

**NEUZA DE SOUZA OLIVEIRA**



**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DO VIDRO UTILIZANDO  
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO.**

JI-PARANÁ  
DEZEMBRO/2010

**NEUZA DE SOUZA OLIVEIRA**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DO VIDRO UTILIZANDO  
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO.**

.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Física de Ji-Paraná, Universidade Federal de Rondônia, campus de Ji-Paraná, como parte dos quesitos para Obtenção do título de Licenciado em Física, sob orientação do Professor Dr. Edgar Martinez Marmolejo.

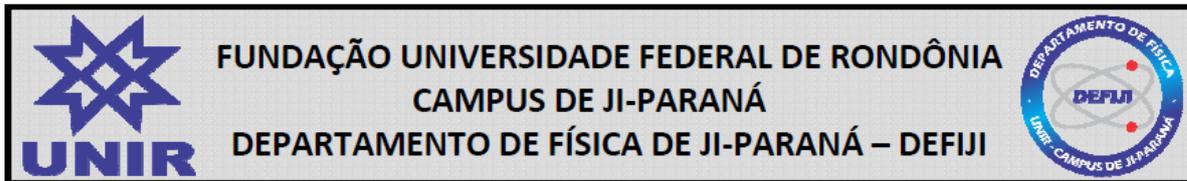
Ji-PARANÁ  
DEZEMBRO/2010

Oliveira, Neuza de Souza  
O48d Determinação do índice de refração do vidro utilizando materiais de  
2010 baixo custo / Neuza de Souza Oliveira ; orientador, Edgar Martinez  
Marmolejo. --- Ji-Paraná, 2010.  
63 f. : Il. ; 30cm

Trabalho de conclusão do Curso de Licenciatura em Física  
(graduação) – Universidade Federal de Rondônia (campus de Ji-  
Paraná), 2010  
Bibliografia

1. Física. 2. Ótica (Física). 3. Refração. 4. Física – Experimentação.  
I. Marmolejo, Edgar Martinez. II. Universidade Federal de  
Rondônia(campus de Ji-Paraná). III. Título

CDU: 535



**ATA DE AVALIAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE  
LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA.**

Aos 15 dias do mês de dezembro do ano de 2010, às 10 horas na sala n° 2, bloco n° 1 campus da UNIR de Ji-Paraná, reuniu-se a banca Julgadora composta pelo professor orientador Edgar Martinez Marmolejo e pelos examinadores Carlos Mergulhão Junior e Robinson Figueroa Cadillo, para avaliarem o Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Licenciatura Plena em Física, intitulado **“DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DE UM VIDRO UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXO CUSTO”**, da discente Neuza de Souza Oliveira. Após a apresentação, o candidato foi arguido pelos integrantes da Banca Julgadora por 40 minutos. Ao final da argüição, a Banca Julgadora, em sessão reservada, aprovou a candidata com nota 8 (oito), em uma avaliação de 0 (zero) a 10 (dez). Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 11 horas e 20 minutos, dela sendo lavrada a presente ata, assinada por todos os membros da banca julgadora.

---

Prof. Dr. Edgar Martinez Marmolejo – DEFIJI/CJP/UNIR  
Orientador

---

Prof. Dr. Carlos Mergulhão Junior – DEFIJI/CJP/UNIR

---

Prof. Dr. Robinson Figueroa Cadillo – DEFIJI/CJP/UNIR

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho com muito carinho ao meu esposo Gezoir que compartilha dos meus sonhos, e sempre me incentiva.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me concedido concretizar mais uma conquista em minha vida.

Em especial ao meu querido esposo Gezoir Corrêa de Oliveira pelo apoio incondicional.

Agradeço a minha mãe Maria de S. Lopes que não mediu esforços para me oferecer sempre o melhor e ao meu guerreiro pai Vergílio Anastácio, mesmo não estando atualmente presente mas foi quem contribuiu de forma significativa para o desenvolvimento da minha personalidade. Seus exemplos contribuíram de forma imprescindível para que eu pudesse crescer e me tornar o que sou. A todos os meus irmãos que me apoiaram.

Ao professor orientador Dr. Edgar M. Marmolejo pela paciência e o tempo reservado a mim e pelo crítico o qual espero ter adquirido pelo menos uma pequena parte e à banca professores Dr. Carlos M. Junior e Dr. Robinson F. Cadillo

Ao professor Dr. Walter T. Junior orientador do projeto (PIBID) do qual eu participo e à todos professores da UNIR.

Aos meus colegas da classe pelos momentos que ficamos juntos empenhados no mesmo objetivo e também pelos momentos de descontração.

Enfim, à todos que de forma indireta contribuiu para a realização de mais esse sonho.

## **EPIGRAFE**

A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.

Albert Einstein.

## **RESUMO**

Neste trabalho objetiva-se mostrar o papel da experimentação no ensino da Física. Através de um exemplo prático, há demonstração de um experimento para determinar o índice de refração de uma placa de vidro em função do desvio sofrido pelo raio de luz ao passar por ela é um experimento construído com materiais de baixo custo onde discute conceitos de óptica mais precisamente a refração da luz. A observação desses fenômenos luminosos fascina o homem desde muito tempo, e a refração é a responsável por uma série de fenômenos que vemos no dia-a-dia como, por exemplo, em razão da diferença de velocidade entre dois meios de propagação da luz a profundidade de uma piscina parece menor do que realmente é. No entanto para compreensão do fenômeno em questão fatos histórico sobre a evolução dos estudos nessa área foram enfatizados. São apresentadas possíveis abordagens relacionadas à lei de Snell-Descartes e fala-se da experimentação como uma forma de favorecer o estabelecimento de um elo entre o mundo dos objetos, o mundo dos conceitos, leis e teorias e o das linguagens simbólicas e algumas considerações finais referentes aos procedimentos e resultados obtidos na experimentação.

**Palavras chave:** Aprendizagem Significativa. Experimentação. Fenômeno. Refração.

## **ABSTRACT**

This work aims to show the role of experiments in physics teaching. Through a practical example, there is a demonstration of an experiment to determine the refractive index of a glass plate as a function of the deviation experienced by the ray of light passing through it is an experiment built with low cost materials which discusses the concepts of more optical precisely the refraction of light. The observation of luminous phenomena fascinated man since a long time, and refraction is responsible for a series of phenomena we see in day-to-day, for example, because of the speed difference between two ways of spreading light depth a swimming pool looks smaller than it really is. However to understand the phenomenon in question historical facts about the evolution of studies in this area should be emphasized. Possible approaches are presented related to Snell's law and talk about the trial as a way of encouraging the establishment of a link between the object world, the world of concepts, laws and theories of language and symbolic, and some final remarks regarding procedures and experimental results.

**Key words:** Meaningful Learning. Experimentation. Phenomenon. Refraction.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Tipos de telescópios refrativos.....	15
Figura 3.1 – Absorção dos raios de luz.....	18
Figura 3.2 – Refração dos raios de luz.....	19
Figura 3.3 – Plano de incidência.....	20
Figura 3.4 – Raio de incidência $i$ , raio refletido $r$ e a reta normal $N$ .....	21
Figura 3.5 – Raios refletidos.....	21
Figura 4.1– Espectro de luz visível.....	23
Figura 4.2 – Decomposição da luz através de um prisma.....	24
Figura 4.3 – Esquema para representar os desvios que um raio sofre ao incidir sobre uma superfície plana e se propagar em meios diferentes.....	25
Figura 4.4 – O desvio entre os raios incidente e refratado.....	25
Figura 4.5 – O desvio entre os raios incidente e refratado.....	26
Figura 4.6 – Exemplo de refração da luz que pode ser observado.....	26
Figura 4.7 – Índice de refração absoluto.....	27
Figura 4.2.1 – Refração de luz solar dentro de uma gotícula de água.....	31
Figura 5.1– Detalhes de uma fibra óptica.....	33
Figura 5.2 – Reflexão interna total em uma fibra ótica.....	34
Figura 5.3 – Reflexão interna total em uma fibra óptica.....	35
Figura 5.4 – Feixe de fibras ópticas.....	37
Figura 7.1– Esquema para representar o desvio sofrido pelo raio de luz ao passar pela placa de vidro.....	45
Figura 7.1.1– Materiais durante a montagem.....	48
Figura 7.1.2– Detalhes do laser fixado no tubo de PVC.....	49
Figura 7.1.3 – Detalhes da placa de vidro utilizada.....	50
Figura 7.1.4 – detalhe do suporte da placa de vidro.....	51
Figura 7.1.5 – detalhe do anteparo.....	52
Figura 7.1.6 – detalhe da canaleta utilizada.....	53
Figura 7.2.1: detalhes do experimento após a montagem.....	54
Quadro 7.3.1– Dados dos ângulos de incidência, das medidas e dos índices de refração obtidos.....	55
Gráfico 7.3.1– Desvio ( $d$ ) sofrido pelo raio em função do ângulo de incidência ( $i$ ) sobre a placa.....	56

Gráfico 7.3.2 – Índice de refração do vidro versus ângulo de incidência.....	57
Figura 7.3.1– Exposição do experimentos na semana de exatas da UNIR-2009.....	58
Figura 7.3.2 – Exposição de experimentos na semana de exatas da UNIR-2009.....	59
Figura 8.1– Elipsômetro.....	62

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2. ALGUNS FATOS HISTÓRICOS A RESPEITO DA ÓPTICA.....</b>	<b>15</b>
<b>3. PROPAGAÇÃO DA LUZ .....</b>	<b>17</b>
<b>4. O QUE É ÍNDICE DE REFRAÇÃO.....</b>	<b>23</b>
4.1. AS LEIS DA REFRAÇÃO.....	28
4.1.1. Quem descobriu as leis da refração.....	29
4.2. ARCO-ÍRIS UM FENÔMENO DA REFRAÇÃO E REFLEXÃO.....	30
<b>5. A IMPORTÂNCIA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DOS MATERIAIS NO CAMPO TECNOLÓGICO.....</b>	<b>33</b>
<b>6. A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA.....</b>	<b>39</b>
6.2. A UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS COMO FONTE DE APRENDIZADO SIGNIFICATIVO.....	41
<b>7. MODELO ALTERNATIVO PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE REFRAÇÃO DE UMA PLACA DE VIDRO UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXO CUSTO.....</b>	<b>45</b>
7.2. MATERIAIS UTILIZADOS.....	47
7.3. MÉTODOS UTILIZADOS.....	53
7.4. RESULTADOS ENCONTRADOS E DISCUSSÃO.....	55
<b>8. APARELHO UTILIZADO ATUALMENTE PARA MEDIR O ÍNDICE DE REFRAÇÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>9. CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>

## 1. INTRODUÇÃO.

Os experimentos construídos com materiais de baixo estão se tornando a mais nova proposta de ensino a fazer parte do ambiente educacional. Utilizam-se materiais de baixo custo e até mesmo considerado sem valor para a confecção de experimento onde os alunos participam da construção de forma criativa expandindo ainda mais o seu conhecimento.

Diante do paradigma educacional no qual estamos vivendo, exige-se uma reflexão sobre as estratégias usadas em sala de aula para o ensino da Física no sentido de tornar as aulas mais ricas e atraentes. Para aproximarmos dessa idealização surge uma necessidade de trabalhar os conteúdos de uma forma diversificada para despertar maior interesse da parte do aluno. Os conteúdos escolares nem sempre são transmitidos de forma atraente aí surgem perguntas como que estratégia adotar para tornar a escola mais atraente e enriquecer as aulas? Como o educador pode transmitir conhecimentos de maneira mais eficaz e prazerosa, tanto para o aluno como para ele próprio usando apenas recursos disponíveis naquele momento? Buscar demonstrar fenômeno visualmente tem sido uma forma bastante eficiente na busca de criar situações de aprendizado significativo. Incorporar uma atividade prática logo após iniciar um novo conteúdo, traz mais clareza sobre o novo assunto. E quando se trata de experimentos construídos com material de baixo custo, esta sim envolve ainda mais os alunos além de se enquadrar nas condições reais da prática do professor no dia-a-dia. A experimentação é uma técnica onde os alunos deixam de ser apenas espectadores e passam a ser participantes nas atividades, e são propostas passíveis de serem adotadas, isto é, são recursos de fácil aplicação e que podem trazer resultados. Se os professores souberem utilizar metodologias diferenciadas, no sentido de se criar situações que facilitem verdadeiras aprendizagens com certeza a prática educativa será bem mais prazerosa e promissora.



## 2. ALGUNS FATOS HISTÓRICOS A RESPEITO DA ÓPTICA.

A área de óptica é um campo de estudos fascinante, ela é o campo da Física que estuda a propagação da luz e sua interação com a matéria. Em muitas áreas da ciência, o entendimento sobre determinados conceitos pode ser difícil porque seus efeitos não são facilmente visualizados. Na óptica a visualização dos fenômenos facilita o aprendizado. Apenas com um laser a observação de fenômenos como interferência e difração podem ser estudados claramente. Antes do século XVII de acordo com Zilio [1] existia pouco embasamento teórico para os fenômenos ópticos observados. Eram conhecidos alguns elementos tais como lentes e espelhos, mas a teoria descrevendo seu princípio de funcionamento não estava clara. A primeira grande evolução da óptica ocorreu durante o século XVII, quando houve um desenvolvimento significativo da sua formulação matemática, o que possibilitou a explicação dos fenômenos observados. Nas duas primeiras décadas daquele século foram introduzidos os sistemas ópticos que combinam duas lentes. Galileo Galilei (1564-1642) construiu seu próprio telescópio e em 1610 descobriu as luas de Júpiter, os anéis de Saturno e a rotação do Sol. Estas descobertas popularizaram este instrumento óptico e a configuração que utiliza a ocular côncava leva hoje o nome de telescópio Galileiano. O telescópio com ocular convexa, também mostrado na Fig. 2.1, foi introduzido por Johannes Kepler (1571-1630), que o utilizou para fazer importantes observações astronômicas, que se tornaram conhecidas como as leis de Kepler.

Figura 2.1 – Tipos de telescópios refrativos.

