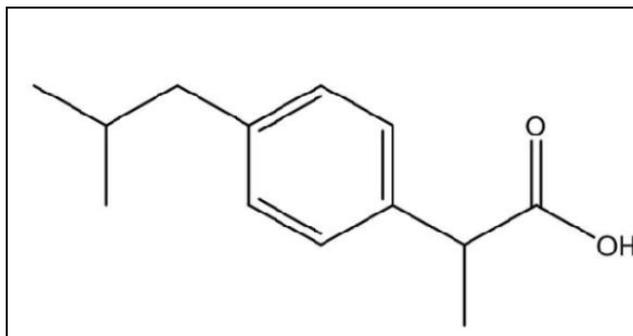


Figura 41- molécula do ibuprofeno

Fonte: elaborada pelo autor

### Sacarose e o Açúcar Invertido

A sacarose pode sofrer recristalização quando sua solução se tornar saturada ou no preparo de alguns alimentos como balas, doces etc. Este é um fator desagradável que dá ao produto a consistência arenosa e seca. Para solucionar este problema, costuma-se fazer sua inversão e utilizá-lo após sua hidrólise. A função do açúcar invertido em biscoitos é proporcionar ao produto maciez e coloração caramelada.

O procedimento da hidrólise provoca a “quebra” da sacarose em dois açúcares que formam a sua molécula: glicose e frutose. Quando esta reação ocorre com a adição de um ácido, surge uma espécie de xarope que foi batizado

## Os isômeros em nosso dia-a-dia e suas curiosidades

de açúcar invertido. O termo "invertido" decorre de uma característica física da sacarose: ela inverte o plano da luz polarizada quando submetida à análise no polarímetro.

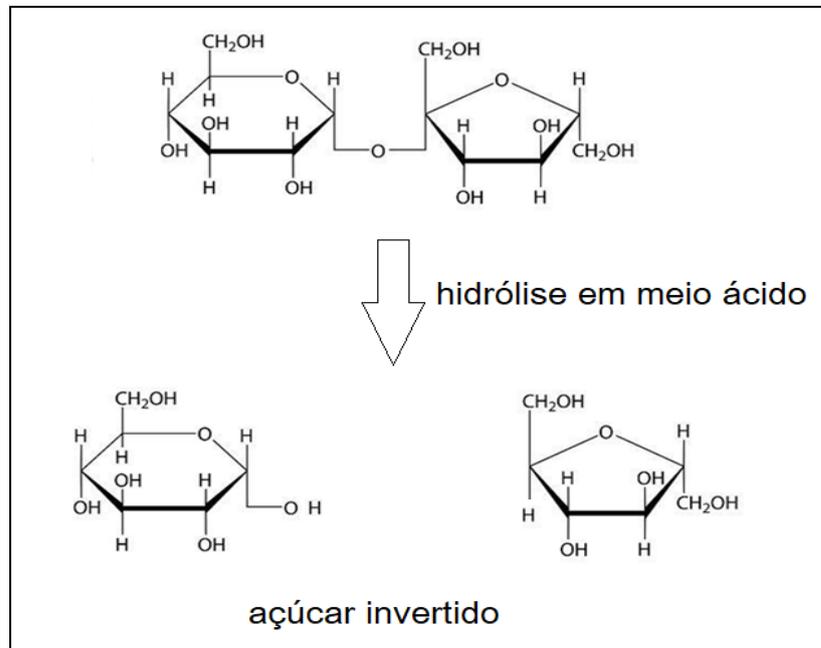


Figura 42- representação do processo de inversão da sacarose.

Fonte: elaborada pelo autor

### ANÁLISE DE AÇÚCAR NO POLARÍMETRO

Açúcar derivado de cana após processamento, isolamento e purificação, possui vários centros quirais e é encontrado na forma dextrorrotatória. O plano de luz polarizada que incide sobre a solução do açúcar comum é desviado para a direita, ou seja, a sacarose é originalmente uma molécula dextrógira (D,+), mas após o procedimento da inversão, a luz incidente passa a ser desviada para a esquerda, portanto o açúcar invertido é levógiro (L,-). (SOUZA, 2021)

**Frutose:**

Utilizada atualmente como adoçante dietético para diabéticos, pois seu poder adoçante chega a ser 70% maior que o da sacarose (PESSONI et al, 2004) e se trata de um açúcar de origem natural. É produzido comercialmente a partir da isomerização da glicose, que por sua vez é obtida por hidrólise multi-enzimática do amido em um processo que envolve três etapas enzimáticas usando  $\alpha$ -amilase, amiloglicosidase e glicose isomerase. Sua solução desvia a luz polarizada para a esquerda, portanto, é um composto levógiro.

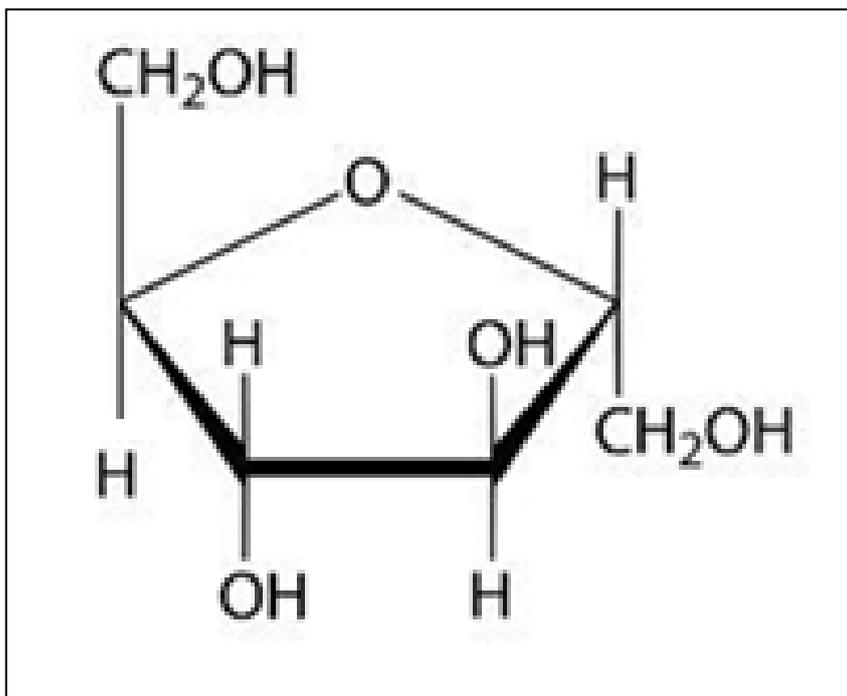


Figura 43. Fórmula estrutural da frutose.

Fonte : elaborada pelo autor

## Aspartame

Aspartame é o nome técnico da substância adoçante que contém ácido aspártico e que está presente em diversas marcas de produtos adoçantes no mercado atualmente. Foi descoberto em 1965 durante pesquisas de uma droga anti-úlceras. Foi introduzido no mercado americano na década de 50. E na década de 60 chegou a ser banido pelo Departamento de Administração de Drogas e Alimentos Americano (FDA). É um produto muito controverso, pois, facilita o desencadeamento da morte de células cerebrais de certas regiões e matam cerca de 75% dos neurônios destas regiões antes de aparecerem os primeiros sintomas clínicos (SORRENTINO, 2021).

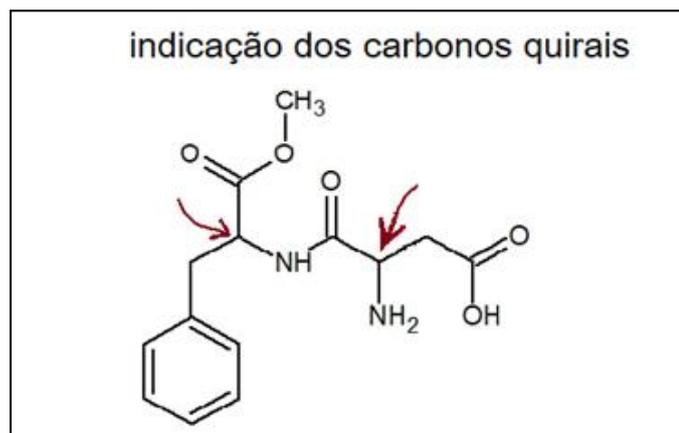


Figura 44 Fórmula estrutural do ácido aspártico

Fonte: elaborado pelo autor

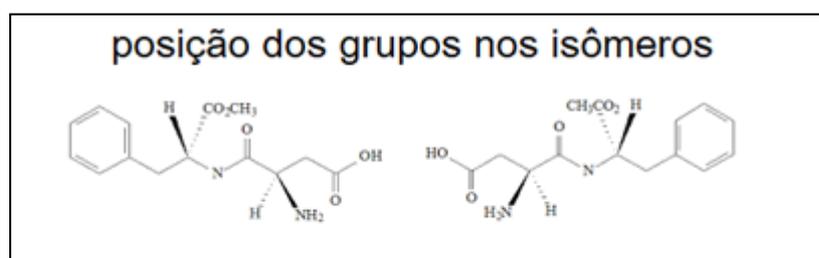


Figura 45 – um possui sabor amargo o outro sabor adocicado

Fonte: elaborado pelo autor

### Ácido Láctico.

O ácido láctico pode ser encontrado na forma de seus dois isômeros o D e o L. Ele é essencial para o corpo, pois é a oxidação do ácido láctico é um dos principais responsáveis por gerar energia para o organismo, sendo a principal fonte de abastecimento de células cardíacas ou fibras musculares. É considerado um subproduto produzido pelo próprio organismo durante a realização de exercícios físicos.

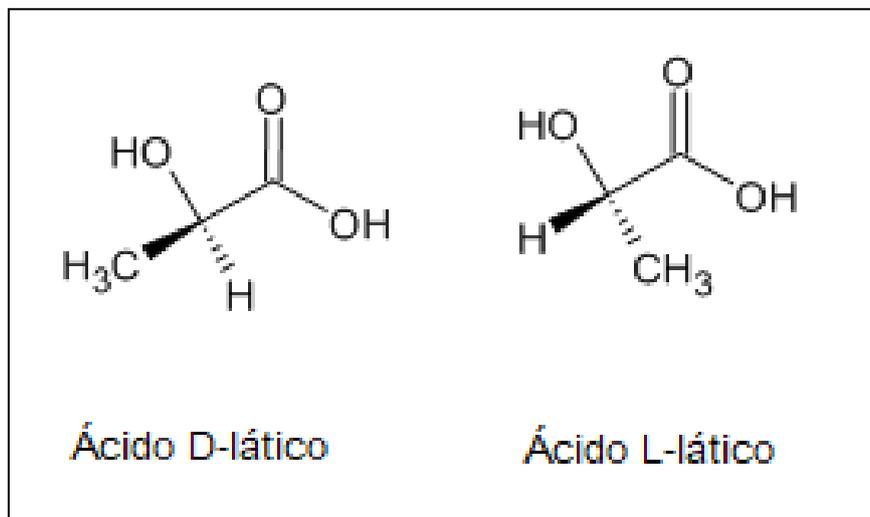


Figura 46. Fórmulas estruturais dos isômeros do ácido láctico.

Fonte: elaborada pelo autor.

Se a atividade física for feita de forma desregulada ou em excesso, o ácido láctico acaba sendo acumulado de forma excessiva, sendo formado muito mais rapidamente do que é eliminado - normalmente através da urina ou suor. Isso pode gerar muito cansaço e fortes dores musculares.

### **Curiosidade**

O ácido láctico é conhecido por ser multiuso, proporcionando diversos benefícios ao corpo, dos cabelos à pele. Possui propriedade umectante, que proporciona à pele uma maior retenção de água mantendo a hidratação, proporciona rejuvenescimento e clareamento.

O ácido láctico também possui propriedades inibidoras de microorganismos patógenos sendo utilizado como um anti-séptico. Ajuda no tratamento de dermatoses, acnes, verrugas, hiperqueratoses, rugas, entre outros, promovendo a elasticidade das fibras e um melhor condicionamento para a pele. Por fim, ainda pode oferecer benefícios imensos aos cabelos, pois quando aquecido, preenche espaços abertos na cutícula do fio, coisa comum em cabelos danificados por químicas. Ele também pode aumentar a massa do fio, reestruturando a fibra e o deixando mais resistente e brilhoso. (MANIPULA-E, 2021)

## Unidade 2

### O Polarímetro experimental



## 1.0 Descrição detalhada do polarímetro experimental

O polarímetro desenvolvido neste estudo é constituído de equipamentos de fácil aquisição no comércio local. Sua base é constituída por placas que podem ser construídas desde simples papelão grosso, passando por materiais plásticos, isopor, MDF e até madeira reaproveitada. Tudo dependerá do material disponível na hora da montagem. Também é uma ótima oportunidade para propor projetos utilizando impressão 3D quando a escola possui acesso a estes equipamentos por meio de FAB-LAB ou por possuir uma nas dependências da escola.

A câmara de análise é confeccionada com tubos de PVC opacos soldáveis utilizados em encanamentos de água potável. A luz comum é obtida por meio de um LED amarelo que apresenta emissão numa faixa bem estreita de comprimento de onda compreendida entre 560 a 590 nm simulando a chamada linha D do espectro de luz visível correspondente às emissões do sódio. O polarizador é constituído por uma película polaroide, utilizada em equipamentos para redução de reflexos em fotografias. Pode ser adquirida pelos sites de vendas pela internet como Mercado Livre, e-bay, aliexpress etc. Em último caso, a película pode ser obtida removendo da tela de equipamentos descartados como, por exemplo, tela de celulares, monitores LCD etc.

O analisador é construído com um tubo de PVC colado na abertura central na face inferior de um CD usado e na outra face, tampando completamente a abertura do CD, um recorte circular ou quadrado da película polarizadora. Esta é fixada cuidadosamente com cola de secagem rápida. Sobre a face do CD é colado um transferidor impresso com as escalas angulares para leitura dos desvios ópticos. A calibragem é feita pelo giro da câmara de análise até obter o menor brilho ( $90^\circ$ ) entre os planos de polarização da película. Depois de montados e calibrados é só fixar com cola de secagem rápida e realizar as análises com as soluções.