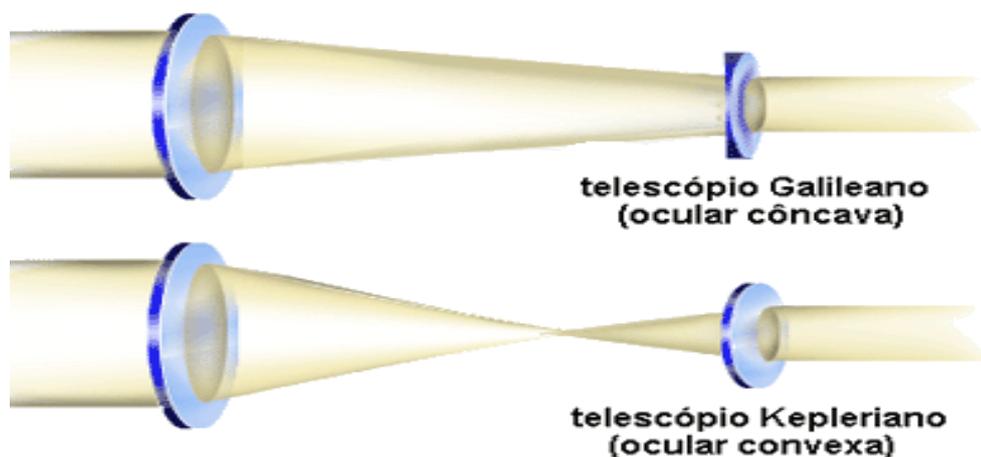


Imagem extraída da referência [1]

Neste período iniciou-se também a elaboração da formulação matemática para o cálculo da propagação dos raios.

### 3. PROPAGAÇÃO DA LUZ

Quando uma onda de luz atinge um objeto segundo a referência [2], o que acontece depende da energia da onda de luz, da frequência natural com a qual os elétrons vibram no material e da resistência com a qual os átomos no material prendem seus elétrons. Baseando-se nestes três fatores, quatro coisas diferentes podem acontecer quando a luz atinge um objeto:

- As ondas podem ser refletidas ou espalhadas para fora do objeto;
- As ondas podem ser absorvidas pelo objeto;
- As ondas podem ser refratadas através do objeto;
- As ondas podem passar através do objeto sem efeitos.

E mais de uma destas possibilidades podem acontecer simultaneamente.

- Transmissão: se a frequência ou energia da onda de luz incidente for muito maior ou muito menor do que a frequência necessária para fazer os elétrons do material vibrarem, então eles não irão capturar a energia da luz e a onda passará através do material sem ser modificada. Dessa forma, o material será transparente para aquela frequência de luz.

A maioria dos materiais é transparente para algumas frequências, mas não para outras. Por exemplo: uma luz de alta frequência como os raios gama e os raios X passarão por vidros normais, mas a luz ultravioleta e infra-vermelha (de menor frequência), não.

### ABSORÇÃO

Na absorção [2], a frequência da onda de luz incidente é próxima ou igual à frequência de vibração dos elétrons do material. Os elétrons pegam energia da onda de luz e começam a vibrar. O que acontece em seguida depende da força com a qual os átomos seguram seus elétrons. A absorção acontece quando os elétrons estão presos firmemente e passam as vibrações adiante para os núcleos dos átomos, o que aumenta a velocidade desses átomos e os fazem colidir com os outros átomos do material e acabam produzindo calor.

A absorção da luz torna um objeto escuro ou opaco à frequência da onda de luz incidente. A madeira é opaca para a luz visível. Alguns materiais são opacos para algumas

freqüências de luz, mas transparentes para outras. O vidro é opaco para a luz ultravioleta, mas é transparente para a luz visível.

Figura 3.1: Absorção dos raios de luz.

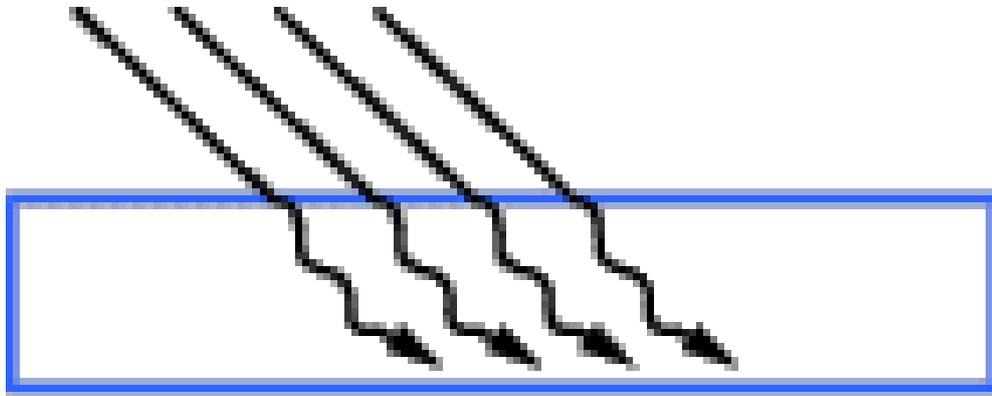


Imagem extraída da referência [2]

## REFRAÇÃO

A refração [2] acontece quando a energia de uma onda de luz incidente corresponde à freqüência natural de vibração dos elétrons em um material. A onda de luz penetra profundamente no material e provoca pequenas vibrações nos elétrons, que as transmitem para os átomos do material; estes, por sua vez, enviam ondas de luz de freqüência iguais a da onda incidente, mas tudo isso leva tempo. A parte da onda que está dentro do material diminui a velocidade, enquanto a parte que está fora do objeto mantém sua freqüência original. Isto tem o efeito de curvar a porção da onda que está dentro do objeto em direção ao que chamamos de linha normal, uma linha reta imaginária que é perpendicular à superfície do objeto. O desvio em relação à linha normal da luz dentro do objeto será menor do que o desvio da luz antes dela ter entrado no mesmo.

O tamanho da inclinação ou ângulo de refração da onda de luz depende do quanto o material diminui a velocidade da luz. Os diamantes não seriam tão brilhantes se não retardassem bem mais a velocidade da luz incidente do que outros meios como a água. O índice de refração dos diamantes é maior do que o da água, o que quer dizer que eles diminuem a velocidade da luz para um grau incrível.

Figura 3.2: refração dos raios de luz.

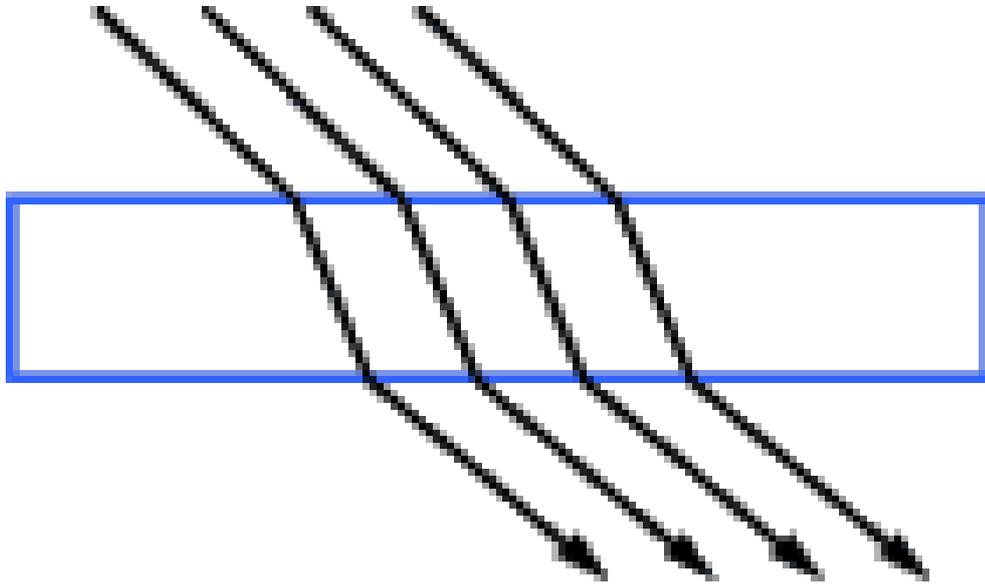


Imagem extraída da referência [2]

Uma observação interessante sobre a refração é que a luz de frequências ou energias diferentes irá se inclinar em diferentes ângulos. Vamos comparar a luz violeta com a vermelha quando elas entram num prisma de vidro. Pelo fato de ter mais energia, a luz violeta leva mais tempo para interagir com o vidro; dessa forma, sua velocidade é diminuída para uma extensão maior do que a onda de luz vermelha, sendo inclinada a um grau maior. Isso ocorre para a ordem das cores que vemos no arco-íris. Também é isso que dá ao diamante os adornos de arco-íris que os tornam tão encantadores para os olhos.

Podemos definir a refração como sendo o fenômeno que consiste na mudança de direção de propagação dos feixes de luz quando essa passa de um meio para outro.

## DISPERSÃO

Dispersão [2] é apenas o reflexo de uma superfície grosseira. As ondas de luz incidentes são refletidas em todos os ângulos, porque a superfície é irregular. A superfície do papel é um bom exemplo. Você consegue ver o quão grosseiro ele é se observá-lo num microscópio. Quando a luz atinge o papel, as ondas são refletidas em todas as direções. É isto o que faz do papel algo tão útil: você consegue ler as palavras numa página impressa, não

importando o ângulo pelo qual seus olhos estão vendo a superfície. Outra interessante superfície bruta é a atmosfera da Terra. Você provavelmente não pensa na atmosfera como uma superfície, mas ela é bruta para a luz branca incidente. A atmosfera contém moléculas de tamanhos diferentes, incluindo o nitrogênio, o oxigênio, o vapor d'água e vários poluentes. Esta mistura espalha as ondas de luz de maior energia, as que vemos como luz azul. No entanto vemos que o céu é azul.

## REFLEXÃO

Para entendermos as leis que regem o fenômeno da reflexão [3] precisamos introduzir as definições de planos de incidência da reflexão e ângulos de incidência. Quando o raio de luz incidir sobre a superfície de separação entre dois meios, ela o fará num ponto P sobre a superfície. Por um ponto qualquer de uma superfície podemos fazer passar uma reta que fura o plano e que é perpendicular a ele. Essa reta é a normal N à superfície.

Figura 3.3: plano de incidência.

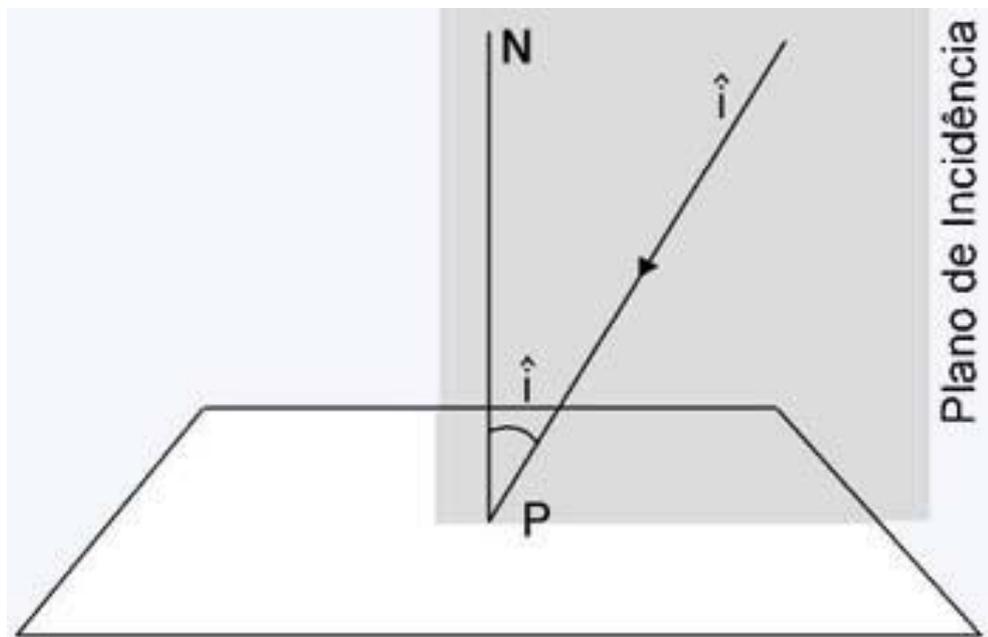


Imagem extraída da referência [3]

O ângulo formado pelo raio ( $i$ ) incidente e a reta normal ( $N$ ) é o ângulo de incidência (representado por  $\hat{i}$ ).

Para o raio refletido ( $r$ ) se aplica uma definição análoga. O ângulo de reflexão ( $r$ ) é o ângulo formado pelo raio refletido e a reta normal  $N$ .

O plano formado pelo raio incidente (ou a reta que o contém) e a reta normal, é o plano de incidência. Analogamente, o plano de reflexão é o plano que contém o raio refletido  $r$  e a reta normal  $N$ .

Figura 3.4: raio de incidência  $i$ , raio refletido  $r$  e a reta normal  $N$ .

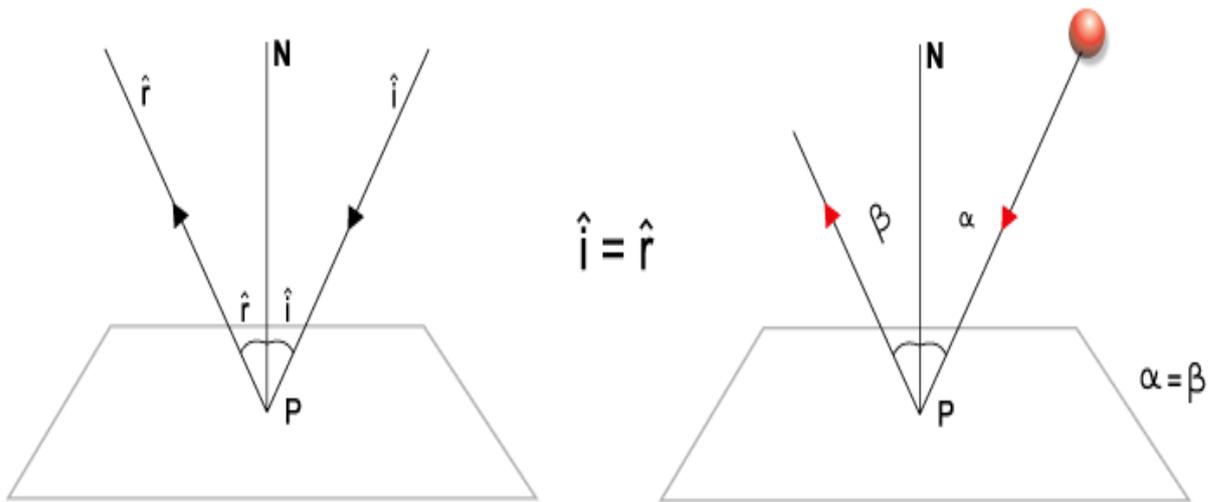


Imagem extraída da referência [3]

Figura 3.5: raios refletidos.

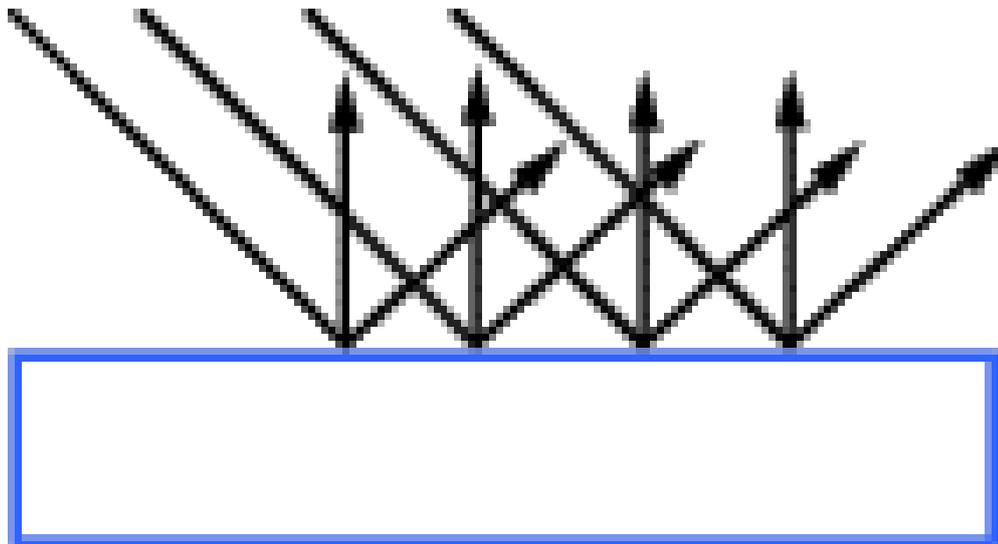


Imagem extraída da referência [2]



#### 4. O QUE É ÍNDICE DE REFRAÇÃO.

Para entendermos o que acontece com o fenômeno de refração vamos primeiramente falar sobre espectro de luz. Newton foi o primeiro a estudar as propriedades da luz, segundo Tipler (2006, p.366) [4] ele:

foi o primeiro a perceber que a luz branca é uma mistura de luzes de todas as cores de intensidade aproximadamente igual. Ele demonstrou isso fazendo incidir a luz do sol sobre um prisma de vidro e observando o espectro de luz refratada. Como o ângulo de refração produzido pelo prisma de vidro depende do comprimento de onda, o feixe refratado é espalhado no espaço em suas cores componentes ou comprimentos de onda, como em um arco-íris.

Como podemos perceber através desta afirmação que ângulo de refração produzido pelo prisma de vidro depende do comprimento de onda da luz.

Figura 4.1: espectro de luz visível.

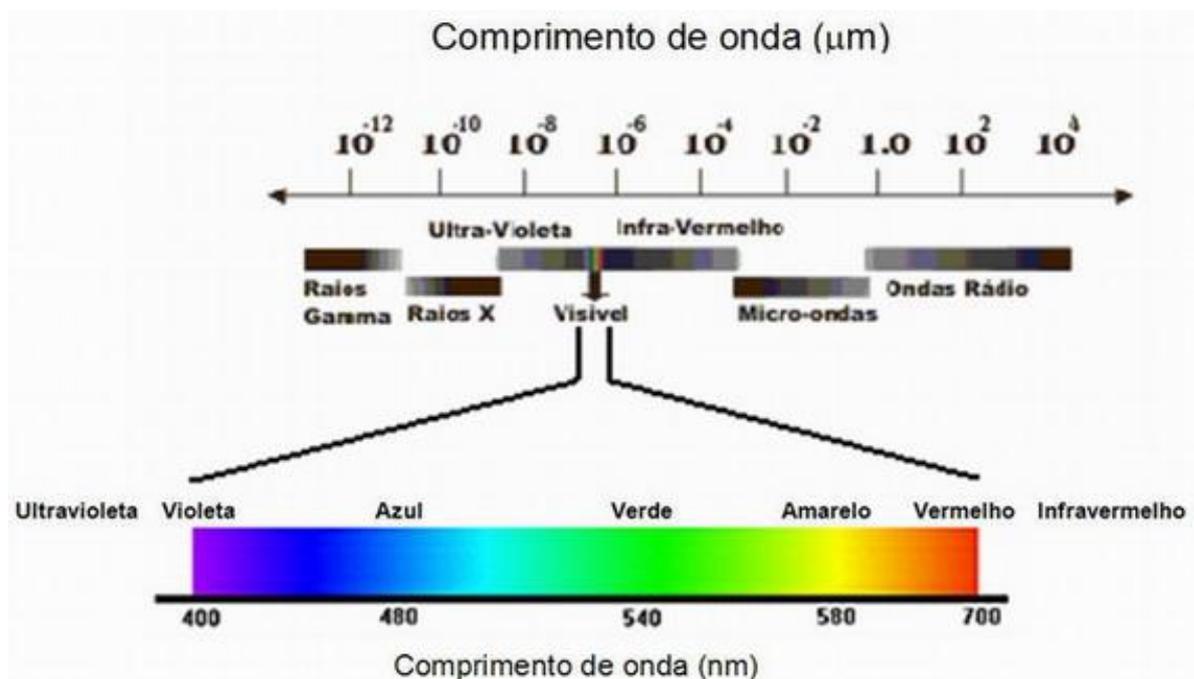


Imagem extraída da referência [5]

A frequência de vibração é quem irá definir a percepção da cor. Quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda e maior a energia. A luz vermelha é mais rápida que a luz violeta, quando elas se propagam em meios materiais iguais. O fenômeno conhecido como dispersão luminosa pode ser observado com um prisma, repetindo o procedimento de

Newton, quando a luz branca o atravessa, cada componente de cor irá sofrer um desvio diferente.

Figura 4.2: decomposição da luz através de um prisma.

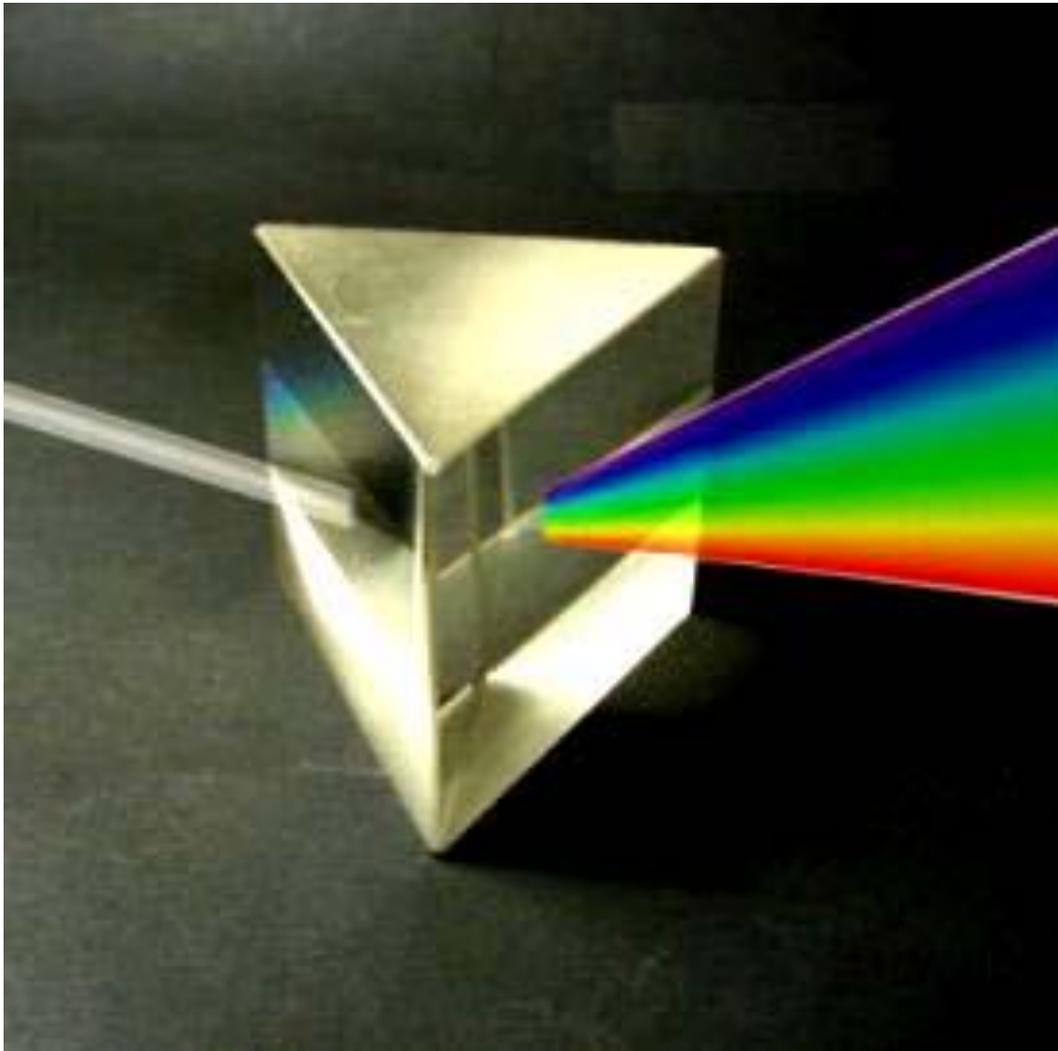


Imagem extraída da referência [6]

O fenômeno da refração ocorre quando a luz faz a sua passagem de um meio transparente para outro meio transparente diferente. Isso se deve à mudança de velocidade de propagação da luz e, conseqüentemente interfere nas incidências oblíquas, um desvio na sua trajetória. Como pode ser visto na figura [7] abaixo os raios refletidos têm ângulos iguais em relação à normal, pois o meio de propagação é o mesmo (meio 1) já o raio refratado sofreu um pequeno desvio lateral pois o meio pelo qual ele passa a propagar é diferente.

Figura 4.3: esquema para representar os desvios que um raio sofre ao incidir sobre uma superfície plana e se propagar em meios diferentes.

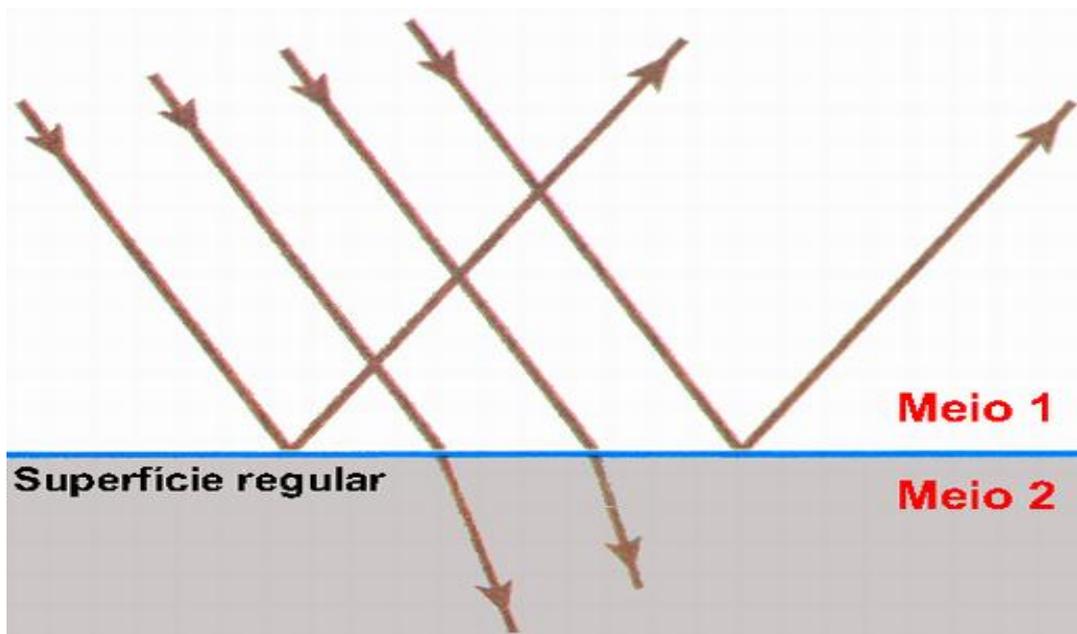


Imagem extraída da referência [7]

Figura 4.4: O desvio entre os raios incidente e refratado.

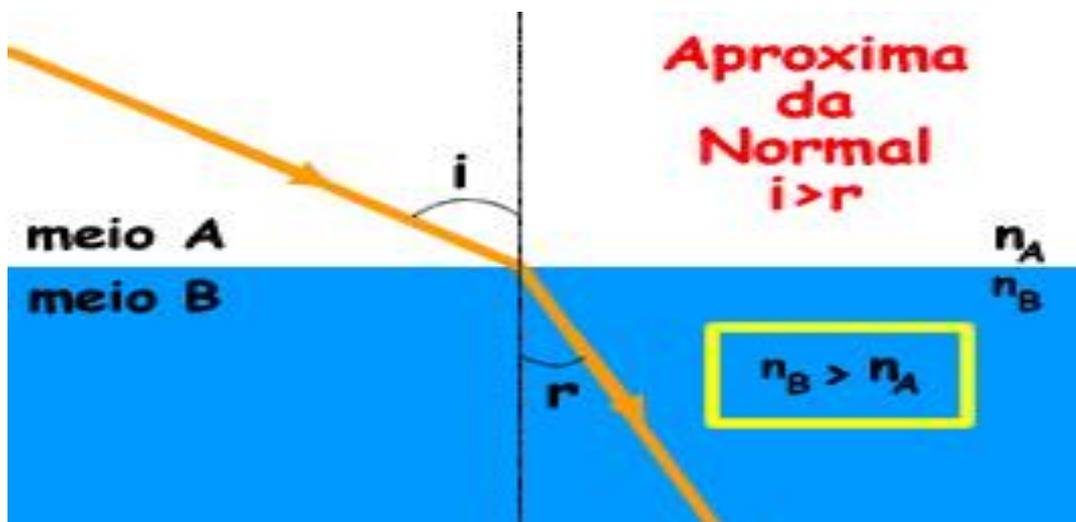


Imagem extraída da referência [8]

Figura 4.5: O desvio entre os raios incidente e refratado.