O recipiente que irá alojar a amostra no tubo analisador, geralmente é uma cubeta de quartzo ou material de difícil acesso conhecida como tubo de Nessler, pode ser substituído, sem nenhum prejuízo nas leituras, por tubos de ensaios comuns de 12 cm. Isto facilita ainda mais sua obtenção levando em

consideração que são muito comuns, fabricados em vidro, são de baixíssimo custo e são encontrados facilmente até em lojas de “multi-coisas”.

Todo o projeto pode ser executado conforme as orientações a seguir:

## 2. Manual de construção e montagem

### 2.1 Considerações iniciais

A construção do polarímetro pode ser feita a partir de dois princípios que poderão ser escolhidos pelos professores e estudantes conforme a necessidade. Podem ser construídos com materiais de baixo custo novos adquiridos facilmente no comércio local ou pelo reaproveitamento de materiais que seriam descartados para o lixo. Podem ser reaproveitados tanto os de madeiras e MDF, quanto os de materiais que estão sendo descartados como lixo eletrônico. No meu caso, aproveitei tudo de sucata e materiais de descarte para confeccionar meus primeiros protótipos de polarímetro, no entanto, os demais protótipos foram confeccionados com materiais novos, pois, havia a necessidade de demonstrar um orçamento dando a noção dos valores aos estudantes e professores para que pudessem adquirir e produzir mais kits. Existem muitas alternativas ao uso do equipamento. A construção do polarímetro já é um exercício experimental da criatividade, desenvolvimento das habilidades manuais e da genialidade do construtor. Esta elaboração e construção do equipamento pode muito bem ser atribuída aos estudantes para que cada um, de posse dos conceitos e conhecendo todo conteúdo científico por trás do funcionamento do aparelho, possam aplicar toda sua genialidade na confecção “dando sua cara” ao protótipo.

O princípio básico de funcionamento de um polarímetro pode ser descrito de forma bem sintética:

Um feixe de luz não polarizada, originário de uma fonte de luz comum, é orientada a passar por um filtro monocromador e em seguida na película polarizadora fixa. Esta primeira película polariza o feixe luminoso selecionando

um plano bem definido para a oscilação. Este feixe, agora polarizado, atravessa o recipiente com a amostra que está dentro do tubo analisador. O feixe de luz é recebido pela película analisadora que é móvel. Ajustando-se o analisador para o menor brilho verifica-se qual foi o ângulo de desvio em relação ao ponto “zero” da escala angular, bem como a direção do desvio. Imagem abaixo:

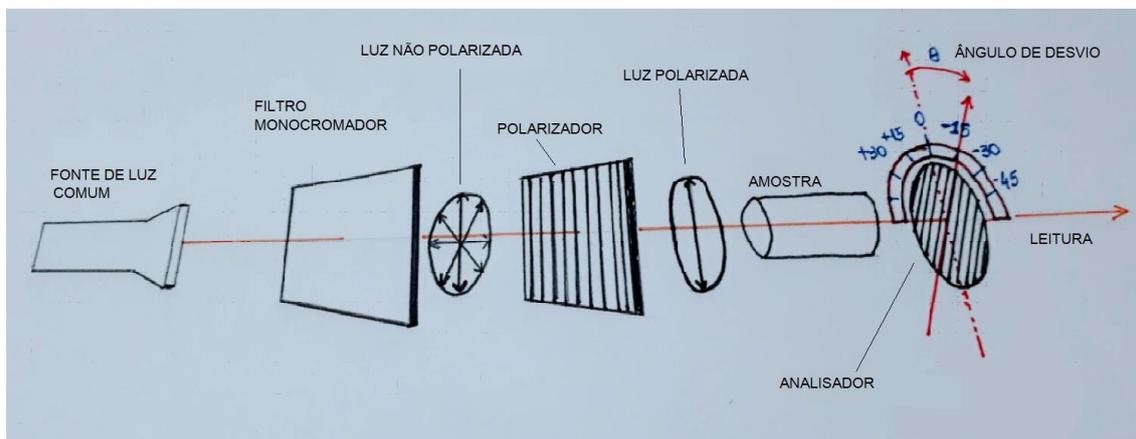


Fig.1: Fonte: elaborada pelo autor

A fonte de luz não polarizada pode ser de qualquer tipo. Uma lâmpada comum, um led ou uma simples lanterna. De acordo com Bagatin (2005), na literatura, orienta-se que a luz seja amarela, no entanto, pode-se experimentar vários outros comprimento de ondas e o comportamento das amostras nestas condições.

No desenho abaixo, um esquema detalhado do equipamento produzido em 1815 pode ser observado e nota-se que pouco se alterou desde sua construção original. Os princípios continuam sendo os mesmos.

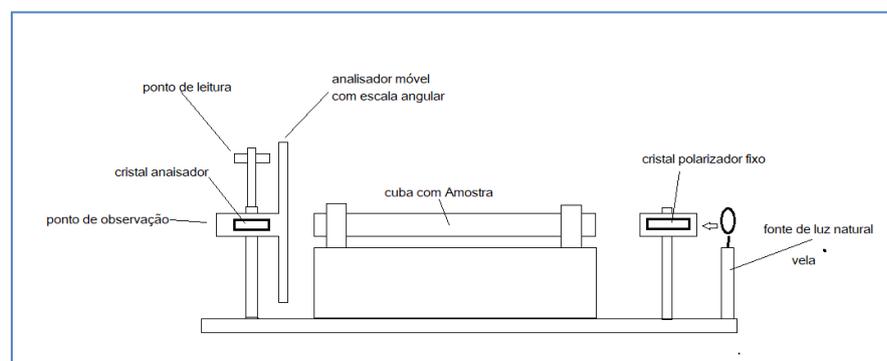


Fig. 02: Imagem 10: fonte: elaborado pelo autor

## **2.2 Construindo com materiais alternativos.**

Para o caso da construção envolvendo materiais de reaproveitamento, uma alternativa é iniciar buscando os LEDs, que todo equipamento eletrônico possui. Segundo Braga (2009), LED é a sigla para light emitter diode, díodo emissor de luz. São pequenos componentes que emitem luz de comprimentos de ondas definidas e podem se apresentar em variadas cores do espectro visível e do IR ao UV. Também podem ser utilizadas pequenas lâmpadas. Ou simplesmente uma lanterna encontrada em qualquer casa de multicoisas.

Para as lâminas polarizadoras, basta encontrar mostradores digitais de LCD, ou monitores de LCD (LCD - liquid cristal display). Na parte externa da tela, recobrimo toda a frente com uma fina película que é polarizadora. Ela se encontra colada e pode ser removida facilmente deixando-a ao sol por 10 a 15 minutos ou exposta ao calor de um secador de cabelos e pode ser descolada puxando com auxílio de um estilete, depois apenas com os dedos. Visores de aparelhos de MP3, celulares, tablets também possuem polaroides em suas telas. Estas películas são de materiais poliméricos e podem ser recortados facilmente com estiletes e tesouras.

As placas de madeiras ou MDF podem ser adquiridas gratuitamente em marcenarias, ou daquele armário descartado por desuso. Também é possível utilizar caixas de hortifruti ou materiais de pallet pinus padrão. Em último caso é possível a confecção em papelão grosso ou colando duas placas de 4 mm uma á outra para dar mais resistência. Neste caso utiliza-se cola para papel ou cola quente na montagem.

Os tubos de PVC podem ser obtidos também alternativamente em descartes de construção ou sobras em reformas residenciais. São tubos comuns de PVC nas medidas  $\frac{3}{4}$  e  $\frac{1}{2}$  polegadas.

## **2.3 Construindo com materiais novos.**

Os materiais novos podem ser adquiridos facilmente em casas de multicoisas, eletrônicas de vendas de peças para reposição ou pela internet. Recomendo Mercado Livre, pois é mais seguro e encontramos uma imensa variedade de preços.

### **2.3.1 Lista de ferramentas.**

1. Serrote, serra ou material para corte de MDF. Utilizei uma serra elétrica.
2. Martelo, parafusadeira ou chaves de fenda e Philips. (de acordo com a situação)
3. Régua.
4. Lápis.
5. Soldador de 30 Watts
6. Solda para eletrônicos

### **2.3.2 Lista de Materiais.**

1. Pregos ou parafusos. (para fixação do suporte)
2. Cola comum branca para madeira e MDF.
3. MDF, compensado, madeira ou qualquer tipo de material similar que possa ser serrado. (Aquisição em lojas de multi-coisas, Leroy Merlin, etc. em cortes reduzidos) (consegui retalhos de mdf em uma marcenaria)
4. Um tubo soldável de pvc de  $\frac{3}{4}$  polegadas ou 25 mm
5. Um tubo soldável de pvc de  $\frac{1}{2}$  polegada ou 20 mm
6. Um CD, DVD ou CD-ROM velho.
7. Papel sulfite com transferidor impresso da internet com impressora a laser. Disponível no Site: <https://regua.online/imprimir-regua/transferidor-360.pdf>
8. Um tampão pvc para  $\frac{3}{4}$  (25mm).
9. Um LED amarelo comum.
10. Duas pilha 1,5V tamanho AA comum no comercio.
11. Fio fino. (pedaços de 10 cm)
12. Solda para eletrônicos.
13. Interruptor liga-desliga comum.
14. Um resistor de 100  $\Omega$  x 1/8 w.
15. Película polaróide. (adquirida pelo site: mercado livre – película polarizadora para estúdios e fotografias)
16. Furadeira com brocas serra-copos tamanhos  $\frac{3}{4}$  (25mm).

Obs.: Os canos podem ser adquiridos em depósitos de materiais de construção. O Mdf pode ser encontrado em qualquer casa de multicoisas ou marcenarias. São pedaços pequenos, muitas vezes sobras. Os LEDs podem

ser adquiridos tanto pela internet quanto em lojas de componentes eletrônicos. A película polarizadora deve ser adquirida pelos sites que vendem material fotográfico ou pelo Mercado Livre.

### 3. Planta com plano de corte do MDF:

Componentes críticos, pois apresentam posição correta em virtude da polarização: LED e pilha.

Figura 03. Chapa de 12,5cm X 45 cm X 1cm de altura cortados conforme o desenho:

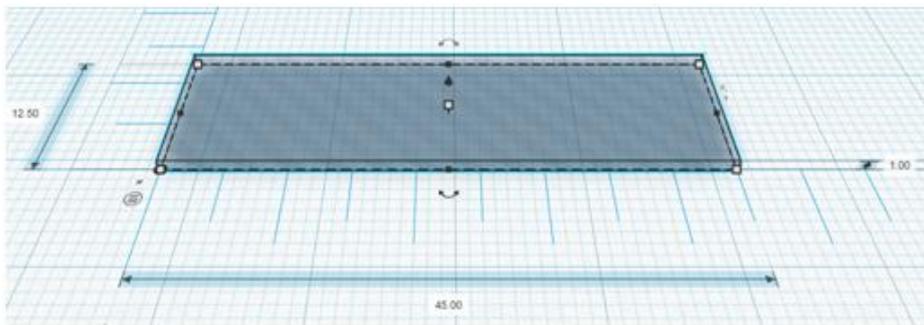


Fig. 03 – Fonte: elaborada pelo autor

Esta chapa deve ser marcada, na lateral de 45 cm com duas divisões de 20 cm x 12,5 e duas com 12,5 x 12,5cm e cortadas conforme a figura 4 e 5

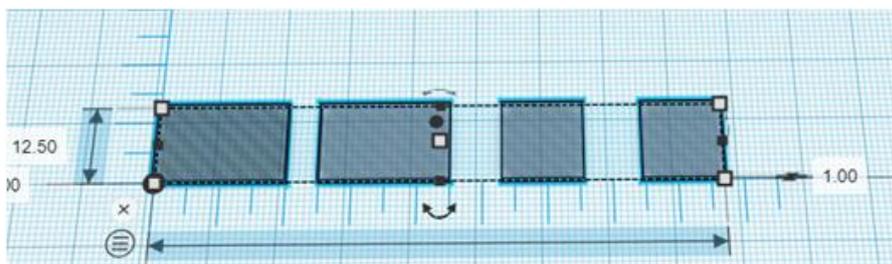


Figura 04 - Fonte: elaborada pelo autor

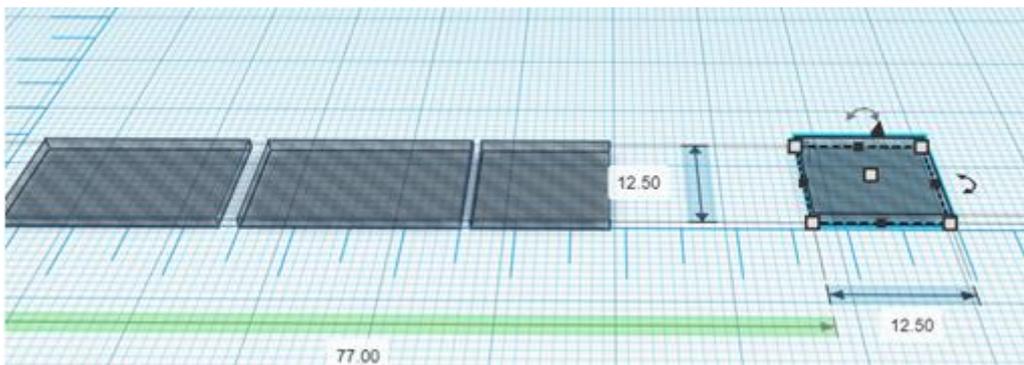


Figura 05 - Fonte: elaborada pelo autor

Após o corte teremos as peças conforme figura 06.