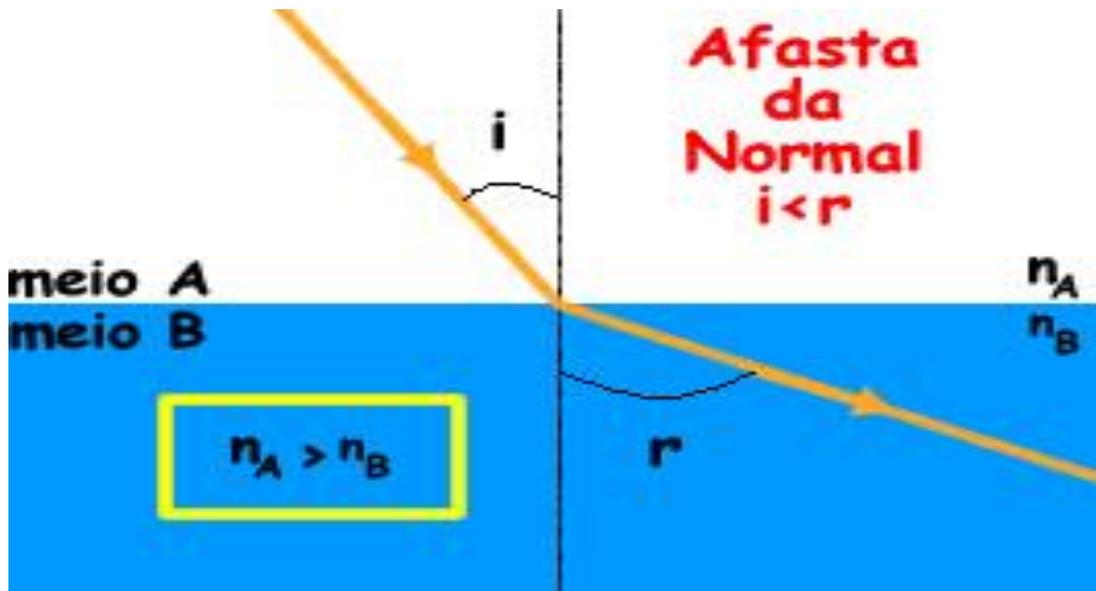


Imagem extraída da referência [8]

Figura 4.6: Exemplo de refração da luz que pode ser observado.



Imagem extraída da referência [9]

Esta distorção é devido à redução na velocidade de propagação da luz na água em relação à velocidade de propagação no ar, isto é, as velocidades de propagação da luz nestes dois meios não são iguais, pois eles possuem índices de refração diferentes.

O índice de refração absoluto é a diferença de velocidade que a luz tem em vários meios diferentes. É uma grandeza adimensional, pois é a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio em estudo. Observe a figura a seguir.

Figura 4.7: índice de refração absoluto.



Imagem extraída da referência [8]

O afastamento do raio refratado da reta normal ocorre quando temos a luz incidindo em meio de menor índice de refração quando comparado ao meio por onde ela propagava anteriormente. O contrário acontece se o meio por onde a luz passa a propagar for maior do que antes propagado. O meio de menor índice de refração é definido como sendo o meio de menor densidade.

Como visto antes ao mudar de meio a luz altera sua velocidade de propagação, pois ao aumentar-se a densidade de um meio, maior será a dificuldade de propagação nele. Os fótons efetuam sucessivas colisões com as partículas do meio provocando um atraso, isto é, reduzindo sua velocidade.

Índice de refração é a grandeza que expressa a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio em que ela se propaga. É definida por  $n=c/v$ , onde

- $c$  é a velocidade da luz no vácuo;
- $v$  é a velocidade da luz no meio em questão.

A velocidade da luz no vácuo é a maior que qualquer objeto pode atingir. Denomina-se por  $c$  a velocidade da luz no vácuo. Num meio natural qualquer a velocidade da luz nesse meio ( $v$ ) é menor do que  $c$ . Portanto, podemos sempre escrever que  $c = nv$ , ou, equivalentemente

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

O coeficiente  $n$  é o índice de refração do meio. É uma das grandezas físicas que caracterizam o meio (a densidade, por exemplo, é outra grandeza física que caracteriza um meio). Os índices de refração de uma substância são muito sensíveis ao estado físico no qual ele se encontra (sólido, líquido ou vapor). Podem depender ainda da pressão, temperatura e outras grandezas físicas.

#### 4.1. AS LEIS DA REFRAÇÃO.

- 1ª O raio incidente, o raio refratado e a reta normal, estão contidos num mesmo plano.
- 2ª Os senos dos ângulos de incidência e de refração são diretamente proporcionais as velocidades da onda nos respectivos meios materiais.

$$\text{sen } \theta_i / \text{sen } \theta_R = v_1 / v_2$$

Sendo,  $v_1$  a velocidade de propagação da luz no meio 1, e  $v_2$  a velocidade de propagação da mesma luz no meio 2. A razão entre a velocidade de propagação da onda no meio 1 e a velocidade de propagação no meio 2 é definida como o índice de refração relativo do meio 2 em relação ao meio 1: Sendo  $n_2$  o índice de refração absoluto do meio 2 e  $n_1$  o índice de refração absoluto do meio 1. O índice de refração absoluto é o índice de refração do meio material em relação ao vácuo. Geralmente o índice de refração de um material é identificado pelo índice absoluto, representado por  $n$ . A lei de Snell-Descartes relaciona o seno dos ângulos de incidência e refração ao índice de refração absoluto de cada um dos meios de propagação:

$$n_1 * \text{sen } \theta_i = n_2 * \text{sen } \theta_R$$

onde:

- $n_1$  é o Índice de Refração do primeiro meio, aquele que o feixe de luz se propaga;
- $n_2$  é o Índice de Refração do segundo meio, aquele que o feixe de luz vai adentrar;
- $\theta_i$  é o chamado Ângulo de Incidência;
- $\theta_R$  é o chamado Ângulo de Refração.

#### 4.1.1. Quem descobriu a lei da refração.

Snell (1580 1626)[1] Em 1621, descobriu a lei da refração ele analisou o desvio que um raio de luz sofre ao passar obliquamente de um meio menos denso a outro mais denso. Desde o século I já se sabia que esses dois ângulos diferentes, formados entre o raio e a perpendicular à fronteira entre os meios, guardavam entre si uma proporcionalidade que se mantinha mesmo quando a posição da fonte de luz era alterada. Snell refinou essas observações e, através de medidas mais acuradas, descobriu haver uma relação constante entre os senos desses ângulos. Tal conclusão só seria publicada doze anos após sua morte por Descartes em Dióptrica. Apesar deste sucesso inicial, podemos dizer que a maior contribuição para o desenvolvimento da óptica nesta primeira metade do século XVII deveu-se a Snell que introduziu a lei da refração (lei dos senos). O conhecimento desta lei deu origem à óptica aplicada moderna, permitindo o cálculo de sistemas ópticos mais complexos, não tratáveis pela lei de refração para pequenos ângulos, introduzidas por Kepler. E mais a lei de Snell foi realizada por Pierre de Fermat (1601-1665) em 1657, utilizando o princípio do tempo mínimo em que existe a possibilidade do raio executar uma trajetória curva se o meio não for homogêneo.

O fenômeno da reflexão é descrito por duas leis [3]- as leis da reflexão. Tais leis tem uma base empírica. Isto é, elas seguem de inúmeras observações do fenômeno.

##### Primeira lei

O plano de incidência coincide com o plano de reflexão. Dito de outra forma essa lei estabelece que "O raio de incidência a reta normal e o raio refletido estão emitidos no mesmo plano."

## Segunda lei

O ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Na verdade essas duas leis, essencialmente empíricas, podem ser entendidas a partir da natureza corpuscular da luz. De fato, podemos pensar na reflexão como resultado de colisão dos fótons com a superfície de separação entre dois meios. É algo parecido com a colisão de uma bola com uma parede. O fenômeno da colisão da bola com a parede obedece as mesmas leis da reflexão da luz.

### 4.2. ARCO-ÍRIS UM FENÔMENO DA REFRAÇÃO E REFLEXÃO.

O efeito conhecido como arco-íris resulta da luz solar passando por gotículas de água em suspensão na atmosfera [10], gotículas essas que funcionam como um prisma. O arco-íris é geralmente visto no céu oposto ao sol, logo após ou logo antes da chuva, e também junto a sprays de cachoeiras. Um arco-íris é composto de dois arcos: o mais brilhante, chamado de primário, tem as cores arranjadas com o vermelho para fora da circunferência; o segundo arco, chamado de arco-íris secundário, é menos brilhante e apresenta as cores em ordem inversa.

Quando a luz do sol entra numa gotícula de água em suspensão, ela é refratada e então refletida na "parede" oposta da gotícula. Como a luz do sol é branca, ou seja, composta de luz de praticamente todos os espectros visíveis de comprimento de onda, cada comprimento de onda é refratado sob um ângulo ligeiramente diferente dos demais, o que o "separa" dos outros, causando o agradável efeito de degradê do arco-íris.

O arco secundário é formado quando o fecho de luz é refletido duas vezes no interior da gotícula de água, causando a reversão e a perda de brilho. O grande número de gotículas funciona como um prisma gigante, redondo, finalizando o efeito.

Figura 4.2.1: Refração de luz solar dentro de uma gotícula de água.

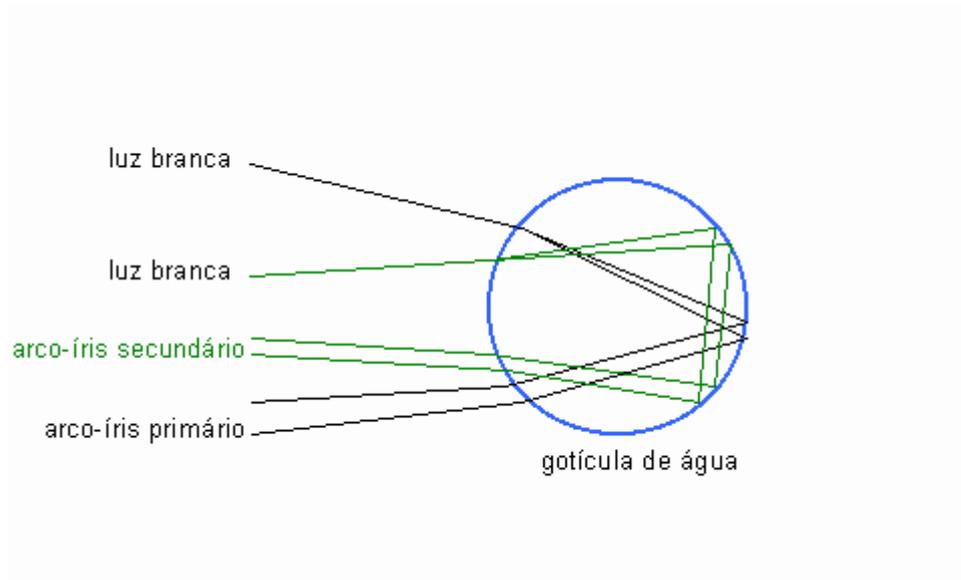


Imagem extraída da referência [10].

Na Figura 4.2.1, dois feixes de luz solar são indicados. Um deles, incidindo na gotícula sob um determinado ângulo, é refratado ao passar pela borda da gotícula, refletido no extremo oposto desta, refratado mais uma vez ao sair da gotícula e então ganha de novo o ar. Este feixe forma o arco-íris primário.

Um segundo feixe, novamente incidindo sobre a gotícula segundo um determinado ângulo, é refratado ao passar para o meio aquoso do interior da gotícula e sofre uma reflexão. O ângulo que o feixe entrou na gotícula permite que haja mais uma reflexão dentro da gotícula. Esta segunda reflexão inverte o feixe, e este então sai da gotícula com brilho menor, devido a perdas de intensidade dentro da gotícula. Este é o arco-íris secundário, formado próximo ao primário. As cores do arco-íris só podem ser vistas, na prática, se o ângulo de reflexão entre o sol, a gotícula e a linha de visão do observador estiver entre  $40^\circ$  e  $42^\circ$ . Fora desta faixa, o efeito arco-íris não é visível.



## 5. A IMPORTÂNCIA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DOS MATERIAIS NO CAMPO TECNOLÓGICO.

Pra falar sobre esse assunto segue-se a idéia de Freudenrich [11], que fala sobre diversos aspectos da fibra óptica, onde índice de refração é determinante na confecção da mesma e essa por sua vez é de grande importância no campo tecnológico atual. A definição de fibras ópticas segundo o autor acima citado.

fibras ópticas são fios longos e finos de vidro muito puro, com o diâmetro aproximado de um fio de cabelo humano, dispostas em feixes chamados cabos ópticos e usadas para transmitir sinais de luz ao longo de grandes distâncias.

Figura 5.1: detalhes de uma fibra óptica.