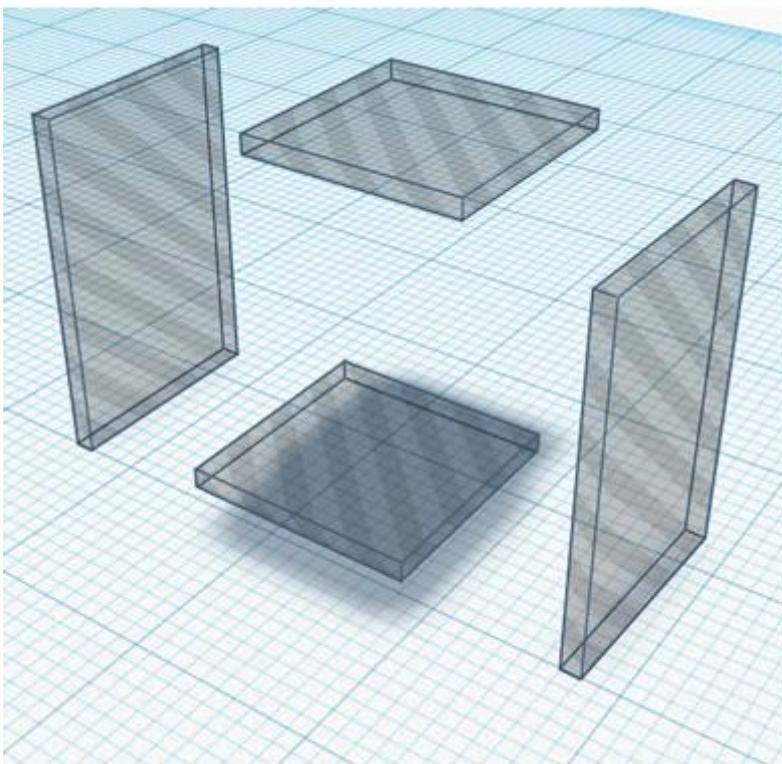


Figura 06 - Fonte: elaborada pelo autor

Furar as duas bases com broca de 25 mm ( 3/4 ) , conforme figura 7.

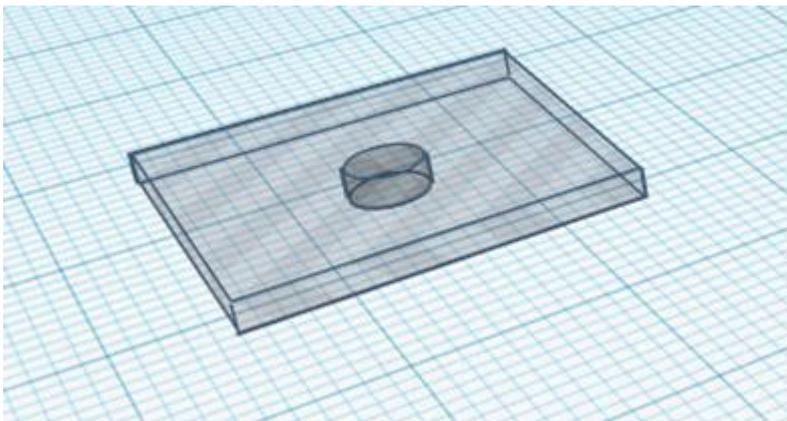


Figura 07 - Fonte: elaborada pelo autor

Fixar com cola para madeira, pregos ou parafusos as peças conforme o esquema abaixo de modo que a base superior fique 15 cm da base inferior.

Figura 8

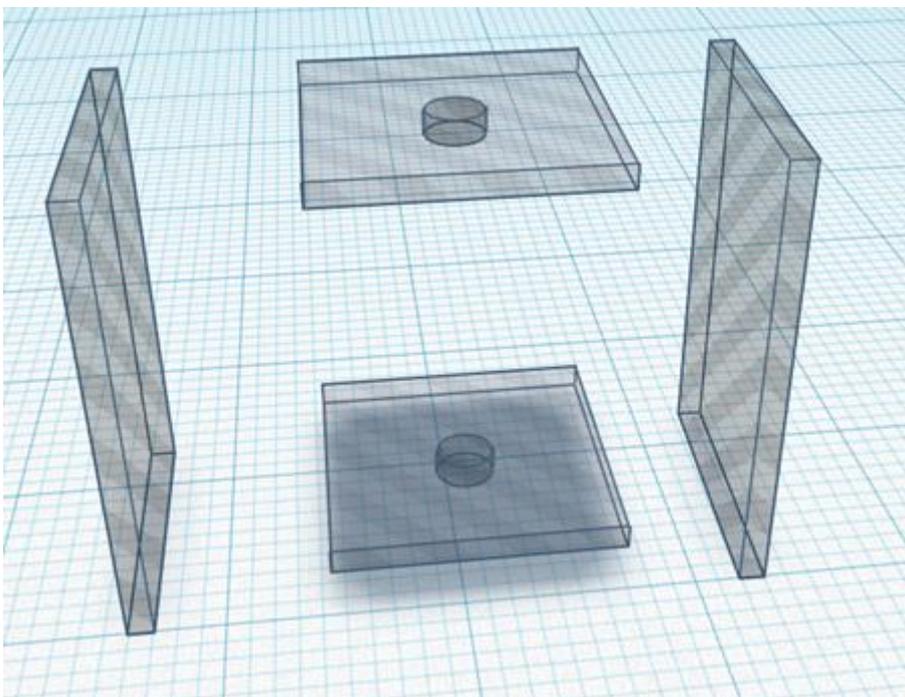


Figura 08 - Fonte: elaborada pelo autor

### 3.1 Construção do tubo analisador.

Cole o tubo de PVC de 25 mm (3/4) medindo 13,5 Cm de comprimento, centralizado no CD. Figura 9.

Figura 09.



Fonte: elaborada pelo autor

Na outra face do CD cole utilizando cola de papel comum o impresso de transferidor.

As características de formatação do desenho para o tamanho do CD devem obedecer aos valores indicados.

Clique com o botão da direita do mouse em cima do desenho e aparece a janela abaixo:

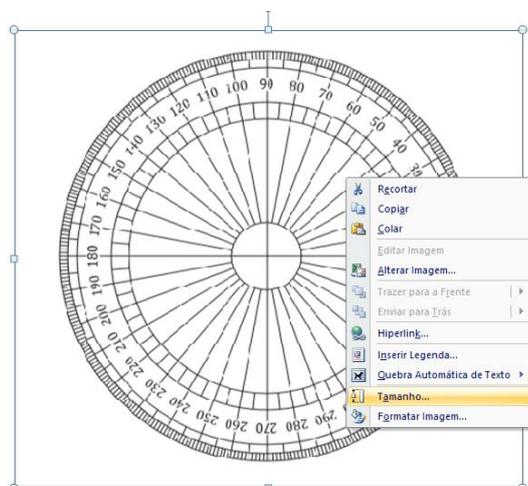


figura 10.

Clique em “tamanho” e aparecerá a janela abaixo: configure conforme os valores apresentados e terá o arquivo nas dimensões de um CD:

Figura 11.

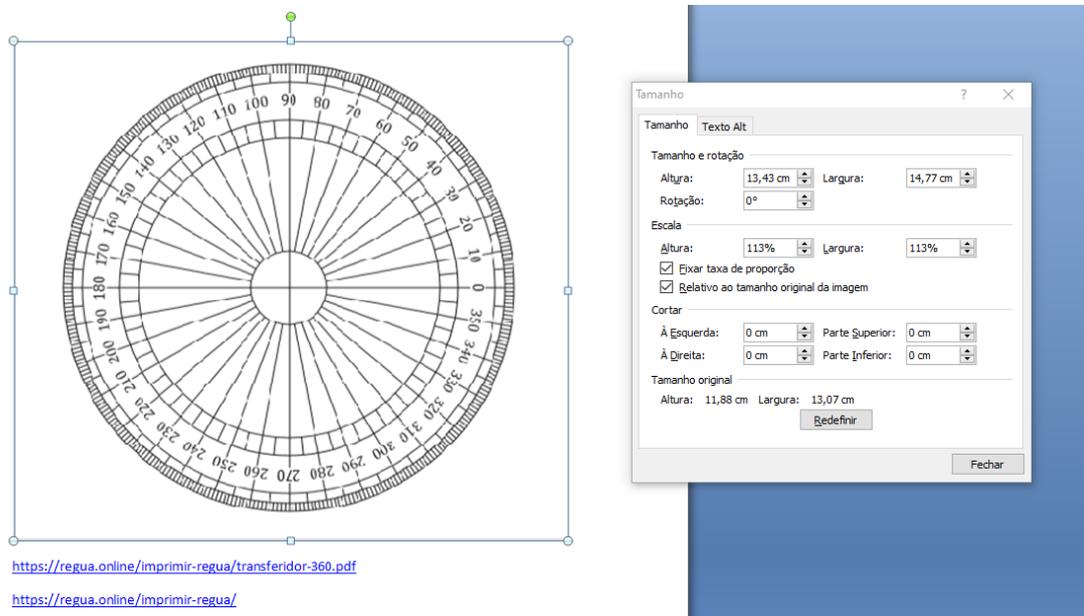


Figura 11: Configuração da escala para impressão. Fonte: Elaborada pelo autor.

Recorte um pequeno pedaço de película polarizadora e cole no orifício do CD utilizando cola rápida, do tipo Super-Bond, Tree-Bond etc.

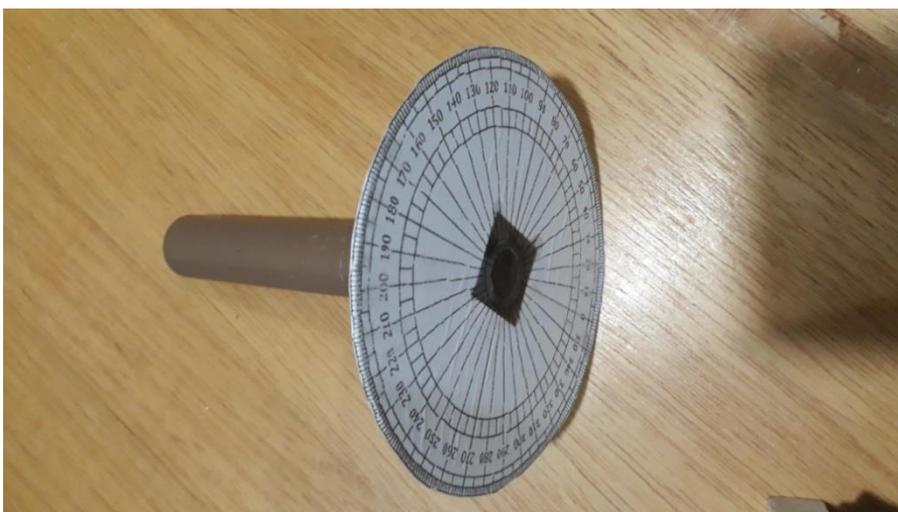


Figura 12: Analisador. Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.2 Construindo o tubo polarizador:

Cole uma película no tubo de  $\frac{1}{2}$  polegada (20 mm) e apare as arestas para ficar com o mesmo diametro do tubo conforme a imagem:



figura 13. Fonte: elaborado pelo autor.

Encaixe o tampão contendo o furo para o encaixe do LED.



figura 14. Fonte: elaborado pelo autor.

Encaixe a peça na base inferior já com o anel de PVC feito com o anel do próprio cano já adaptado conforme mostra a figura15.

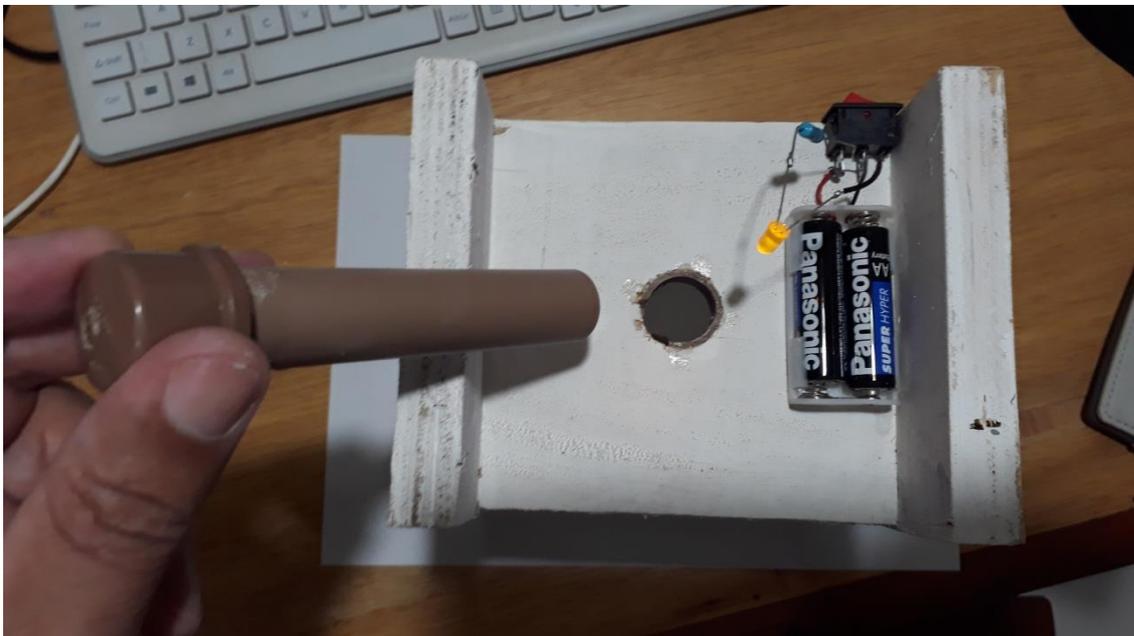


Figura 15. Fonte: elaborado pelo autor.

Encaixe o led no furo.

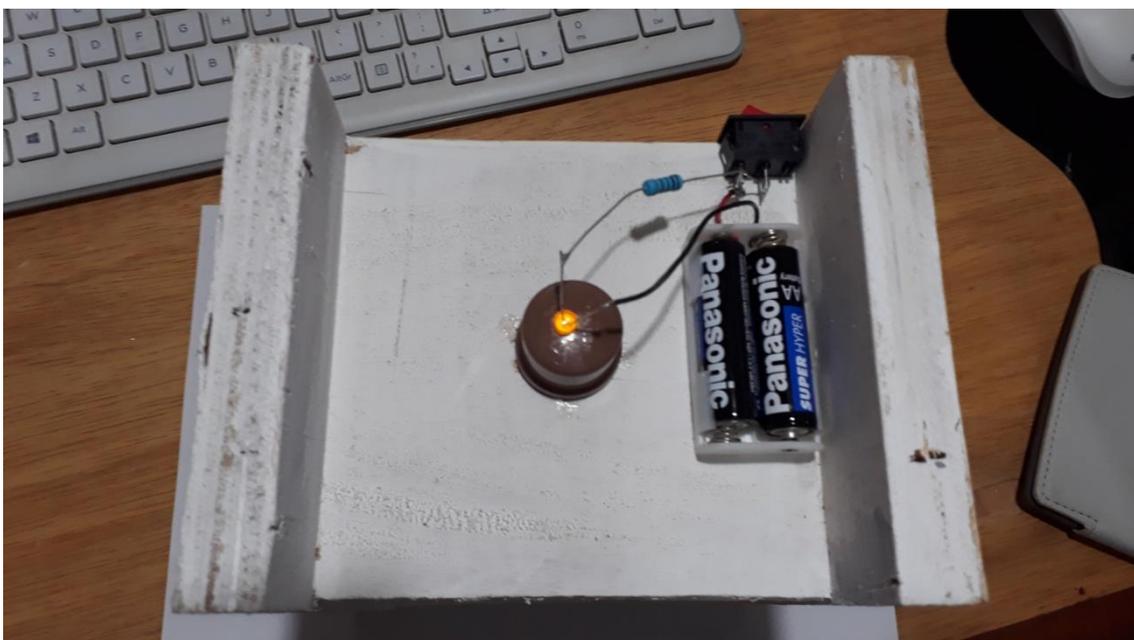


Figura 16

Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.3 Montagem e calibragem.

Coloque o tubo analisador numa posição fixa e marque uma seta deixando na posição de 0 grau conforme a imagem:

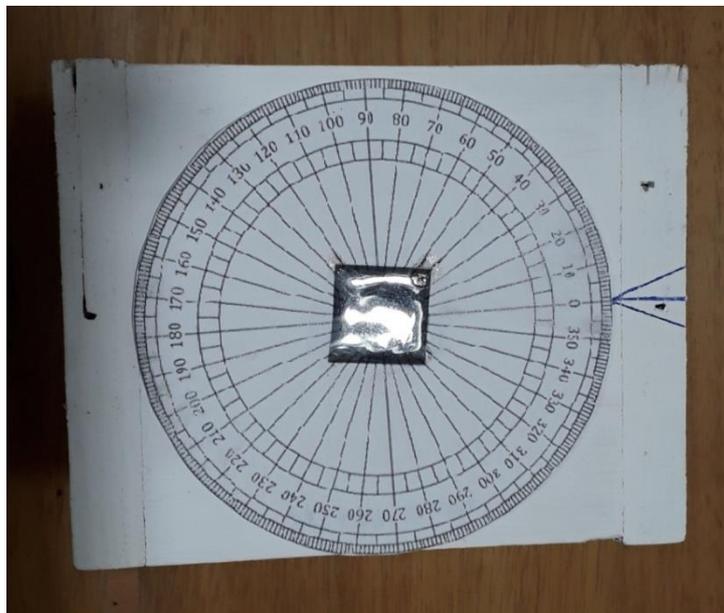
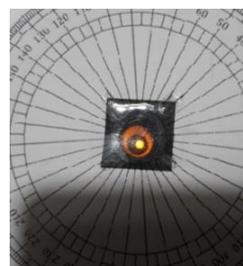
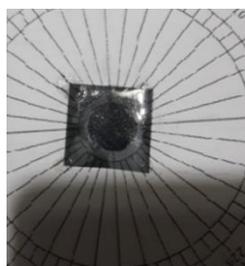


figura 17.

Fonte: elaborado pelo autor.

Ligue a chave e ajuste o tubo inferior até obter o total apagamento do LED ao ser observado pela parte superior do analisador. Figura 18 e 19. Neste ponto, figura 19, o aparelho já está calibrado e pronto para usar.



Figuras 18 e 19.

Fonte: elaborado pelo autor.

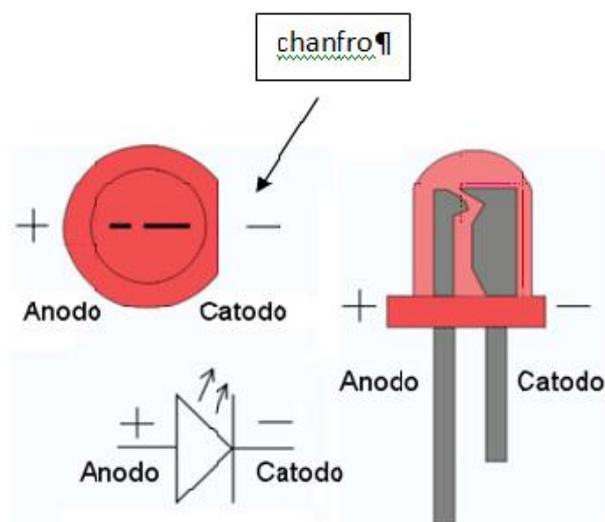
### 3.4 Esquema de ligação do led.

Esta etapa pode ser feita sem a utilização de solda. Se o leitor optar, basta enrolar com cuidado os fios nos terminais dos componentes conforme o esquema elétrico a seguir na figura

Devemos tomar cuidado apenas com o LED, pois este componente possui polaridade, assim como as pilhas. Se ligar invertido não acenderá.

O terminal que fica do lado do chanfro é o negativo.

Fig. 20



Fonte: elaborado pelo autor.

Realize a montagem conforme o esquema da figura abaixo:

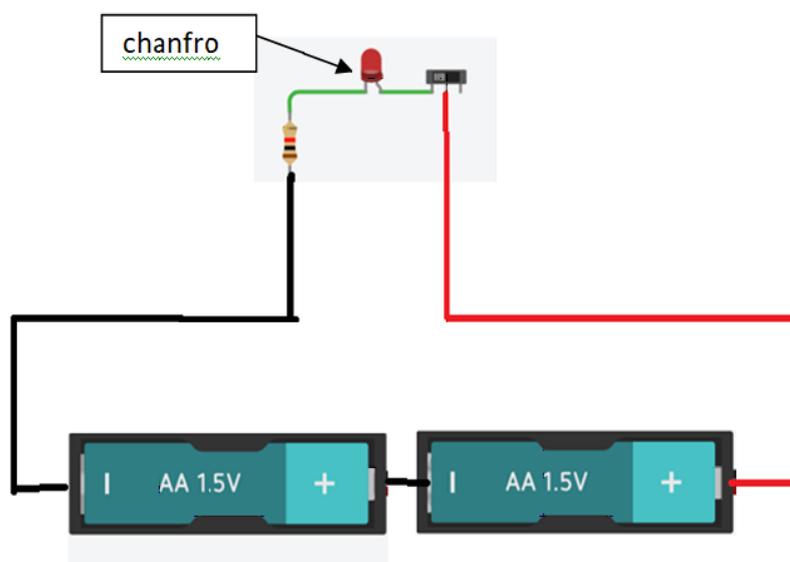


Fig. 21 esquema de ligações.

Fonte: elaborado pelo autor.

Imagem real após a montagem. Note que foi utilizada uma caixa para as pilhas.

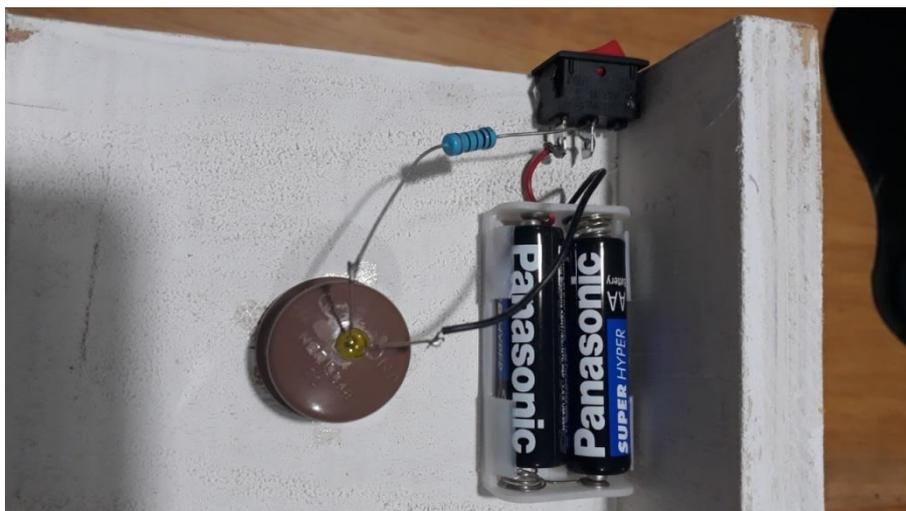


Figura 22. Esquema das ligações

Fonte: elaborado pelo autor.

Seu polarímetro experimental está pronto para uso.

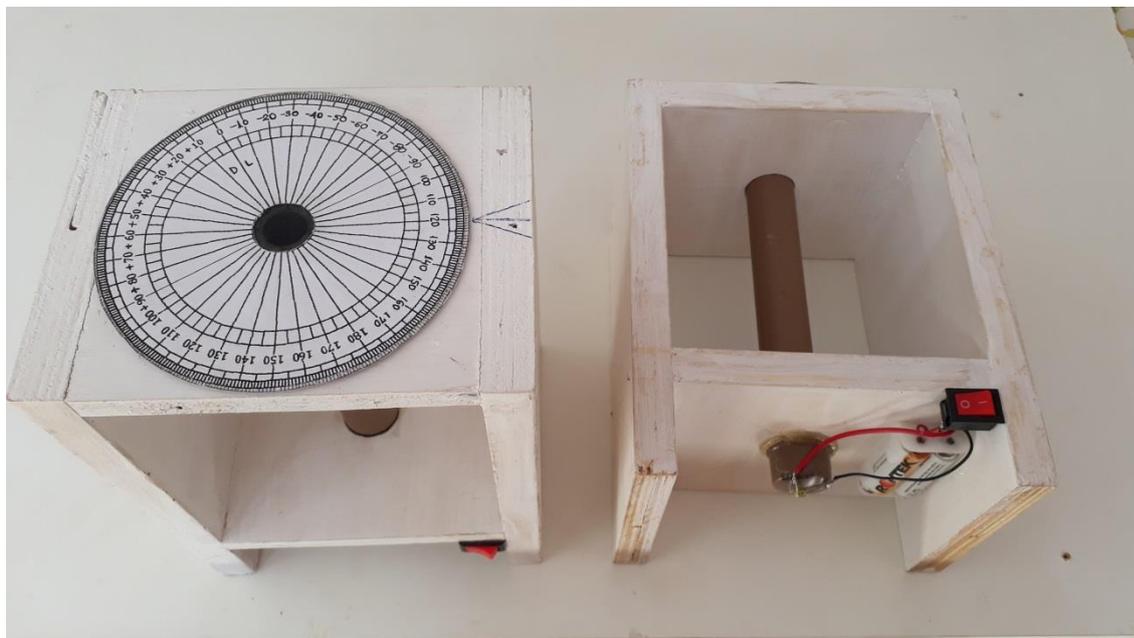


Figura 23: Polarímetro pronto.

Fonte: elaborado pelo autor.

# O Polarímetro

## Protótipo desenvolvido



Figura 24. Polarímetro pronto.

Fonte: elaborado pelo autor.

Apresentação dos protótipos desenvolvidos.

Acesse o link: <https://youtu.be/x9jYyZMHnwY>

Teste de funcionamento dos polarímetros:

Acesse o link: <https://youtu.be/l8jtvPbxTT4>

Quem tiver o interesse em adquirir um exemplar para uso em sala de aula poderá entrar em contato com Silvio pelo e-mail [Silviomaza@gmail.com](mailto:Silviomaza@gmail.com) ou pelo whatz (67) 99641 9725.

O valor do kit será passado no momento do contato. Juntamente com o kit será fornecido o manual de construção para que possa ser multiplicado posteriormente.

## Roteiro de aula prática

**Titulo da aula: Atividade óptica em soluções.**

### Objetivo.

**Medir a rotação ótica de soluções de glicose e frutose em diferentes concentrações e volumes.**

### Procedimento experimental.

**Cada amostra deverá ser testada seguindo as recomendações mostradas na ordem em que aparecem nas tabelas abaixo. Para desvios à esquerda do ponto zero utilize o sinal de ( - ) e desvios à direita utilize o sinal ( + ) antes do valor do ângulo, conforme aparece no polarímetro. Faça marcações nos tubos de ensaio utilizando canetinhas e uma régua nas medidas de 2,5 cm; 5 cm; 7,5 cm e 10 cm.**

1. Preencha o tubo 01 com **água da torneira** até a marcação de 5 cm. Faça a leitura no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o volume na marcação 10 cm.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 01		

2. Preencha o tubo 02 até a **marcação 5 cm** com a solução de **SACAROSE 160g/L**. Faça a leitura do ângulo no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o tubo na **marcação de 10 cm**.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 02		

3. Preencha o tubo 03 até a **marcação 5 cm** com a solução de **SACAROSE 310g/L**. Faça a leitura do ângulo no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o tubo na **marcação de 10 cm**.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 03		

4. Preencha o tubo 04 até a **marcação 5 cm** com a solução de **FRUTOSE 150g/L**. Faça a leitura do ângulo no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o tubo na **marcação de 10 cm**.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 04		

5. Preencha o tubo 05 até a **marcação 5 cm** com a solução de **FRUTOSE 300g/L**. Faça a leitura do ângulo no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o tubo na **marcação de 10 cm**.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 05		

- 6- Preencha o tubo 06 até a **marcação 5 cm** com a **solução Desconhecida** fornecida pelo professor. Faça a leitura do ângulo no polarímetro e marque o resultado. Repita a operação, só que agora, com o tubo na **marcação de 10 cm**.