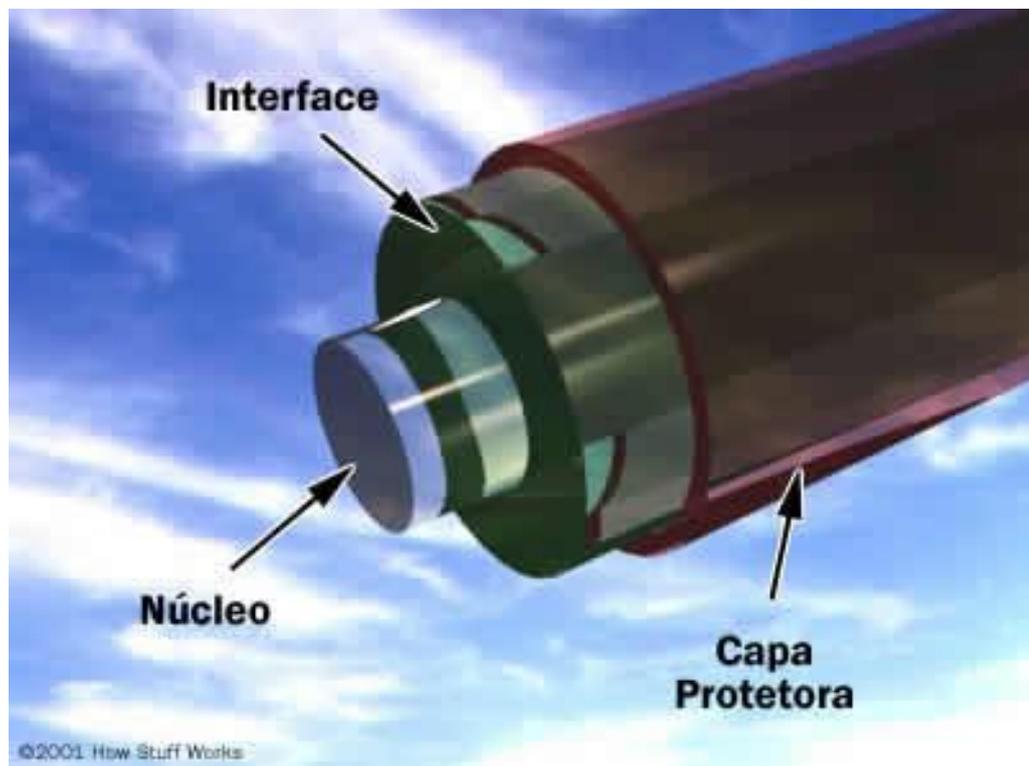


Imagem extraída da referência[11].

Como pode ser visto anteriormente as fibras ópticas são compostas pelo núcleo - minúsculo centro de vidro da fibra, no qual a luz viaja; interface - material óptico externo que circunda o núcleo e reflete a luz de volta para ele e capa protetora - revestimento plástico que protege a fibra de danos e umidade. Como funciona uma fibra óptica?

Em um cabo de fibra óptica, a luz viaja através do núcleo refletindo constantemente na interface, isso representa um princípio chamado de reflexão interna total. Como a interface não absorve nenhuma luz do núcleo, a onda de luz pode viajar grandes distâncias.

Figura 5.2: reflexão interna total em uma fibra óptica.

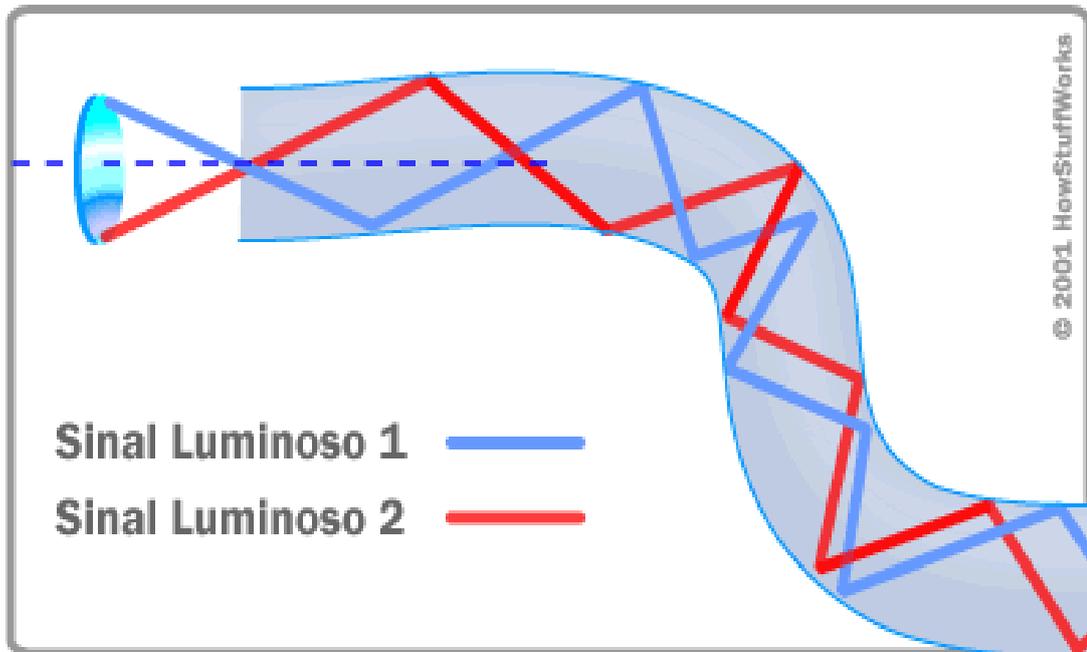


Imagem extraída da referência [11].

Como acontece a reflexão?

Quando a luz passa de um meio  $m_1$  com um índice de refração para outro meio  $m_2$  com um índice de refração mais baixo, ela se desvia ou refrata para longe de uma linha imaginária perpendicular à superfície (normal). Conforme o ângulo do feixe através de  $m_1$  se torna maior em relação à linha normal, a luz refratada através de  $m_2$  se desvia para longe da linha.

Em um ângulo particular (o ângulo crítico), a luz refratada não penetrará em  $m_2$ , viajando ao longo da superfície entre os dois meios:  $(\text{sen}(\text{ângulo crítico}) = n_2/n_1)$ , onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração dos meios  $m_1$  e  $m_2$  – sendo que  $n_1$  é maior do que  $n_2$ . Se o ângulo do feixe através de  $m_1$  for maior do que o ângulo crítico, então o feixe refratado será refletido inteiramente de volta para  $m_1$  (reflexão interna total), mesmo que  $m_2$  seja transparente.

Em física, o ângulo crítico é descrito em relação à linha normal. Para as fibras ópticas, o ângulo crítico é descrito em relação ao eixo paralelo que corre pelo meio da fibra. Assim, o ângulo crítico da fibra óptica é igual a 90 graus menos o ângulo crítico físico.

Figura 5.3: Reflexão interna total em uma fibra óptica.

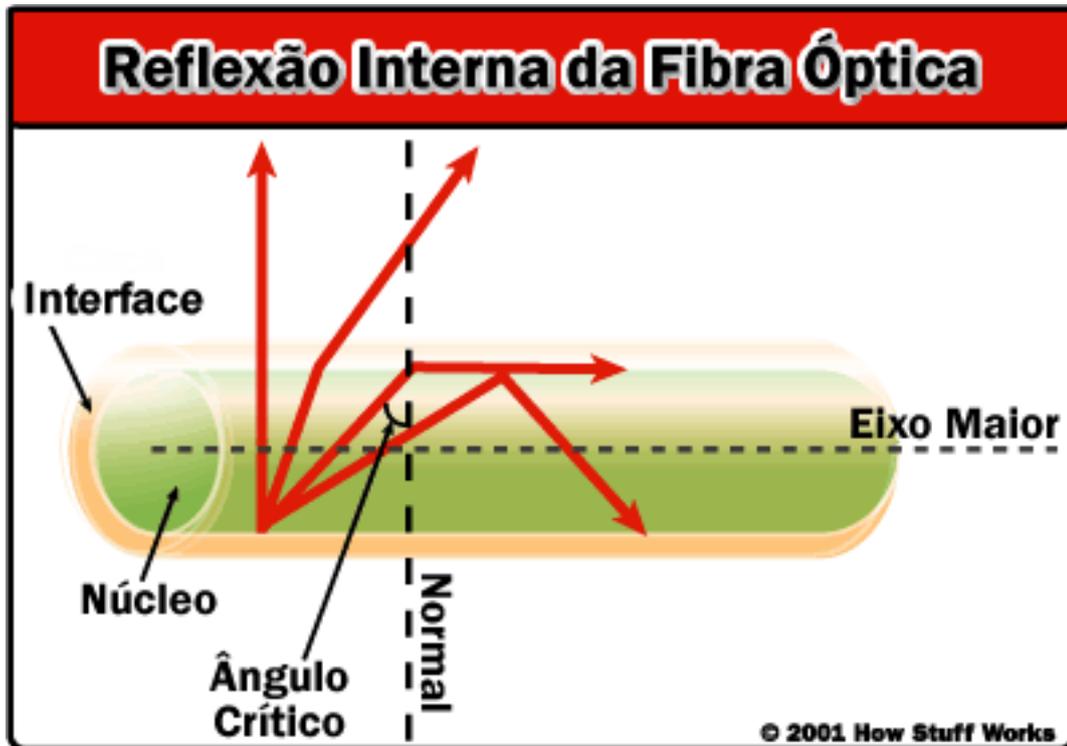


Imagem extraída da referência [11].

Em uma fibra óptica, a luz viaja através do núcleo ( $m_1$ , de alto índice de refração), refletindo-se constantemente na interface ( $m_2$ , de menor índice de refração), porque o ângulo da luz é sempre maior do que o ângulo crítico. A luz se refletirá na interface, não importando o ângulo em que a fibra seja curvada, mesmo que seja um círculo completo. Como a interface não absorve nenhuma luz do núcleo, a onda luminosa pode viajar grandes distâncias.

#### Aplicação das Fibras Ópticas.

Segundo Giozza *apud* Lucalm [12], existe uma enorme variedade de aplicações de sistemas sensores com fibras ópticas na medicina. Inseridos através de cateteres ou subcutaneamente, sensores de fibras ópticas miniaturizados permitem monitorar funções biológicas internas dos pacientes. Estes sensores, permitem testar e acompanhar processos biológicos em tempo real, de vital importância, por exemplo, em cirurgias. Dentre os vários sistemas de sensores com fibras ópticas médicas podemos citar:

- Sensores de temperatura: têm sido utilizados, por exemplo, em terapia hipertérmica radiológica de tumores cancerígenos, onde as qualidades de imunidade

eletromagnética das fibras ópticas são únicas, face à radiação de microondas da fonte de calor utilizada.

- Sensores de pressão: utilizados para monitorar a pressão intracraniana, cardiovascular, uretral ou retal.
- Sensores magnéticos: permitem obter o mapeamento dos campos magnéticos gerados pelo cérebro, útil no tratamento de ataques de epilepsia;
- Sensores de pH: utilizados para monitorar o nível de oxigênio do sangue, permitindo, por exemplo, acompanhar o comportamento de feto numa cirurgia cesariana.
- Sensores de vazão: utilizados para monitorar a vazão sanguínea em aspersões para diagnósticos em cirurgias vasculares ou plásticas, para monitorar o sistema de circulação ou para avaliar grau de queimaduras com precisão e presteza.

Além dos sensores as fibras ópticas têm sido utilizadas como instrumentos cirúrgicos (cateteres), por exemplo, monitorando e controlando com precisão a limpeza de artérias cardiovasculares ou na destruição de tumores.

São utilizadas ainda [13]:

- Redes de telecomunicações;
- entroncamentos locais;
- entroncamentos interurbanos;
- conexões de assinantes;
- Redes de comunicação em ferrovias;
- redes de distribuição de energia elétrica (monitoração, controle e proteção);
- Redes de transmissão de dados e fac-símile;
- Redes de distribuição de radiodifusão e televisão;
- Redes de estúdios, cabos de câmeras de TV;
- Redes internas industriais;
- Equipamentos de sistemas militares;
- Aplicações de controle em geral;
- veículos motorizados, aeronaves, navios, instrumentos, etc.

Figura 5.4: Feixe de fibras ópticas.

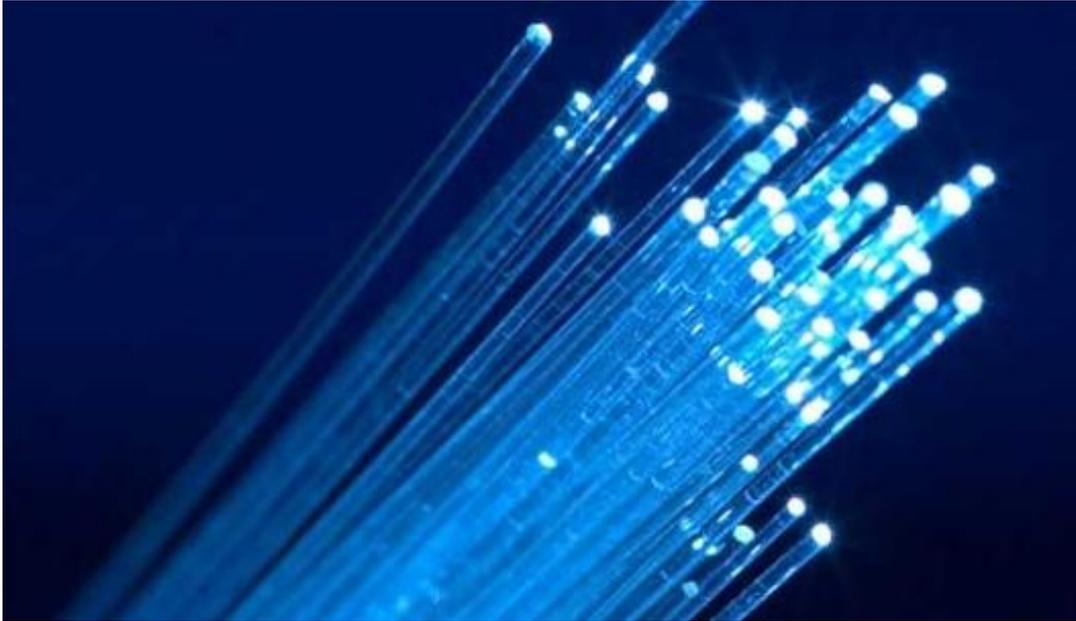


Imagem extraída da referência [14].



## 6. A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA.

É sabido que o conhecimento é imprescindível para o ser humano tanto para o trabalho e compreensão de si mesmo e dos fenômenos da natureza, quanto para compreensão dos aparatos tecnológicos que estão a sua volta, neste sentido a ciência contribui para uma melhor qualidade de vida. Sabe-se que a escola é fundamental para formar cidadãos capazes de desenvolver habilidades da qual necessitará para viver em um ambiente de constantes mudanças. No entanto, os conhecimentos científicos não podem ficar fora da escola. A educação deve formar indivíduos que entendam o ambiente em que vivem, que sejam capazes de criticar, opinar, tomar decisões significativas. O indivíduo que não tem conhecimentos científicos, não sabe se posicionar corretamente acerca de decisões importantes que o cercarão durante a vida. Houve já algumas transformações no ensino da física, mas nota-se um ensino descritivo, teórico, desvinculado do cotidiano do aluno. As aulas experimentais são de vital importância na educação, onde os professores põem em prática hipóteses e idéias aprendidas em sala de aula sobre fenômenos naturais ou tecnológicos e que estão presentes em seu cotidiano. Dados apontam que a falta de experimentação tem sido um dos grandes problemas do ensino atual, seja pela ausência de laboratórios em muitas escolas, ou pela falta de habilidade dos professores, ou pela falta de tempo, isto é, currículos sobrecarregados. Mas mesmo com todas as dificuldades, é possível algumas estratégias simples no sentido de levarmos o assunto para a debate dentro das escolas visando uma conscientização.