Experimento	Leitura na marcação 5 cm	Leitura na marcação 10 cm
Tubo 06		

- 7- Preencha o tubo 07 com a solução de Frutose 300g/L até a **marcação 2,5 cm**. Com a **solução de Sacarose 310g/L** vá acrescentando de 2,5 em 2,5 cm e realizando a leitura no polarímetro até que chegue à marca 10 cm. Anote seus resultados respectivamente no quadro abaixo:

Experimento	Leitura a 2,5 cm	Leitura a 5 cm	Leitura a 7,5 cm	Leitura a 10 cm
Tubo 07				

## Questionamentos propostos

- 1- O experimento apresenta alguma amostra opticamente ativa?  
( ) não ( ) sim . Qual (is)? \_\_\_\_\_
- 2- O experimento apresenta alguma amostra opticamente inativa?  
( ) não ( ) sim . Qual (is)? \_\_\_\_\_
- 3- O experimento apresenta alguma amostra dextrógira?  
( ) não ( ) sim . Qual (is)? \_\_\_\_\_
- 4- O experimento apresenta alguma amostra levógira?  
( ) não ( ) sim . Qual (is)? \_\_\_\_\_
- 5- Como você interpreta a diferença entre as leituras realizadas com 5 cm e 10 cm nos experimentos de 1 ao 5?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 6- Cada um destes açúcares (carboidratos) utilizados possuem algumas características próprias como lado de desvio da luz (+ ou-), ângulo e concentração em g/L. Considerando os valores obtidos nos experimentos anteriores, tubo 2 ao 5, é possível identificar a qual dos dois açúcares utilizados corresponde a amostra desconhecida? ( ) Não ( ) Sim. Qual é o açúcar presente na amostra? ( ) frutose ( ) sacarose. Qual é a concentração da amostra? \_\_\_\_\_g/L .
- 7- Como você interpreta os resultados obtidos no experimento do tubo nº7?

### 3. UM BREVE HISTÓRICO DOS ESTUDOS SOBRE A NATUREZA DA LUZ

A luz vem sendo estudada desde a antiguidade. Alguns dos fenômenos luminosos já eram conhecidos pelos gregos e romanos como, por exemplo: os conceitos de óptica geométrica envolvendo propagação retilínea, a produção de sombras, a Lei da perspectiva, os fenômenos da refração, as leis da reflexão em espelhos planos. Já havia a apropriação dos conhecimentos acerca do funcionamento dos espelhos côncavos e os convexos. Há relatos, do século IV a.C, sobre o conhecimento de que a luz poderia ser concentrada utilizando-se esferas de cristal. Também era conhecida a propriedade de obter imagens ampliadas por meio de observação através delas, utilizando-as como lentes conforme relata Martins e Silva (2015).

De forma sucinta, desde a antiguidade, um grande número de pesquisadores realizava estudos sobre a luz e os fenômenos luminosos, entre eles se destacam Aristóteles com a teoria de que a luz removia finas camadas de átomos que se chocavam contra os olhos na formação da visão, mais tarde com Alhazen, no século X, com suas contribuições oferecendo novos caminhos em oposição relativos às teorias da visão descritas pelos gregos e influenciando cientistas nos séculos seguintes. Durante o século XVII destacam-se René Descartes, Walter Charleton, Robert Boyle, Isaac Newton, Robert Hooke etc, que detinham suas atenções convergindo para o mesmo foco: A natureza e a origem das cores, as propriedades da refração, reflexão da luz e seus espectros. Havia divergências acerca da definição e descrição da luz. Preponderava o aspecto corpuscular também muito defendido por Newton em função da influência que tivera dos trabalhos dos autores descritos anteriormente. No entanto, ambos estavam empenhados em desvendar aspectos geométricos, de decomposição e recomposição de feixes luminosos. A combinação e recombinação de cores, por meio de associação de prismas e de combinação de seus espectros luminosos, na tentativa de desvendar e provar a origem das cores. Nos trabalhos de William Petty, enfatiza

combinações das três cores azul, amarelo e vermelho, a partir dos quais as outras cores podem ser produzidas originariam cores secundárias etc. As cores não eram tratadas como ondas dotadas de frequências e comprimentos específicos de ondas e sim como entidades que se combinavam, aspectos puramente corpusculares. (MARTINS; SILVA, 2015)

A teoria corpuscular de Newton era considerada cientificamente a mais bem aceita na época por ser muito bem formulada. Entrou em forte conflito com o físico Robert Hooke (1635-1703) que realizou experimentos semelhantes com a luz em 1665. Em sua teoria Hooke afirma que a luz era uma substância formada por matéria em consequência da vibração do éter. A emissão de luz por uma fonte luminosa era o resultado de um movimento vibratório de pequena amplitude. Martins e Silva (2015) ainda relatam que em 1672, Hooke afirmou que a luz era uma onda transversal. Era favorável à ideia de que a luz fosse uma substância material que se propagava como onda, não conseguiu explicar os resultados de seus experimentos em que a luz solar era projetada em dois líquidos, um vermelho e outro azul, os quais permitiam que a luz passasse e quando misturados a luz era bloqueada.

Em 1669, Erasm Bartholini observa pela primeira vez que um feixe de luz, ao passar por um cristal de espato da Islândia, minério de calcita, era dividido em dois feixes onde apenas um deles sofria leve desvio em sua trajetória. Chamou este fenômeno de birrefringência ou dupla refração. Realizou vários estudos e experimentos acerca desta observação e publicou em seu livro "Experimenta Crystalli Islandici" em 1669. A birrefringência no espato da Islândia, também conhecido com a dupla refração, causou inquietação nos pesquisadores durante muito tempo. A tentativa de dar uma explicação para este fenômeno intrigou outros pesquisadores como Huygens, que também, na mesma época, buscava uma hipótese que descrevesse melhor o fenômeno.

Segundo a teoria corpuscular de Newton, reproduzida em vários experimentos, a luz era formada por um feixe de pequenas partículas que se propagavam em linha reta, já que as ondas não obedeciam a trajetória retilínea (óptica de raios ou óptica geométrica).

Esta ideia conseguia explicar os fenômenos de refração, reflexão, mas, apresentava inconsistências para a explicação das cores e dos fenômenos de

difração e interferência. De acordo com Christian Huygens (1629-1695), estes fenômenos poderiam ser perfeitamente explicados caso a luz fosse interpretada como uma onda propagante (óptica ondulatória). O empenho de Huygens se dá, então, no sentido de considerar as várias propriedades da luz, apontando as falhas do modelo corpuscular para explicar tais propriedades e evidenciando as potencialidades do modelo ondulatório. Desta forma, Christian Huygens ficou conhecido por explicar a refração utilizando um modelo ondulatório (KRAPAS, 2011). Em 1678, defendia a hipótese de que a luz possui comportamento de onda, análogo ao som, mas não corpuscular. Isto é experimental conforme disserta Araújo e Silva (2009).

Essa matéria que serve à propagação da luz a partir dos corpos luminosos, ou seja, o éter, não pode ser o ar que sentimos e respiramos, pois, quando o ar é extraído de um local, o éter permanece. Isso pode ser demonstrado encerrando-se um corpo sonoro em um recipiente de vidro e retirando-se o ar por meio da bomba de vácuo inventada por Boyle. Ao retirar o ar, o som deixa de ser ouvido, mas a luz não deixa de atravessar o vidro, tal como antes. Da mesma forma, na experiência de Torricelli, ao inverter o tubo de vidro na cuba com o mercúrio, surge o vácuo na extremidade fechada do tubo, mas a luz continua a atravessar a porção evacuada. Isso prova que uma matéria diferente do ar deve atravessar o vidro, sabendo-se que tanto o mercúrio quanto o vidro são impenetráveis ao ar. (ARAÚJO e SILVA, 2009, p.326)

Contrariando Isaac Newton, afirma ainda que cada partícula do meio em que a onda se propaga transmite o seu movimento às partículas que estão ao seu redor e não somente as que estão em linha reta que parte do ponto de luz (SOUZA, 2017).

O Tratado sobre a luz de Christian Huygens, de 1690, propõe uma teoria ondulatória e concentra-se em desvendar os fenômenos da propagação retilínea, a reflexão, a refração da luz e o fenômeno da birrefringência, observada na calcita, mas novamente, sua teoria não consegue explicar completamente os fenômenos da birrefringência e associá-los às explicações das cores e a polarização, pois, trata a luz como análogas às ondas sonoras, que são longitudinais e não transversais. (MARTIN; SILVA, 2015) Além disso, tanto Huygens quanto Newton, não acreditavam que o fenômeno da difração provia evidências suficiente de que a luz deveria ser uma onda (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004). Por causa do prestígio de Newton, o

comportamento ondulatório para a luz demoraria quase cem anos para ser aceito, no entanto, foi com Malus que esta explicação ganharia força.

### 3.1 A luz e o fenômeno ondulatório

Segundo Ribeiro *et al* (2016) a luz é uma onda eletromagnética, visível, onde o componente elétrico (E) é perpendicular ao componente magnético (B). É uma onda transversal ao eixo de propagação (eixo x).

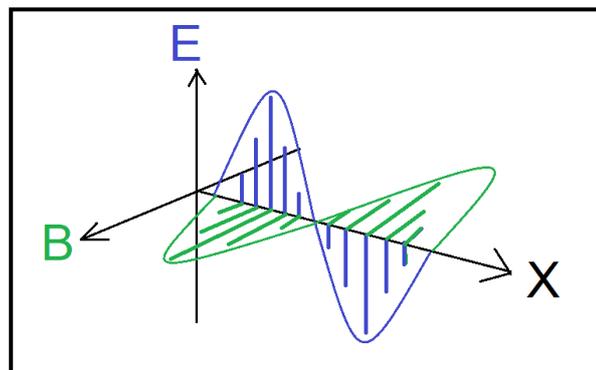


Figura 1 A Luz como onda eletromagnética transversal

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo Halliday, Resnick e Krane (2004), a luz é a região visível do espectro de radiação eletromagnética. [...] “podemos definir a luz visível como sendo a radiação eletromagnética em relação à qual o olho é sensível”. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004, p 4.)

Como espécie, adaptamos os receptores de nossos olhos à radiação mais intensa emitida pelo Sol, que é a fonte extraterrestre mais próxima. A região visível do espectro de radiação vai de aproximadamente 400 nm, do violeta, a 700 nm, do vermelho.

Ainda segundo Halliday, Resnick e Krane (2004), a luz pode ser emitida por um conjunto diluído de átomos (gás) sendo a luz características das propriedades individuais de cada átomo, ou um conjunto mais denso de átomos concentrados como um sólido, onde a luz pode ser associada às propriedades características do objeto como um todo. O estudo da luz emitida por um objeto

ou estrela distante, pode nos fornecer informações importantes sobre sua composição química, temperatura e movimento.

Em 1802, Thomaz Young formulou o princípio da interferência e mostrou experimentalmente de forma engenhosa, que a luz se comporta claramente como uma onda. Conseguiu explicar a difração da luz, e foi também o primeiro a introduzir a ideia da luz como onda transversal (1817).

### 3.2 Luz Comum

Segundo Halliday, Resnick e Krane (2004) a luz comum é uma onda transversal não polarizada, isto é, não apresenta um plano preferencial de polarização para oscilar.

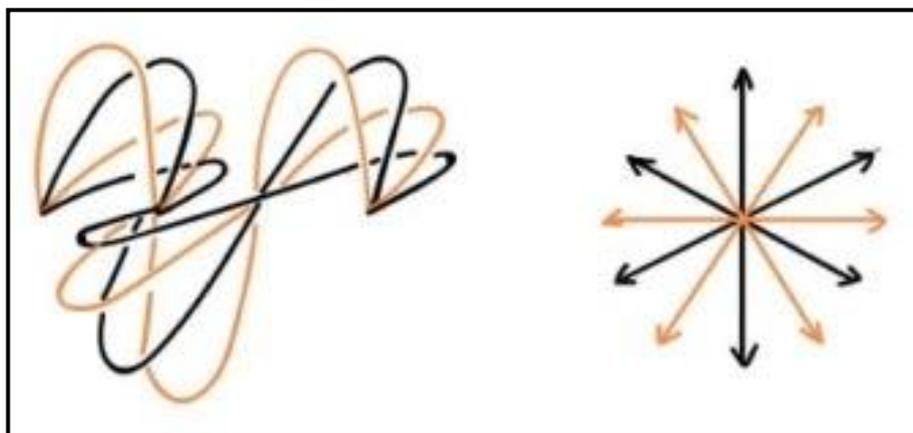


Figura 2 Planos de oscilações da luz comum

Fonte: o autor

As fontes de ondas eletromagnéticas como o Sol, lâmpada incandescente, também conhecidas como fontes comuns, os radiadores elementares são os seus átomos constituintes. No caso das lâmpadas, os radiadores são os átomos constituintes dos filamentos incandescentes. Por esta razão, a luz emitida por estas fontes consistem em uma superposição de várias ondas de frequências e fases aleatórias. Nelas, estes átomos se comportam de formas independentes, em vez de cooperativamente. Juntas, as emissões destas fontes oscilam em infinitos planos diferentes e desorganizados. Apresentam muitas componentes de polarizações aleatórias distribuídas ao redor da direção de propagação. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

### 3.3 A Polarização Da Luz

A polarização é o processo pelo qual ocorre a seleção de algumas direções de oscilações da onda. (MARTINS; PORTO, 2018) Consiste na seleção de um único plano de oscilação, bem definido. Isto só é possível se a onda for transversal ao eixo de propagação. (GREF, 2002)

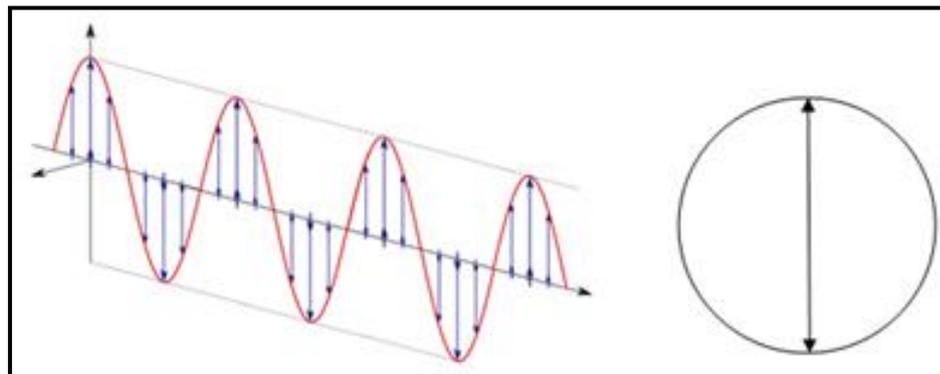


Figura 3 luz polarizada

Fonte : <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/luz-polarizada.htm>

Utilizando os resultados dos experimentos de Young e Fresnell acerca do comportamento ondulatório mencionado por Huygens no passado, Mallus explicou o fenômeno da birrefringência como a polarização de ondas transversais que foram refratadas pelas propriedades anisotrópicas da calcita. O engenheiro francês Augustin Fresnel (1788 – 1827) foi um forte defensor da teoria ondulatória. Conforme o autor citado, explicou os fenômenos da difração baseando-se na teoria ondulatória em uma época em que não era largamente aceita mesmo depois dos experimentos de interferências de dupla fenda de Thomas Young.

A experiência de Thomas Young em 1801 forneceu a primeira prova conclusiva da natureza ondulatória da luz. Matematicamente determinou as posições das interferências máximas e identificou sua dependência ao comprimento das ondas. O experimento de Young permitiu a primeira medição direta do comprimento de onda da luz. Embora não houvesse o Laser na época de Young, mesmo hoje, quando realizado com um laser o experimento da fenda dupla é conhecido como experimento de Young. (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

Em seus trabalhos, Fresnel, no início do século XIX, demonstrou que a difração, a interferência e a polarização poderiam ser explicadas em sua totalidade se a luz fosse interpretada como onda propagante e contínua. (LIMA; SILVA, 2019).

Adentrando o século XIX, Thomas Young trouxe vigor renovado ao programa da teoria ondulatória da luz, com seus experimentos relacionados ao fenômeno que batizou de interferência. Em sua comunicação à Royal Society de 24 de novembro de 1803 [10], apresentou os comprimentos de onda associados à luz visível, entre 400 e 700 nanômetros, o que fornecia não somente evidência do caráter ondulatório da luz, como também da natureza periódica deste movimento(LIMA e SILVA, 2019, p. 2).

Malus elaborou a lei da refração observando que os feixes ao atravessar os cristais adquiriam propriedades distintas da luz que era incidida inicialmente. Pela associação de dois cristais cortados convenientemente, percebeu que ao manter fixo o primeiro e girar o segundo, a luz transmitida aumentava ou diminuía de intensidade conforme o ângulo existente entre os dois. A luz era defasada à medida que o ângulo se aproximava de 90°. (LIMA; SILVA, 2019) Sua interpretação para isso foi que se uma onda linearmente polarizada incidir na direção perpendicular ao plano de polarização do cristal, ela será quase que totalmente absorvida e se a onda for linearmente polarizada em outra direção, a intensidade transmitida é dada pela defasagem provocada pelo ângulo conforme a equação abaixo:

$$I = I^{\circ} \text{Cos}^2 \theta$$

Equação 1 - Expressão da lei de Malus

Esta equação ficou conhecida como Lei de Malus, onde I corresponde à intensidade da luz transmitida.  $I^{\circ}$  é a intensidade da luz que foi incidida

inicialmente.  $\theta$  corresponde ao ângulo formado entre o plano de incidência e o plano de transmissão medido em graus.

À medida que, numa projeção ortogonal, o ângulo entre a componente campo elétrico da luz polarizada faz com o segundo cristal, temos que  $I < I^0$  a intensidade transmitida é menor que a intensidade incidida. A polarização é uma interação entre a luz e certos tipos de matéria no interior dos cristais ou de certos tipos de matérias contidas em algumas substâncias. Tal interação ocorre com a seleção de direções específicas de vibração da onda, no entanto, isto só se torna possível se a onda for transversal ao eixo de propagação. (GREF, 2002).

### 3.4 Polarizadores

Polarizadores são materiais constituídos por estruturas de tal modo a apresentarem diferentes propriedades nas diversas direções e funcionam semelhantes a “filtros ou peneiras” e ao atravessá-los, a luz é impedida de vibrar em todas as direções. Uma onda luminosa ao chegar ao polarizador, tem todas as componentes perpendiculares do campo elétrico absorvido e deixam passar apenas as componentes paralelas ao plano do polarizador, como são mostradas na representação da figura abaixo:

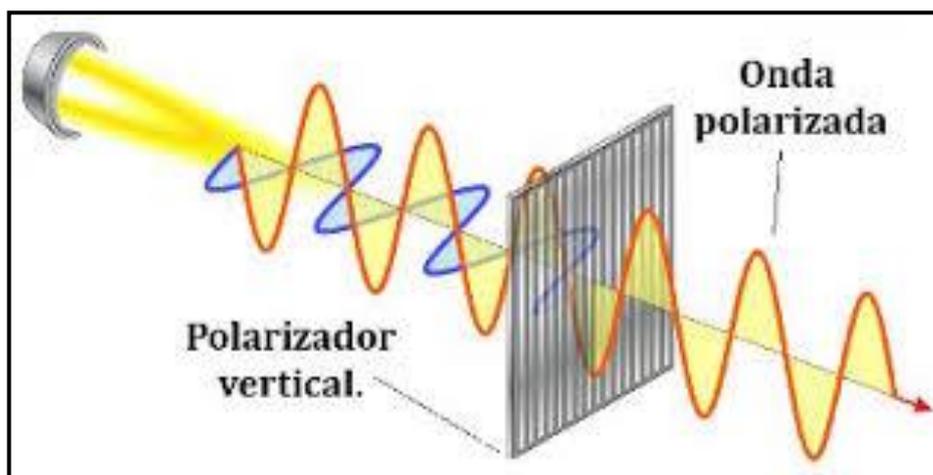


Figura 4 funcionamento de um polarizador de ondas

Fonte: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/luzpolarizada-.jpg>

### 3.5 Tipos De Polarização

Com os estudos baseados na polarização da luz diversos foram os mecanismos encontrados que permitiam a polarização total ou parcial de um feixe de luz. Na sequência, serão apresentados alguns métodos de polarização, no entanto, existem outros como a polarização por espalhamento, e polarização elíptica e polarização circular, que não se aplicam a este estudo, pois não fazem parte da história do desenvolvimento dos polarímetros. Esses tipos de polarização da luz foram importantes para o desenvolvimento de tecnologias novas, entre elas os cinemas 3D, onde há maior liberdade para movimentação do analisador em relação à fonte emissora de luz polarizada. Para os nossos estudos, vamos nos dedicar ao entendimento de apenas três tipos em especial que foram os precursores do desenvolvimento dos primeiros polarímetros e o tipo de material mais adequado para a construção do nosso polarímetro experimental, que é por dupla refração, reflexão e polarização por absorção seletiva.

#### 3.5.1 Polarização por dupla refração

A compreensão da polarização por birrefração pode ser mais bem explorada tornando-se clara as definições de alguns conceitos que envolvem dois fenômenos que ocorrem com a matéria, não somente no estado sólido como muitos têm em mente, que são a anisotropia e a isotropia (MENEZES, 2015). Ambas apresentam grande importância à mineralogia na identificação de rochas com minerais cristalinos, pois há o fenômeno da clivagem originando porções paralelas entre si sempre em ângulos e faces semelhantes ao cristal original (LEXICOTECA, 1985), na geoestatística analisando a estrutura e a composição dos solos e rochas de uma região georeferenciada (CAMARGO *et al*, 2001), em astro-física nos estudos da anisotropia cósmica observando a radiação proveniente de galáxias (MENEZES, 2015), nos estudos e desenvolvimento de vidros comuns ou temperados para a indústria (ABRAVIDRO, 2020), no entanto vamos nos deter ao estado sólido da matéria. Estes fenômenos estão associados as suas propriedades específicas e microscópicas. A anisotropia corresponde aos fenômenos em que as

propriedades físicas e químicas de um mesmo material se tornam gradativamente diferentes dependendo da direção em que se analisa ou se faça a medida (ABRAVIDRO, 2020). Quando os minerais formam cristais, o comportamento físico da matéria cristalina depende da direção do crescimento dos cristais. Em certas direções podem formar faces, outras o aparecimento de arestas ou vértices e da mesma forma nas redes cristalinas, a formação dos nós dependem da direção em que é observada. (LEXICOTECA, 1985)

A clivagem é uma particularidade bem específica e também uma excelente aliada na identificação de muitos minerais. A simetria dos cristais se manifesta justamente na anisotropia, pois a clivagem se apresenta de acordo com alguns planos de simetria, por exemplo, na calcita a clivagem ocorre em três planos simetricamente em relação ao eixo tríplice do cristal originando um sólido geométrico em formato de romboedro. Quando os valores das propriedades físicas são iguais em todas as direções o cristal é isotrópico para esta propriedade, no entanto nem todas as propriedades são iguais para todos os cristais, no caso da halite há anisotropia na clivagem e para as propriedades ópticas não, pois apresenta o mesmo índice de refração em todas as direções. Na calcita ocorre que há anisotropia tanto na clivagem quanto nas propriedades ópticas, pois o índice de refração não é o mesmo para diferentes direções (MVGP, 2020), o que acaba ocasionando o fenômeno da Birrefração de um feixe de luz natural ao ser incidido em uma de suas faces, originando dois raios. Este fenômeno foi observado pela primeira vez por Erasmus Bartholinus em 1669, onde descreve em sua publicação a birrefração ou birrefringência ao interpretar a dupla refração produzida por um cristal conhecido por espato-da-Islândia. (MOURA, 2014). Um feixe luminoso incidente na superfície deste cristal sofria uma refração ordinária, respeitando a lei de Snell-Descartes, e uma extraordinária, que não obedecia ao enunciado dessa lei. Posteriormente, o mesmo fenômeno também foi estudado por Christiaan Huygens (1629-1695), para o qual apresentou um estudo detalhado em seu *Tratado sobre a luz*, publicado em 1678 (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004).

A birrefringência se trata de uma propriedade óptica dos materiais que possuem diferenças em seus índices de refração para cada direção de propagação da luz. Geralmente são propriedades de estruturas cristalinas não

cúbicas. Isso se baseia nas diferenças de medidas entre as arestas na estrutura cristalina, causando a anisotropia. Quando tencionamos mecanicamente alguns materiais plásticos geralmente passam a exibir birrefringência e, pelo mesmo motivo, apresentam um lado mais estirado do que o outro e assim é muito comum encontrarmos superfícies birrefrativa em materiais como plásticos, celofane, fitas adesivas.

### **3.5.2 Polarização por reflexão.**

Em 1809 Malus descobriu que a luz poderia ser parcial ou totalmente polarizada por reflexão (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004). A reflexão ocorre quando um raio de luz comum, não polarizada, incide sobre determinada superfície que separa dois meios formando um ângulo qualquer com a reta normal. Após a incidência, o raio é reenviado ao meio de origem sem que sofra alterações em sua velocidade, frequência ou em seu comprimento de ondas. (JÚNIOR, 2020; HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004)

Para o vidro e outro material dielétrico, existe um ângulo de incidência bem específico, chamado de ângulo de Brewster, ( $\theta_p$ ) em que o coeficiente de reflexão para a componente no mesmo plano de incidência (plano da página) é zero. À componente perpendicular ao plano de incidência (página) (b) é totalmente polarizada linearmente e possui baixa intensidade luminosa. A componente paralela é inteiramente refratada, enquanto a perpendicular é parcialmente refletida e parcialmente refratada. Sua frequência não se altera, mas, sua velocidade e seu comprimento de ondas sim. Em resumo, o raio refratado possui alta intensidade e parcialmente polarizado e o perpendicular possui baixa intensidade e é totalmente polarizado, considerando-se o no ângulo  $\theta_p$ , conforme figura abaixo:

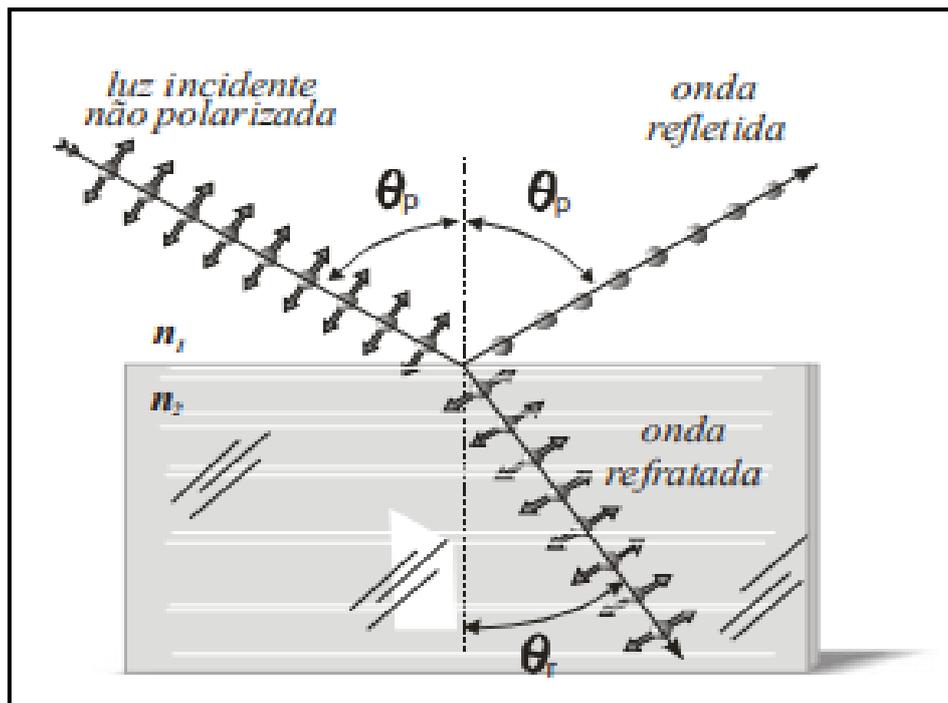


Figura 5 Polarização por reflexão

Fonte: [https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Polarizacao\\_da\\_luz.pdf](https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Polarizacao_da_luz.pdf)

À medida que o raio refratado atravessa novamente o ar e o vidro consecutivamente, formando uma pilha de placas de vidro, seu grau de polarização aumentará gradativamente desde que seu ângulo de incidência seja o de Brewster ( $\theta_p$ ). As componentes perpendiculares são removidas consecutivamente ficando apenas a paralela.