Como instrumento de transformação dos mecanismos de reprodução social, a aula experimental torna-se um espaço de organização, discussão e reflexão, a partir de modelos que representem o real. Neste espaço, por mais simples que seja a experiência, ela se torna rica ao revelar as contradições entre o pensamento do aluno, o limite de validade das hipóteses levantadas e o conhecimento científico (DCE\_SEED, 2006)[15].

Nas aulas experimentais o aluno participa de forma direta das atividades desenvolvendo um conhecimento significativo e não apenas memorização, o que na verdade não é conhecimento e sim, uma simples reprodução de conceitos, sem valor algum. Segundo propostas ‘construtivistas’, uma aprendizagem significativa requer a participação dos alunos na construção do conhecimento. Para tanto, acha-se importante a experimentação na física, como uma forma de aproximar-se dessas novas teorias de ensino. A educação segundo perspectiva construtivista deve despertar o lado criativo visando um resultado mais promissor. Para Moraes [16]

Se uma das metas educacionais é levar o indivíduo a manejar e produzir conhecimentos, a desenvolver valores e atitudes que permitam a adaptação às mudanças e às novas exigências do mercado de trabalho, como desafio fundamental que decide a possibilidade e a qualidade de sua participação no mundo atual, então, o processo educacional deve levá-lo a desenvolver uma atitude construtiva, uma competência construtiva, modos construtivos de conceber, fazer e compreender, uma prática adequada para a produção de conhecimentos.

Algumas teoria de ensino enfatiza a construção do conhecimento e nos remete a refletir sobre nossa prática em sala de aula. Do antigo pensamento de escola e professor como transmissores de conhecimento, passamos a ter outro importante papel: de mediador e auxiliar na construção do conhecimento que influencia mudanças na forma de pensar dos estudantes, num processo de evolução conceitual. Vygotsky [17], em qualquer circunstância, “o caminho do objeto até a criança e desta até o objeto passa através de outra pessoa. Essa estrutura humana complexa é produto de um processo de desenvolvimento profundamente enraizado nas ligações entre história individual e história social”. O professor deve estabelecer como mediador as ligações entre o que os alunos já conhecem e o novo conhecimento científico que se busca construir juntamente com eles, sempre considerando seus conhecimentos prévios. A função do professor na educação escolar é a de mediador entre o conhecimento acumulado no decorrer do tempo e o aluno. O ato de educar é de extrema responsabilidade, ensinar não é simplesmente jogar conhecimentos prontos para o aluno e esperar que ele os assimile como meros espectadores. Segundo MORAES [16]:

Numa proposta educacional construtivista, o centro decisório do processo de aprendizagem está no educando e não na figura do professor ou de quem quer que seja. Essa proposta parte do pressuposto de que o fundamental é a atividade da criança, seu pensamento em ação. Uma ação que é refletida, interiorizada em suas estruturas mentais. Reconhece que a criança inteligente é ativa, irrequieta, um organismo vivo em permanente troca com seu meio ambiente, que toma iniciativas ao interagir com o mundo e atuar sobre ele.

As teorias de aprendizagem podem contribuir de forma mais conveniente com a formação todos aqueles que participam do sistema educacional, proporcionando, principalmente para os educadores, adquirir habilidades, conhecimentos e atitudes que permitirão alcançar melhor os objetivos do ensino. Essas habilidades são alcançadas com empenho ativo do docente uma vez que o mesmo tomar consciência da responsabilidade que tens e que embora trabalhar segundo essa perspectiva seja difícil, porém devemos buscar nos aproximar dessa realidade e usarmos de nossas capacidades para adaptarmos a esse bombardeio de mudanças. As teorias de ensino não são uma prática ou um método, não é uma técnica de ensino nem uma forma de aprendizagem, não é um projeto escolar ela permite interpretar todas essas coisas, levando-nos para dentro do movimento da História da Humanidade e do Universo.

não uma experimentação como um receituário que empobrece a atividade científica, mas sim, partindo-se de uma situação-problema, onde seja possível a construção de hipóteses que instiguem à investigação.

As aulas experimentais são dificultadas pelo elevado número de alunos por turma, falta de estrutura e materiais adequados e até a deficiente formação do professor, porém tudo isso não pode levar a uma defasagem no ensino. Há que se incentivar o professor a buscar soluções a estes problemas. Pode-se usar qualquer espaço físico da escola e também materiais recicláveis, desde que, obviamente, sejam tomadas medidas de segurança básicas e muito bom senso. Aqui estará em xeque, também, o poder do educador de utilizar dos meios disponíveis, ainda que precários, tornando-os suficientes ao experimento e garantindo com isso, novo aprendizado aos educados, pois é com esta realidade que a maioria deles irá lidar na vida profissional. O grande desafio do educador é tornar o ensino de física prazeroso e instigante sendo capaz de desenvolver no aluno o Saber Científico. Então, a partir dessas reflexões teóricas pode ser desenvolvida uma estratégia de ensino baseada em aulas de física na qual a experimentação torna-se um meio de fixar o conhecimento teórico. A compreensão das diferentes teorias de ensino-aprendizagem e a maneira como inseri-las instituições torna-se importante para todos educadores, uma vez que estratégias de ensino, didáticas, reformas curriculares são carregadas de pressupostos presentes nessas teorias de aprendizagem.

#### 6.1. A UTILIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS COMO FONTE DE APRENDIZADO SIGNIFICATIVO.

A importância das atividades experimentais no ensino de ciências tem sido bastante questionada ultimamente e as novas tendências procuram enfatizar características que apontem para uma abordagem sociocultural, contribuindo para a superação de crenças tradicionais sobre o papel da experimentação. É importante que os cursos de formação de professores de ciências enfatizem os pressupostos da aprendizagem interacionista. É necessário, então, ter como objetivo a aprendizagem favorecida pela mediação, permeada por ferramentas culturais como o diálogo crítico, a leitura e a escrita. Cabe ao professor propor desafios aos seus alunos, contextualizando conteúdos e coletando dados por meio de diferentes instrumentos tomando sempre o cuidado para que a experimentação seja utilizada de maneira a gerar um aprendizado significativo e não apenas a manipulação de objetos.

Diante do novo paradigma educacional o professor deve criar situações didáticas com a finalidade de despertar o interesse no aluno assim gerando aprendizado. Esse interesse

servirá de suporte para os conhecimentos que serão adquiridos ou construídos. É importante destacar que o professor de Física considere que conhecimentos prévios não são científicos, mas sim, conceitos alternativos que o aluno possui dos fenômenos físicos, isto é, uma forma pessoal de percepção do mundo. A aprendizagem significativa dá-se quando há interação de uma informação a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do aluno. O conteúdo é apreendido de forma significativa quando relacionada a outras idéias e conceitos e ficando claro na mente do aluno de modo a funcionar como base. Aí se inicia o que se chama de interação prática e teoria no ensino de física. O teste de conhecimento é a experiência presenciada. A própria experiência ajuda a produzir essas leis, no sentido em que fornece pistas. É notável que é preciso imaginação para criar, a partir de algumas pistas, as grandes ideias e a experimentação funciona como uma prova concreta daquilo que imaginamos e verificar de novo se fizemos a descoberta certa, ou seja se aquilo que imaginamos possui fundamentos. As aulas práticas no ensino de Física devem acontecer de maneira mais intensa para que ocorra uma validação do conteúdo abordado e uma associação da física com o dia-a-dia do aluno de forma a ligar o assunto com a realidade. O ato de ensinar não beneficia só o aluno mas faz o professor atualizar e até criar novos conhecimentos. A experimentação estimula o lado criativo levando os alunos a criarem hipóteses e através de suas próprias hipóteses buscarem explicações para tais atingindo assim o objetivo esperado.

A respeito da experimentação *Séré* [18] fala que o princípio das ciências físicas está na articulação dos conceitos, leis teorias. Para compreender os papéis da experimentação no ensino de ciências é preciso levar em conta os seguintes elementos: Observa-se que o aluno, na prática da Física, aprende a utilizar a experimentação, de forma a permitir o estudo dos fenômenos. Através dos trabalhos práticos e das atividades experimentais, o aluno deve se dar conta de que para desvendar um fenômeno é necessária uma teoria. Além disso, para obter uma medida e também para fabricar os instrumentos de medida é preciso muita teoria. Pode-se dizer que a experimentação pode ser descrita considerando-se três pólos: o referencial empírico; os conceitos, leis e teorias; e as diferentes linguagens e simbolismos utilizados em física. As atividades experimentais levam o aluno a não permanecer no mundo dos conceitos e no mundo das linguagens, tendo a oportunidade de relacionar esses dois mundos com o mundo empírico. Atividades experimentais são enriquecedoras para o aluno, uma vez que elas dão um verdadeiro sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens. Elas permitem o controle do meio ambiente, a autonomia face aos objetos técnicos ensina as técnicas de investigação, possibilitam um olhar crítico sobre os resultados. Assim, o aluno é preparado

para poder tomar decisões na investigação e na discussão dos resultados. O aluno só conseguirá questionar o mundo, manipular os modelos e desenvolver os métodos se ele mesmo entrar nessa dinâmica de decisão, de escolha, de inter-relação entre a teoria e o experimento. Pode-se assim dizer que por meio de atividades experimentais o aluno consegue mais facilmente ser ator na construção da ciência, já que a experiência demonstrativa seria mais propícia para um enfoque dos resultados de uma ciência acabada. Para participar na construção da ciência, o aluno deve apropriar-se de técnicas, abordagens e métodos. Ele deve também ter a possibilidade de debater a validação do experimento e dos resultados experimentais. As palavras importantes são técnicas, métodos e debates.

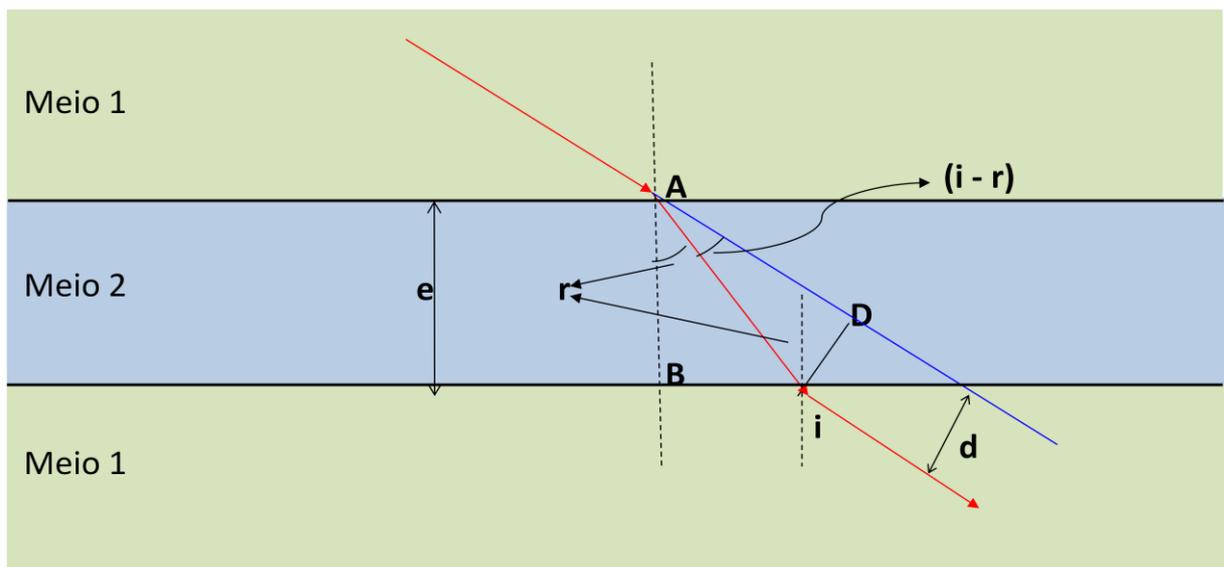
◆ a teoria está a serviço da prática quando se permite ao aluno comparar modelos, utilizando as leis e os modelos com uma finalidade prática. Ele pode discernir o interesse específico da prática.



## 7. MODELO ALTERNATIVO PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE REFRAÇÃO DE UMA PLACA DE VIDRO UTILIZANDO MATERIAIS DE BAIXO CUSTO.

A determinação do índice de refração através desse experimento seguiu-se uma proposta colocada por AREAL [19] onde através de conceitos de geometria podemos observar que ao incidir sobre a primeira face da placa como o raio encontra um meio com índice de refração maior do que o meio antes propagado (neste caso o ar) parte deste (ou todo ele) sofrerá refração. Esse raio refratado se propagará dentro da placa até chegar à outra face e novamente o raio será refratado. O raio não sofrerá nenhum desvio angular em relação ao raio incidente apenas desvio lateral, pois o mesmo passa novamente a se propagar em um meio onde o índice de refração é o mesmo do início do percurso. Assim podemos medir o desvio lateral sofrido pelo raio e utilizá-lo para calcular o índice de refração da placa de vidro.

Figura 7.1: esquema para representar o desvio sofrido pelo raio de luz ao passar pela placa de vidro.