Lentes polarizadoras em óculos barram parcialmente a luz refletida, e também a luz refratada pela atmosfera, que chega aos olhos do usuário parcialmente polarizadas. Desta forma, o efeito é a diminuição do brilho. Este tipo de polarização foi utilizado por Malus ao construir seu polariscópio para os estudos.

### 3.5.3 Polarização por absorção seletiva.

Atualmente, existem muitos tipos de polarizadores no mercado, mas sua classificação é feita de acordo com seus materiais polarizadores. De acordo com Panasy (2018), eles são classificados principalmente nas seguintes categorias:

- I. Filmes polarizador de metal: Os sais metálicos, tais como ouro, prata e ferro, são adsorvidos no filme de polímero e depois reduzidos para fazer com que o filme seja polarizado com metal. Atualmente, apenas alguns refletores podem ser aplicados.
- II. Filme polarizador iodado: As moléculas de iodo são adsorvidas em PVA e depois estendidas para orientá-las, de modo que tenham propriedades ópticas polarizadas. É um dos principais tipos presentes no mercado de películas polarizadoras e sua tecnologia de fabricação está bem desenvolvida. A vantagem é que a transmitância e o grau de polarização são altos, e o grau de polarização do valor teórico é próximo de 100% e a transmitância é de 50%. A desvantagem é que o desempenho de polarização das moléculas de iodo é facilmente danificado pelas intempéries como altas temperaturas e umidades. Filme polarizador do sistema de corante: Os corantes orgânicos com duas cores foram adsorvidos em PVA e depois estendidos para orientá-los, de modo que tivessem propriedades de rotação parciais. É também um dos principais tipos de mercado de polarizadores. As vantagens são a resistência às intempéries, frequentemente usada em produtos com alta confiabilidade, mas é difícil obter alto grau de polarização e transmitância, e o preço é maior do que o do polarizador de moléculas de iodo.
- III. Filme polarizador de polietileno: Utilizando ácido como catalisador, o PVA é desidratado, de modo que as moléculas de PVA contenham certa quantidade de estrutura de etileno, e depois estendidas para orientar, de modo que possuam propriedades de rotação parciais. Atualmente, a tecnologia não está muito desenvolvida e é menos aplicada.

O tipo mais comum utilizado é o filme polarizador de PVA iodado que recebe um revestimento nas duas faces com uma película protetora de polímeros, transparente, comercialmente conhecida como "TAC". Figura abaixo:

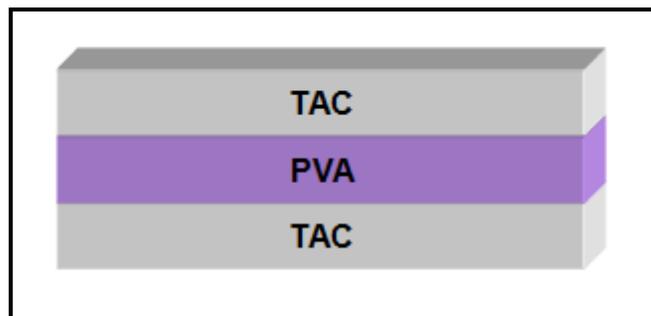


Figura 6 Estrutura da película polarizadora

Fonte: Panasys, 2020

Considera-se assim a mais utilizada, por causa da facilidade e custo de sua obtenção industrialmente diante da alta demanda comercial para aplicações em equipamentos eletrônicos com visores, displays, telas de TVs e monitores (HALYDAY; RESNICK; KRANE, 2004; PANASYS, 2018). É conhecida comercialmente como lâmina polaróide e é o tipo de película utilizada em nossos estudos e experimentos.

A direção de polarização da película é determinada durante o processo de sua fabricação, inserindo certas moléculas orgânicas, no caso PVA, de cadeia longa em uma lâmina de plástico flexível e em seguida esticando-se a lâmina de modo que as moléculas fiquem alinhadas paralelamente.

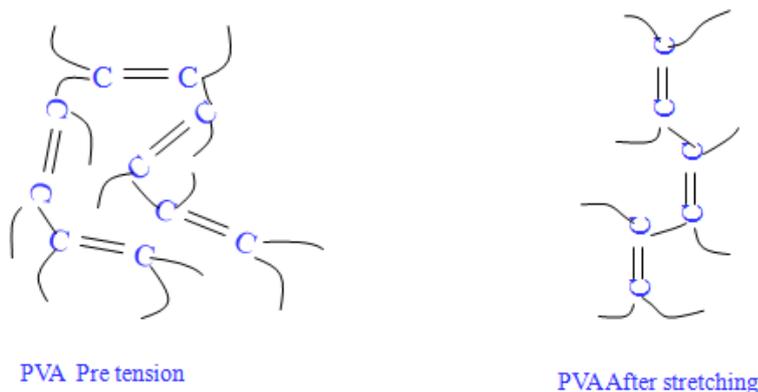


Figura 7 Tensionamento das moléculas polarizadoras

Fonte: <http://pt.panasyslcd.com/Content/upload/2018191888/201806291423598905524.png>

Nela, a luz não polarizada é incidida e a radiação com seu vetor  $\vec{E}$  paralela às moléculas longas são fortemente absorvidos, enquanto a radiação

com vetor  $\vec{E}$  perpendicular a elas atravessa a lâmina já sendo um feixe polarizado.

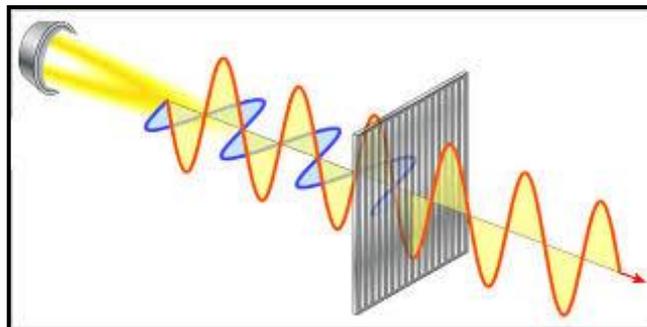


Figura 8 Seleção Do Plano De Oscilação

Fonte: <https://static.manualdaquimica.com/conteudo/images/um-isomero-opticamente-ativo-capaz-polarizar-luz-5ad5070722690.jpg>

### 3.6 Atividade Óptica

É a maneira pela qual os componentes de um cristal ou as moléculas de uma solução interagem com a luz plano-polarizada, podendo provocar o desvio do plano original de oscilação da radiação incidida para ângulos à esquerda, à direita, sendo opticamente ativas, ou não desviar sendo simplesmente opticamente inativo.

### 3.7 Polarimetria

A polarimetria é uma técnica que se baseia no estudo da medição e dimensionamento dos fenômenos que envolvem a rotação da radiação eletromagnética polarizada provocada ao passar por uma amostra (RIBEIRO, 2012). Seus primeiros estudos iniciaram no início do século XIX com a descoberta da polarização da luz por Etienne Malus, em 1808, quando observou em seus experimentos o fenômeno da polarização da luz ao atravessar um cristal de espato da Islândia, um mineral de carbonato de cálcio conhecido como calcita (RIBEIRO, 2012; LIMA; SILVA, 2019).

A polarimetria é realizada através do uso de um equipamento chamado polarímetro.

### 3.8 Polarímetro

O polarímetro é um instrumento utilizado para investigar a atividade óptica e medir o ângulo de rotação produzido pelo desvio da luz polarizada quando atravessa uma amostra sólida, para análise de cristais, ou para soluções líquidas de substâncias opticamente ativas. O uso de luz polarizada para estudar as propriedades das substâncias opticamente ativas e enantiômeros iniciou-se com Jean Baptiste Biot e Louis Pasteur por volta de 1812 (BAGATIN *et al.*, 2005). Para realizar seus estudos Biot desenvolveu um equipamento que o chamou de polarímetro.



Figura 9 Polarímetro De Biot

Fonte: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc21/v21a07.pdf>, p. 35

Segundo Bagatin *et al.* (2005) e Fauth e Batista (2018), este equipamento inicialmente era constituído por uma fonte de luz comum que passava por um prisma de calcita onde era polarizada (polarizador). Um orifício direcionava o feixe luminoso para atravessar a câmara da amostra. O feixe era então recolhido por um segundo prisma de calcita onde era analisado (analisador) determinando-se, com o auxílio de um transferidor, o ângulo do desvio do plano de polarização da luz emitida após passar pela amostra conforme a figura abaixo:

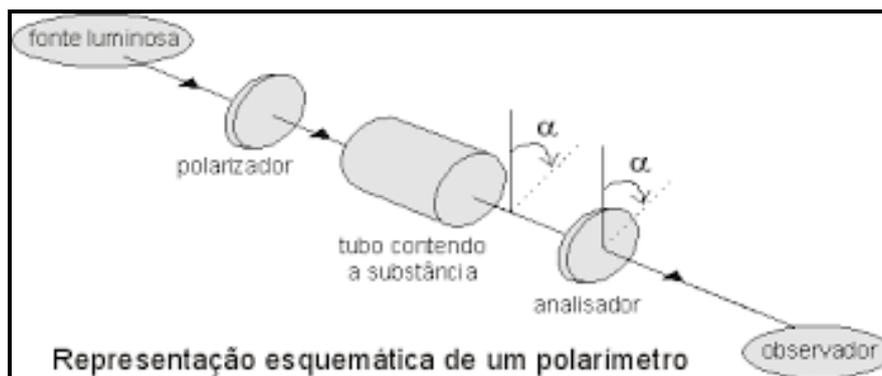
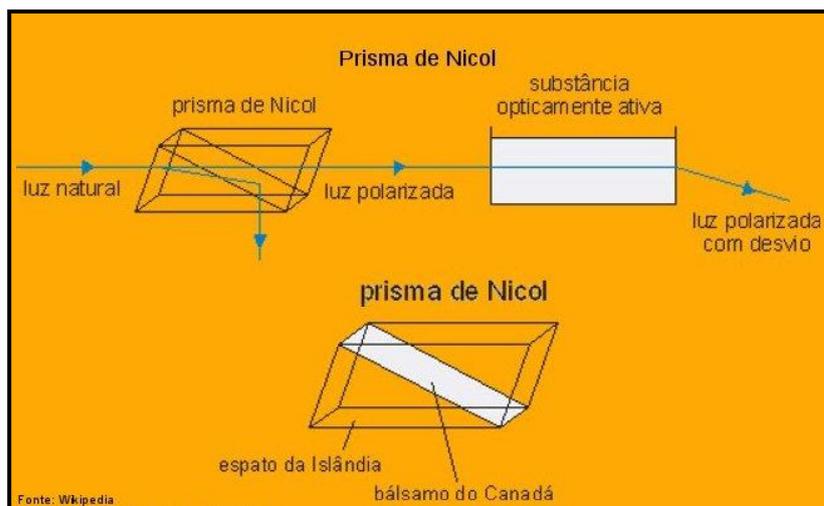


Figura 10 Esquema De Um Polarímetro

Fonte: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSrF9YLM8QE\\_jbVrk0aZnciJB3CyND4XLg7hg&usqp=C](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSrF9YLM8QE_jbVrk0aZnciJB3CyND4XLg7hg&usqp=C)  
AU

Posteriormente a sua invenção foi recebendo aperfeiçoamentos como o realizado por Ventzke em 1842, que adaptou um prisma de Nicol ao mesmo, separando o feixe de luz em dois componentes com polarizações perpendiculares entre si, aproveitando somente um dos feixes de luz (BAGATIN *et al.*, 2005).

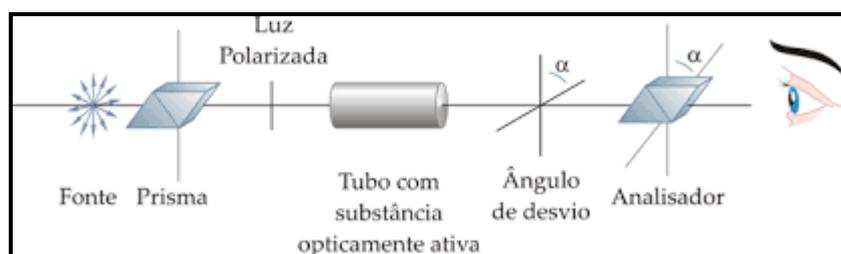
O prisma foi desenvolvido pelo físico escocês William Nicol (1768-1851) em 1828. Consiste num dispositivo para a obtenção de luz polarizada plana. O funcionamento do prisma se baseia na propriedade da dupla refração sofrida por um feixe de luz natural quando atravessa o cristal de calcita. São originados dois raios polarizados perpendicularmente entre si. Um chamado de ordinário e em fase com o raio original e outro chamado extraordinário, e fora de fase com o original. Para eliminar um dos raios foi desenvolvido um prisma cortado em dois com muita precisão com ângulo de  $68^\circ$ . Estes foram colados entre si com uma resina chamada de bálsamo-do-canadá transparente. O raio ordinário atinge a resina e é refletido, pois é mais refringente que o cristal. Somente o raio extraordinário atravessa o prisma gerando um feixe de luz polarizado. (UNESP, 2015)



**Figura 11 Prisma De Nicol Como Polarizador**

**Fonte:** [http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/uploads/4/831prisma\\_de\\_nicol.jpg](http://www.quimica.seed.pr.gov.br/modules/galeria/uploads/4/831prisma_de_nicol.jpg)

Outro aperfeiçoamento foi dado por Mitscherlich, que introduziu o uso de luz monocromática. Utilizou lâmpadas de sódio, que apresenta comprimento de onda na chamada linha “D” cujo comprimento de onda era da faixa de 580nm



**Figura 12 Esquema Do Polarímetro Aperfeiçoado Por Mitscherlich**

**Fonte:** <https://www.profpc.com.br/2002-41-133-23-i005a.gif>

Segundo Bagatin *et al.* (2005), o desenvolvimento técnico dos polarímetros foi observado ao mesmo tempo tanto na França quanto na Alemanha. O equipamento mostrou ser eficiente na análise de açúcares. Em 1860 o governo da Prússia resolveu taxar e controlar a qualidade do açúcar refinado. A adoção da taxação foi aprovada e se estendeu rapidamente a outros países aumentando a importância estratégica da boa qualidade das análises.

Biot construiu o primeiro polarímetro destinado exclusivamente às análises de açúcares e este recebeu o nome de sacarímetro. O equipamento

trata-se de um polarímetro comum com uma escala com a conversão indicando valores percentuais em massa de sacarose.

Após aperfeiçoamentos os polarímetros comerciais passaram a ser constituído basicamente por uma fonte de radiação monocromática, um prisma Nicol que atua como polarizador da radiação utilizada, um tubo para acondicionamento da solução com a amostra, um prisma de Nicol como analisador e um detector que pode ser o olho do analista ou um sensor fotoelétrico.

### **3.9 A lei de Biot e a rotação específica**

Segundo Bagatin *et al.* (2005) é importante salientar que o ângulo de rotação provocado pela solução depende de vários fatores sendo que os principais são:

- I- Poder rotatório óptico, que é uma propriedade específica e inerente a cada substância quiral. Esta é uma função de seus grupamentos atômicos e do arranjo espacial destes na molécula.
- II- A temperatura da amostra.
- III- A concentração das substâncias usadas tem relação direta e possui papel importante.
- IV- Espessura da amostra percorrida pela luz, ou seja, o caminho óptico.
- V- Também tem grande influência o comprimento de onda (cor) da luz utilizada.

Biot foi o responsável por uma das primeiras e mais importante das aplicações para o seu invento. Após observar que a atividade óptica de cada substância possui valores específicos e bem particulares não demorou muito para elaborar os parâmetros da notória nova metodologia de análise de açúcares. A aplicação mais comum da polarimetria é na determinação da concentração de substâncias opticamente ativas presentes em uma solução. Por meio da lei de Biot, é possível realizar os cálculos desde que sejam conhecidos a substância presente na solução e o desvio óptico específico.

Cada substância possui um desvio óptico, pois, esta é uma propriedade específica da matéria assim como o ponto de ebulição e fusão, densidade etc.

O desvio angular do plano da luz polarizada ao atravessar uma solução depende do número de moléculas opticamente ativas (quirais) que a luz encontra em sua trajetória, ou seja, sua concentração. Este ângulo também é proporcional ao caminho óptico, ou seja, o espaço percorrido pela luz na cubeta de análise do polarímetro. Com o objetivo de obter os desvios angular específico, Biot elaborou a seguinte equação:

$$[\alpha_D^{20}] = \frac{\alpha}{LC}$$

Equação 2 - Rotação específica padrão

$[\alpha_D^{20}] =$  é a rotação específica padrão da substância opticamente ativa na temperatura de 20° C, expressa em graus angulares no comprimento de onda correspondente à linha D do espectro de emissão do sódio, 598nm.

$\alpha$  = desvio angular observado no polarímetro.

L= comprimento da cubeta em dm.

C= concentração da solução em g/dm<sup>3</sup>

### 3.9.1 Exemplo aplicação da Lei de Biot

Exemplo 1. Uma amostra de xarope de sacarose foi levada para o laboratório com o objetivo de calcular sua concentração em g/L. Durante a análise no polarímetro a leitura observada foi de +10,1° de desvio óptico (para a direita). Sabendo-se que a cubeta de análise possui caminho óptico correspondente a 1 dm, calcule a concentração da amostra.

Dados:  $[\alpha_D^{20}] = +66,5^\circ$ .

$$[\alpha_D^{20}] = \frac{\alpha}{LC}; \quad = +66,5^\circ = \frac{10,1^\circ}{1 \text{ dm } C}; \quad C = \frac{10,1^\circ}{66,5^\circ \times 1 \text{ dm}} = 0,152 \text{ g/mL portanto } 152 \text{ g/L}$$

## REFERÊNCIAS

BRAGA, N. C. Como funcionam os LEDs? **Revista eletrônica Instituto Newton C. Braga**. Art. 96 publicado em 08/12/2009. Disponível em: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096.html?highlight=WyJsZWQiLCJsZWQncylslidsZWQiLCInbGVkYjlsidsZWQnLCJd>. Acesso em 02/03/2021.

BAGATIN, O.; Simplício, F.A.; Santin, S. M. O.; Filho, O.S. Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica com abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 21, p. 34-38, 2007.

SOUZA, Líria Alves de. "Açúcar Invertido"; Brasil Escola. disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/acucar-invertido.htm>. Acesso em 11 de janeiro de 2021.

Sollitari, V. L. P. P. Ácido Lático, descubra os benefícios desse ativo.. Disponível em: <https://www.manipulae.com.br/artigos/acido-latico>. Acesso em 11 fev 2020.

SORRENTINO,V. Aspartame o doce veneno. Disponível em: <https://drvictorsorrentino.com.br/aspartame-o-doce-veneno/#:~:text=aspartame%20%c3%a9%20o%20nome%20t%c3%a9cnico,pequisas%20de%20uma%20droga%20anti%c3%balcera>. Acesso em 11 de janeiro de 2021.

ABRAVIDRO. Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidros Planos. Acesso em 28/12/2020 disponível no endereço: <https://abravidro.org.br/precisamos-falar-sobre-anisotropia/>

BAGATIN, O. SIMPLICIO,; F. I.; SANTIN FILHO, O. ; SANTIN, . Rotação de Luz Polarizada por Moléculas Quirais. **Química Nova**, v. 21, p. 34-38, 2005.

BAGATIN, O.; Simplício, F.A.; Santin, S. M. O.; Filho, O. S. Rotação de luz polarizada por moléculas quirais: uma abordagem histórica com abordagem em sala de aula. **Química Nova na Escola**, v. 21, p. 34-38, 2007.

CAMARGO, E. C.G; FELGUEIRAS, C. A; MONTEIRO, A. M. V. A Importância da Modelagem da Anisotropia na Distribuição Espacial de Variáveis Ambientais Utilizando Procedimentos Geoestatísticos. Anais da X SBSR- Foz do Iguaçu, PR. 2001. INPE, p. 395, 402. Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/pessoais:abtmartins:0395.402.280.pdf>.

FAUTH, L. H. A; BATISTA, P. D. Montagem de um sistema optoeletrônica para medida da rotação do plano de polarização da luz. **Notas Técnicas**, v. 8, n. 2, p. 36–42, 2018. CBPF- Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas.

GRAF: Grupo de reelaboração do ensino de Física. Física2: Física Térmica/óptica /GRAF. 5º Ed. 1. Reimpr. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

GUIMARÃES, L. R. Série professor em ação: Atividades para as aulas de ciências no ensino fundamental. São Paulo, Nova Espiral, 2009.

HALLIDAY, D; ROBERT, R.; KRANE, K. S. Fundamentos de Física 4, Ótica e Física Moderna. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HOFSTEIN, A.P. e LUNETTA, V. The laboratory science education: Foundation for the twenty-first century. *Science Education*, v. 88, p. 28-54, 2003.

JÚNIOR, J. S. S. "Lei de Brewster"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/lei-brewster.htm>. Acesso em 21 de dezembro de 2020.

KRAPAS, S. Livros didáticos: Maxwell e a transposição didática da luz como onda eletromagnética. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** (Cessou em 2001. Cont. ISSN 1677-2334 Caderno Brasileiro de Ensino de Física), v. 28, p. 564-600, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p564/20251> acessado em 15/06/2020.

KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; UZEDA, D. O Tratado sobre a luz de Huygens: comentários. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, p. 123-151, 2011. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n1p123>. Acesso em 15/06/2020.

LEXICOTECA-MODERNA Enciclopédia Universal, Lisboa: Círculo de leitores, 1985. Tomo II.

LIMA, M. C. de; Silva, L. Sobre as origens das Leis de Fresnel. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Abr 2019, v. 41, nº 3. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172019000300702](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172019000300702). Acesso em 15/06/2020.

MARTINS, A. P. B.; PORTO, M. B. D. S. M. A Luz, sua História e suas tecnologias: curso de atualização para professores da educação básica. Programa de Pós-Graduação de Ensino em Educação Básica - PPGEB Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira – CAp/UERJ. Rio de Janeiro 2018. Disponível em:

[https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431389/1/Livro%20\\_%20A%20Luz%20sua%20Historia%20e%20suas%20Tecnologias\\_Atualizacao%20Professores%20da%20Ed%20Bas\\_Ana%20Paula%20Martins\\_Maria%20Beatriz%20Porto.pdf](https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/431389/1/Livro%20_%20A%20Luz%20sua%20Historia%20e%20suas%20Tecnologias_Atualizacao%20Professores%20da%20Ed%20Bas_Ana%20Paula%20Martins_Maria%20Beatriz%20Porto.pdf) acessado em 15/07/2020.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. As pesquisas de Newton sobre a luz: uma visão histórica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 37 (4): 4202-1 a 4202-32. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000400202&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-11172015000400202&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em 15/06/2020.

MENEZES, R. S. Genêro, Ensino e Pesquisa em Matemática: um estudo de caso. Tese (Doutorado em Física) Instituto de Física - Universidade Federal da Bahia. Salvador, Bahia, 2015.

FREITAS, T. R. Metodologia de pesquisa. Disponível em: [http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1112856\\_2013\\_cap\\_4.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/1112856_2013_cap_4.pdf). Acessado em 15/10/2020.

MOURA, B. A. Isaac Newton e a dupla refração da luz (Isaac Newton and the double refraction of light). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4602 (2014). Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172014000400021](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000400021). Acessado em 10/02/2021.

MVGP- Museu virtual geológico do pampa. Acessado em 28/12/2020, disponível em: <https://sites.unipampa.edu.br/mvgp/propriedades-fisicas-dos-minerais/#C3>. Acessado em 10/02/2021.

NEVES, D. A. B. Meta-aprendizagem e Ciência da informação: uma reflexão sobre o ato de aprender a aprender. **Perspectivas em Ciências da Informação**. v. 12. vº 3. p. 116 – 128. Set/dezembro 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/pci/v12n3/a09v12n3.pdf>. Acessado em 22/10/2020.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e Abordagens das Atividades Experimentais no Ensino de Ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae** (ULBRA), v. 12, p. 139-153, 2010.

PANASYS. Conhecimento básico do filme polarizador. Jun 29, 2018. Disponível em: <http://pt.panasyslcd.com/info/basic-knowledge-of-polarizing-film-31707954.html> acesado em 18/11/2020.

RIBEIRO, A. R.; COELHO, L.; BERTOLAMI, O.; ANDRÉ, R. Luz - História, Natureza e Aplicações. Rev. **Sociedade Portuguesa de Física**. V. 39. Nº 1/2, p. 6-12. 2016. Disponível em: <https://www.spf.pt/magazines/GFIS/119/pdf>. Acessado em 10/10/2020.

RIBEIRO, L. P. D. Espectropolarimetria e Polarimetria baseada em cristas birrefringentes para as regiões espectrais do visível e infravermelho próximo. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Química. Campinas, São Paulo, 2012.

ROSA, C. A. P. A História da Ciência – O Pensamento Científico e a Ciência no século XIX. Vol. 2. 2ªedi Fundação Alexandre de Gusmão. Brasília, 2012.

ROSA, C. A. P. História da ciência: o pensamento científico e a ciência no século XIX / Carlos Augusto de Proença. – 2. ed. – Brasília : FUNAG, 2012. 3 v. em 4; 23 cm.

Souza, M. M. Construindo com materiais de baixo custo uma Anti-Luneta Polarizadora e o Sistema Solar, Tese (mestrado profissional em Física) Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2017.

SUART, R. D. C.; MARCONDES, M. E. R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. Ciências & Cognição, v. 14, n. 1, p. 50-74, 2009.

SULZBACH, A. C.; LÜDKE, E. O Ensino de Isomeria Óptica por meio da utilização de um polarímetro didático. **Vivências** (URI. ERECHIM), v. 13, p. 333-342, 2017.

UNESP. Mineralogia óptica – Polarização por dupla refração. [S.l.] [2015?]. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/petrologia/nardy/mopoldupla.html>> Acesso em: 10 nov. 2020.