Da figura anterior temos o triângulo  $\overline{ABC}$  na qual podemos notar que a reta  $\overline{AB}$  é a espessura  $e$  da placa e  $r$  é o ângulo de refração. Sendo  $i$  o ângulo de incidência e  $r$  o ângulo de refração, temos:

$$AC = \frac{e}{\cos(r)} \quad (7.1)$$

Analisando o triângulo  $\overline{ACD}$  podemos ver que a reta  $\overline{CD}$  é o desvio lateral  $d$  sofrido pelo raio incidente ao atravessar a placa. Assim:

$$d = AC \operatorname{sen}(i - r) \quad (7.2)$$

Substituindo a equação (7.1) na equação (7.2) encontramos

$$d = e \frac{\operatorname{sen}(i - r)}{\cos(r)} \quad (7.3)$$

Usando a da relação trigonométrica:

$$\operatorname{sen}(a - b) = \operatorname{sen}(a)\cos(b) - \cos(a)\operatorname{sen}(b) \quad (7.4)$$

na equação (7.3) temos:

$$d = e \frac{\operatorname{sen}(i)\cos(r) - \cos(i)\operatorname{sen}(r)}{\cos(r)} \quad \therefore d = e \left( \operatorname{sen}(i) - \frac{\operatorname{sen}(r)}{\cos(r)} \cos(i) \right) \quad (7.5)$$

Como é difícil medir o ângulo de refração  $r$ , com a lei de Snell:

$$n_1 \operatorname{sen}(i) = n_2 \operatorname{sen}(r) \quad (7.6)$$

e a relação trigonométrica  $\cos(a) = \sqrt{1 - \operatorname{sen}^2(a)}$ , podemos eliminá-lo, fazendo-se:

$$d = e \left( \operatorname{sen}(i) - \frac{\frac{n_1}{n_2} \operatorname{sen}(i) \cos(i)}{\sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}} \right) \rightarrow d = e \left( \operatorname{sen}(i) - \frac{\operatorname{sen}(i) \cos(i)}{\frac{n_2}{n_1} \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}} \right)$$

$$d = e \left( \operatorname{sen}(i) - \frac{\operatorname{sen}(i) \cos(i)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}} \right) \quad \therefore d = e \operatorname{sen}(i) \left( 1 - \frac{\cos(i)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}} \right) \quad (7.7)$$

Sendo o índice de refração do ar igual a 1, isolando-se  $n_2$  na equação (7.7) pode-se encontrar que:

$$\frac{d}{e \operatorname{sen}(i)} = 1 - \frac{\cos(i)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{1}\right)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}} \quad \Rightarrow \quad \frac{d}{e \operatorname{sen}(i)} = 1 - \frac{\cos(i)}{\sqrt{(n_2)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}}$$

o que resulta em:

$$\begin{aligned} \left(\frac{d}{e \operatorname{sen}(i)} - 1\right)^2 & \Rightarrow \left(\frac{d}{e \operatorname{sen}(i)} - 1\right)^2 \\ & = \left(-\frac{\cos(i)}{\sqrt{(n_2)^2 - \operatorname{sen}^2(i)}}\right)^2 = \frac{\cos^2(i)}{(n_2)^2 - \operatorname{sen}^2(i)} \end{aligned}$$

resultando finalmente em:

$$\therefore n_2 = \sqrt{\frac{\cos^2(i)}{\left(\frac{d}{e \operatorname{sen}(i)} - 1\right)^2} + \operatorname{sen}^2(i)} \quad (7.8)$$

Então através desta equação basta ter ângulo de incidência  $i$  do raio luminoso sobre a placa, a espessura  $e$  da placa e o desvio lateral  $d$  sofrido pelo raio, para encontrarmos o índice de refração  $n_2$  da placa.

## 7.1. MATERIAIS UTILIZADOS.

Para confecção do experimento se utilizou:

- Placa de MDF;
- Laser;
- Placa de vidro medindo 200 x 200 x 15 mm e não menos, pois para espessura inferiores a essa não haverá medidas precisas do desvio sofrido pelo raio de luz;
- Anteparo, canaleta retangular de PVC medindo 50 x 20 x 1000 mm, tubo de PVC de 40 mm;
- Parafusos;
- Transferidor e
- Paquímetro.

Todos os materiais foram facilmente encontrados.

A placa de MDF em serraria; a placa de Vidro em uma fábrica; o anteparo eu mesma o confeccionei utilizando um pedaço de papelão não flexível, papel sulfite e prendedor de papel para servir de suporte; a canaleta, tubo, parafusos e um fixador de vidro que também serviu de sustentação para a placa de vidro em loja de materiais para construção, o transferidor e o laser em loja de conveniência e o paquímetro usei o do laboratório da UNIR- Universidade Federal de Rondônia.

Figura 7.1.1: Materiais durante a montagem.

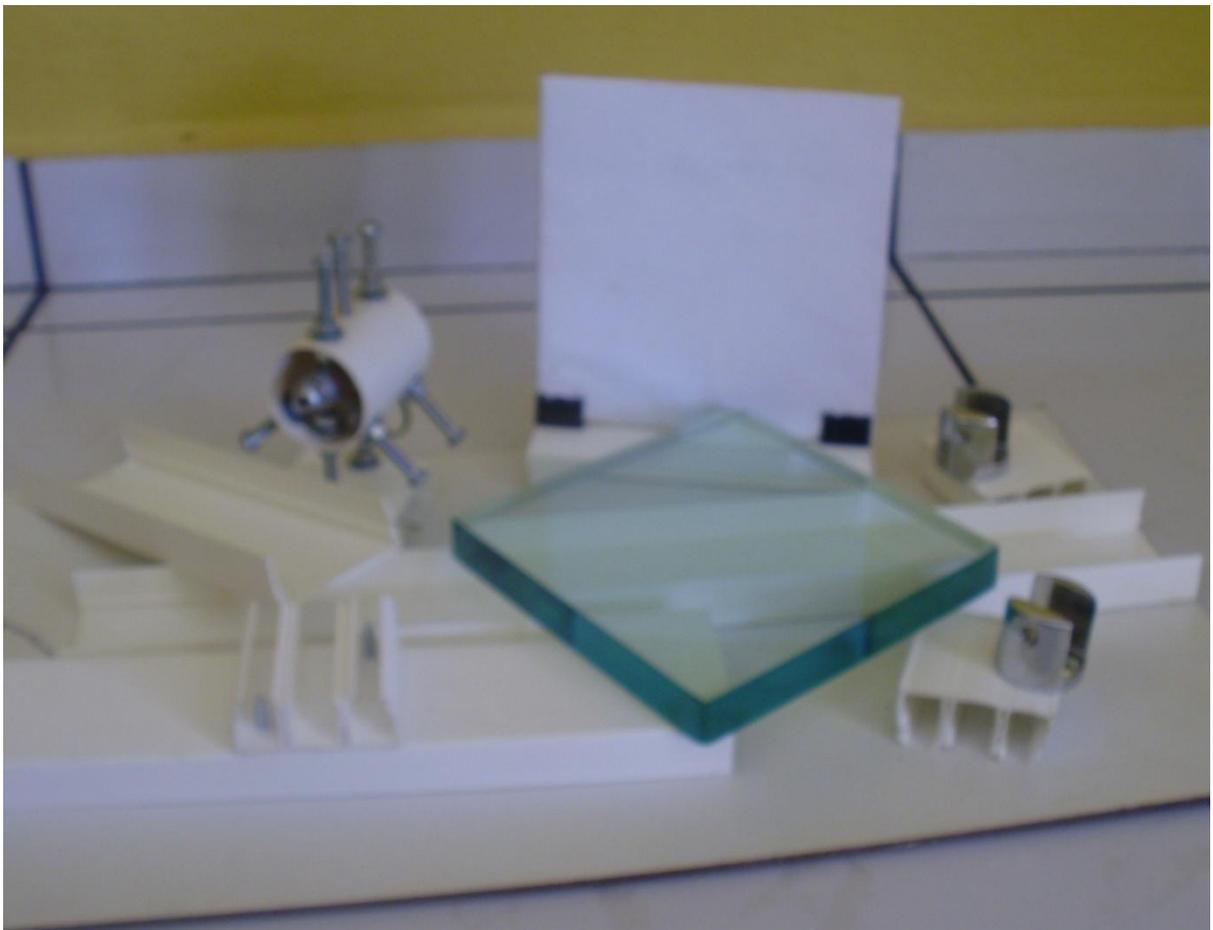


Figura 7.1.2: detalhes do laser fixado no tubo de PVC.

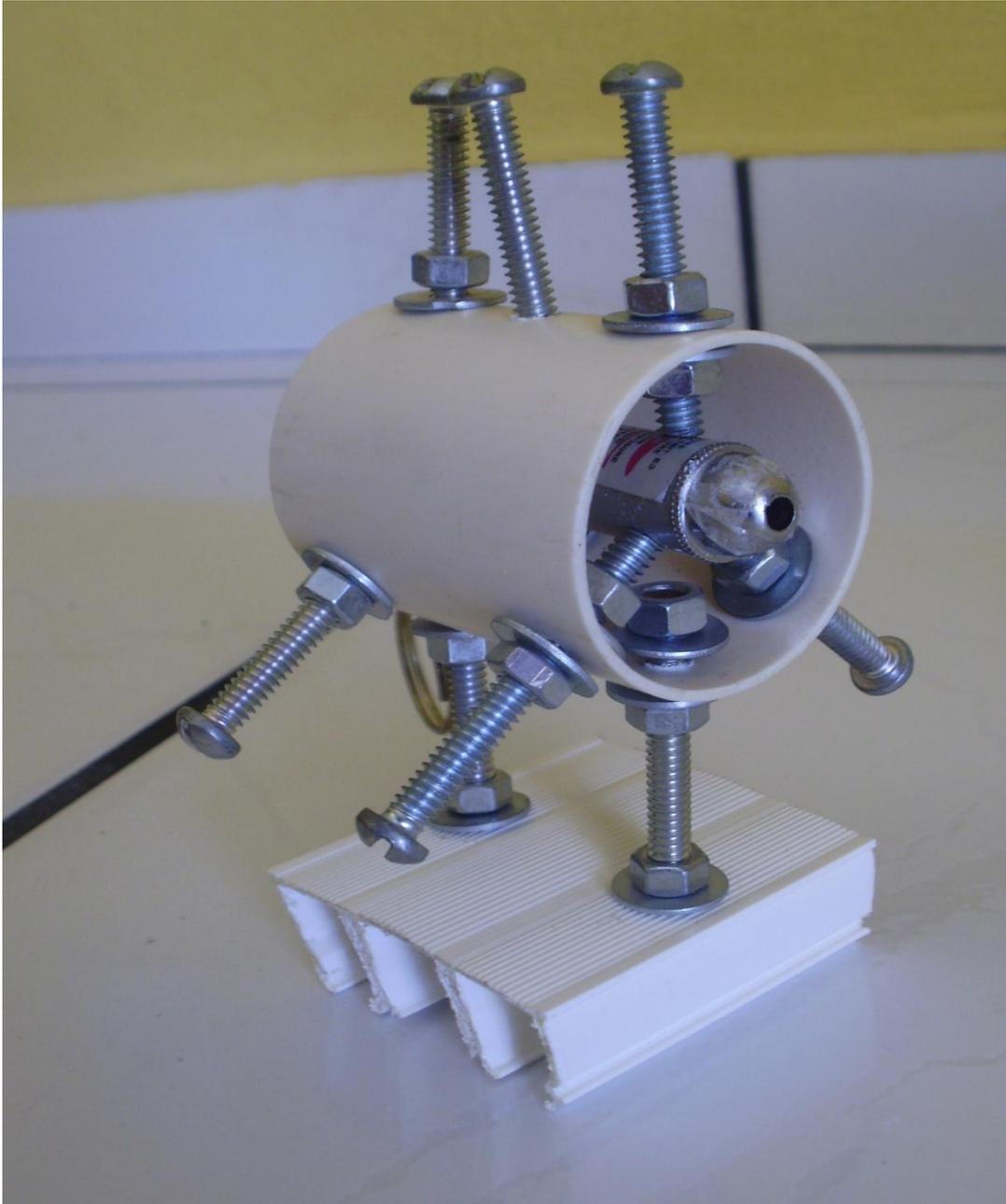


Figura 7.1.3: detalhes da placa de vidro utilizada.

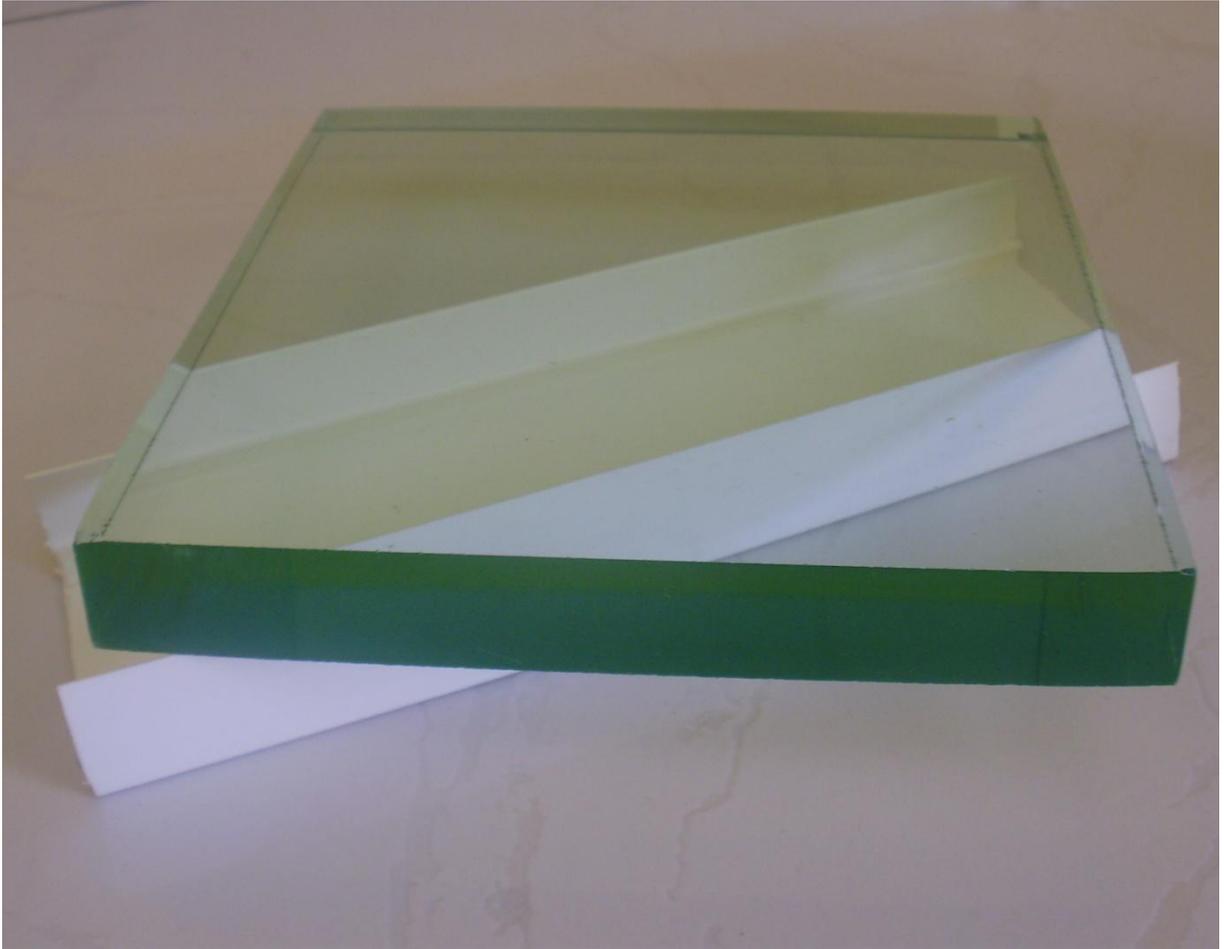


Figura 7.1.4: detalhe do suporte da placa de vidro.

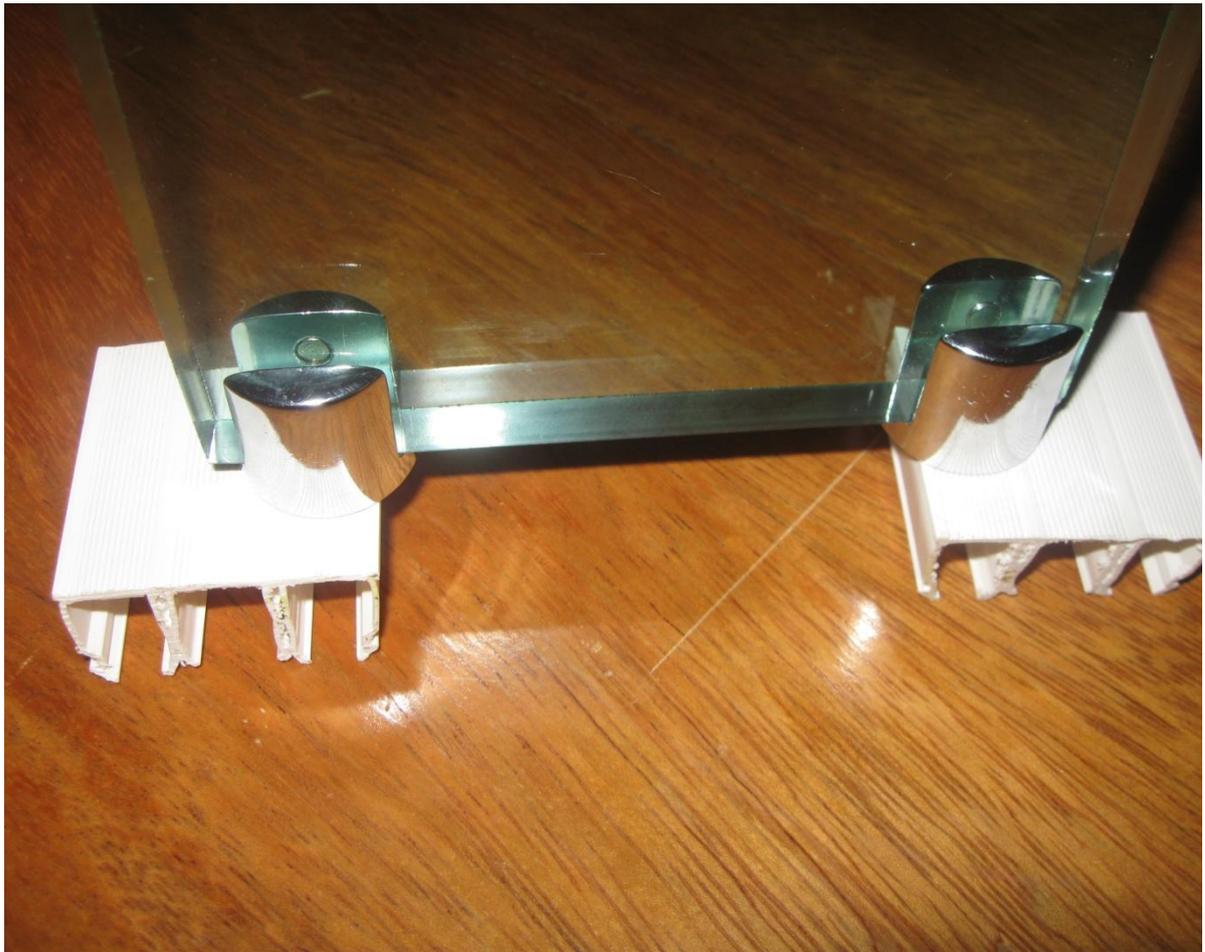
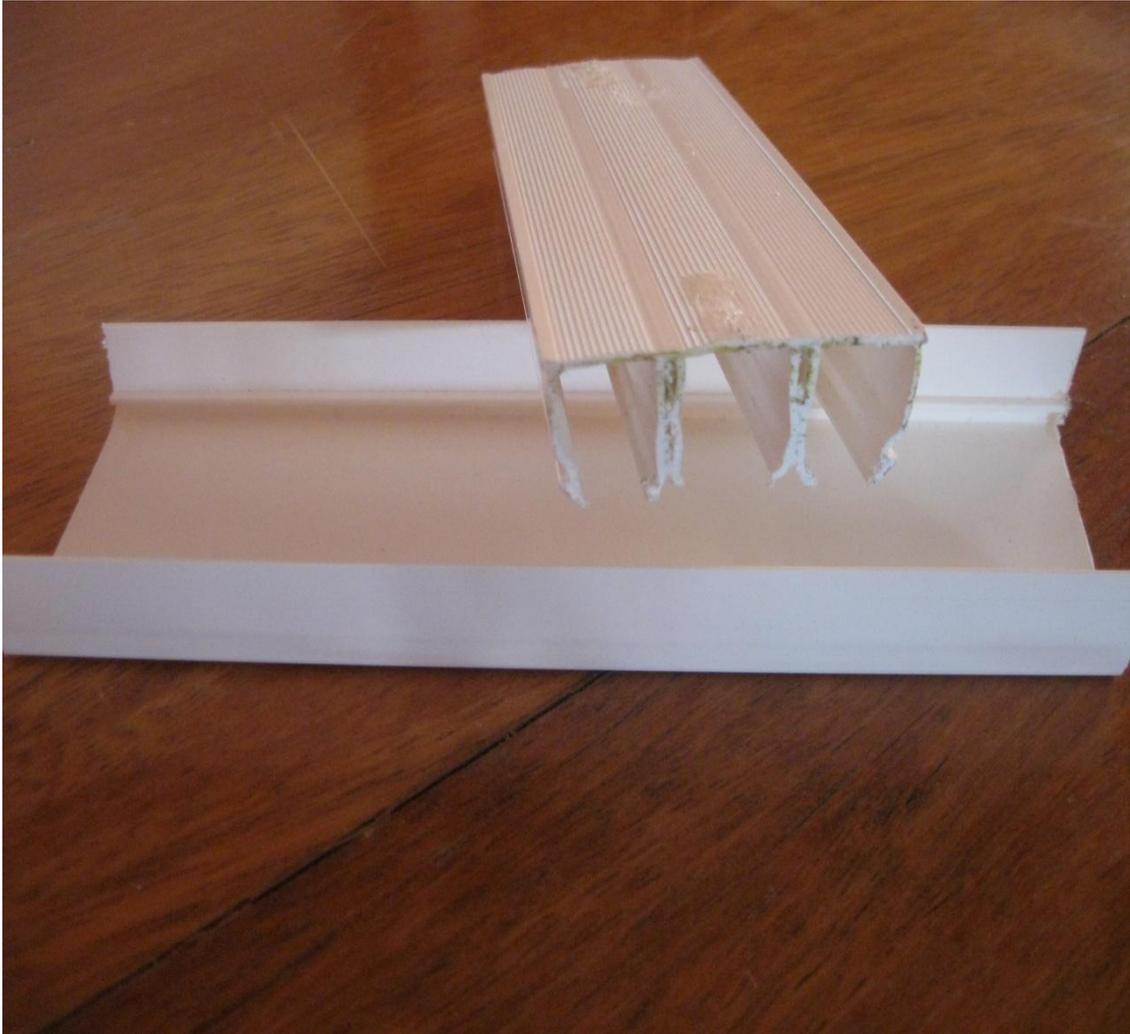


Figura 7.1.5: detalhe do anteparo.



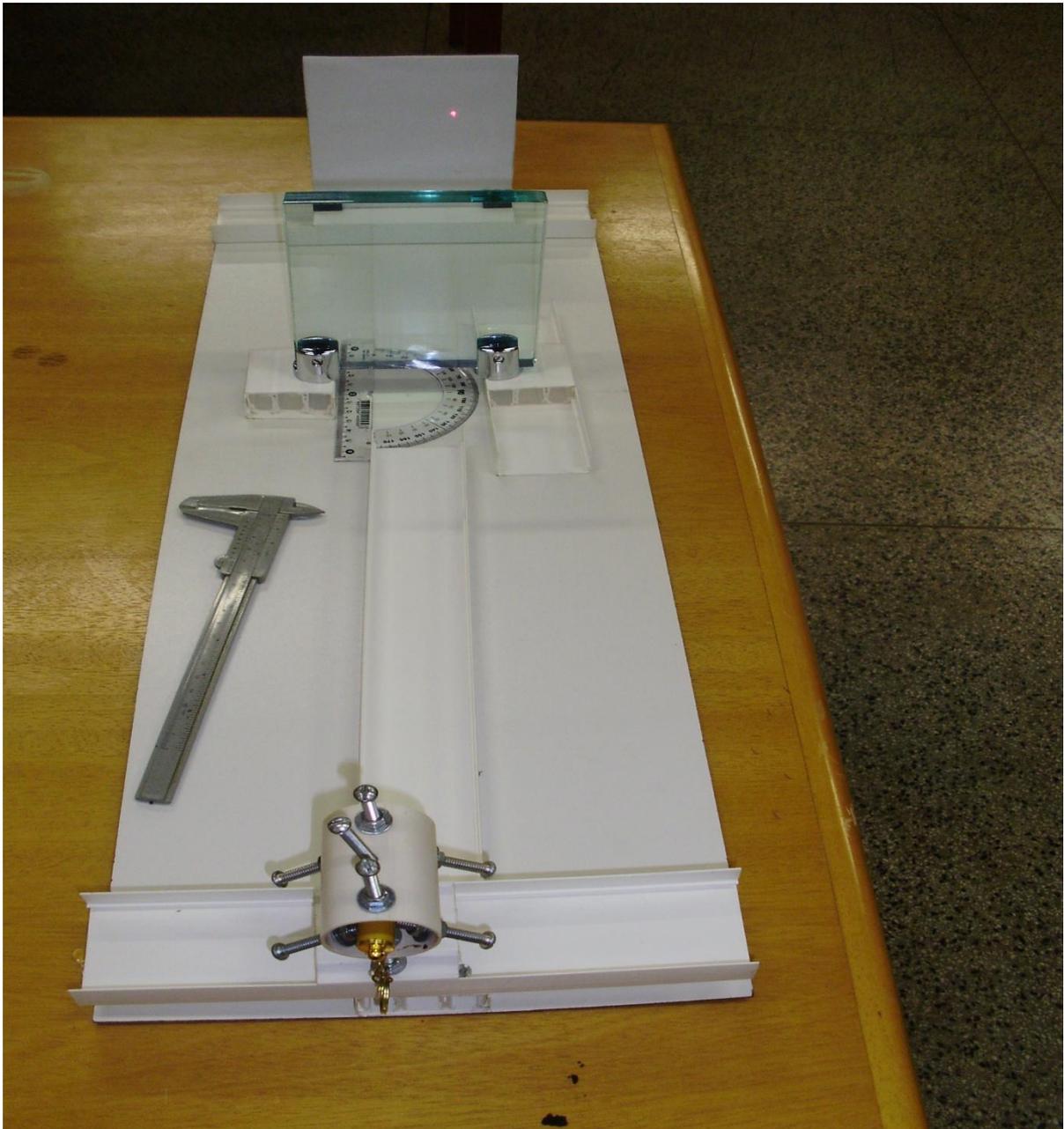
Figura 7.1.6: detalhe da canaleta utilizada.



## 7.2. MÉTODOS UTILIZADOS.

O procedimento na montagem iniciou com seis parafusos para fixar o laser no centro do tubo de PVC e um outro parafuso colocado sobre o interruptor que funcionou como botão liga-desliga e este preso em um pedaço de 5 cm retirado da parte da canaleta na qual possui separações internas. Dessa mesma parte foi retiradas pedaços de 5 e 10 cm para dar sustentação à placa de acrílico e o anteparo. Em uma extremidade da placa de MDF fixou-se um pedaço maior retirado da parte lisa da canaleta e sobre este colocado o laser, o mesmo processo foi feito na outra extremidade para colocar o anteparo. No centro do trilho foi colocada a placa de vidro utilizando o mesmo recurso do laser e anteparo, e entre os fixadores da mesma colocou-se o transferidor é importante que seja meia circunferência para que encaixe perfeitamente para medir o ângulo de inclinação da placa.

Figura 7.2.1: detalhes do experimento após a montagem.



Para calibragem do experimento colocou-se a placa em um ângulo de  $0^\circ$  para que o raio ao passar pela mesma não sofresse qualquer desvio lateral assim o ângulo entre a placa e o raio era no início de  $90^\circ$ . Depois desse processo os ângulos foram alterados para  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $55^\circ$  e  $60^\circ$  em relação ao raio incidente fazendo o mesmo incidir em vários pontos diferentes da placa. Para todas essas incidências foram marcadas no anteparo o ponto onde o raio chegava no anteparo após atravessar a placa de vidro e depois com a utilização de um paquímetro mediu-se o desvio lateral sofrido pelos raios.

Com o desvio encontrado em cada ponto para cada um dos ângulos de incidência pôde ser calculado o índice de refração da placa de vidro através da Eq. (7.8).

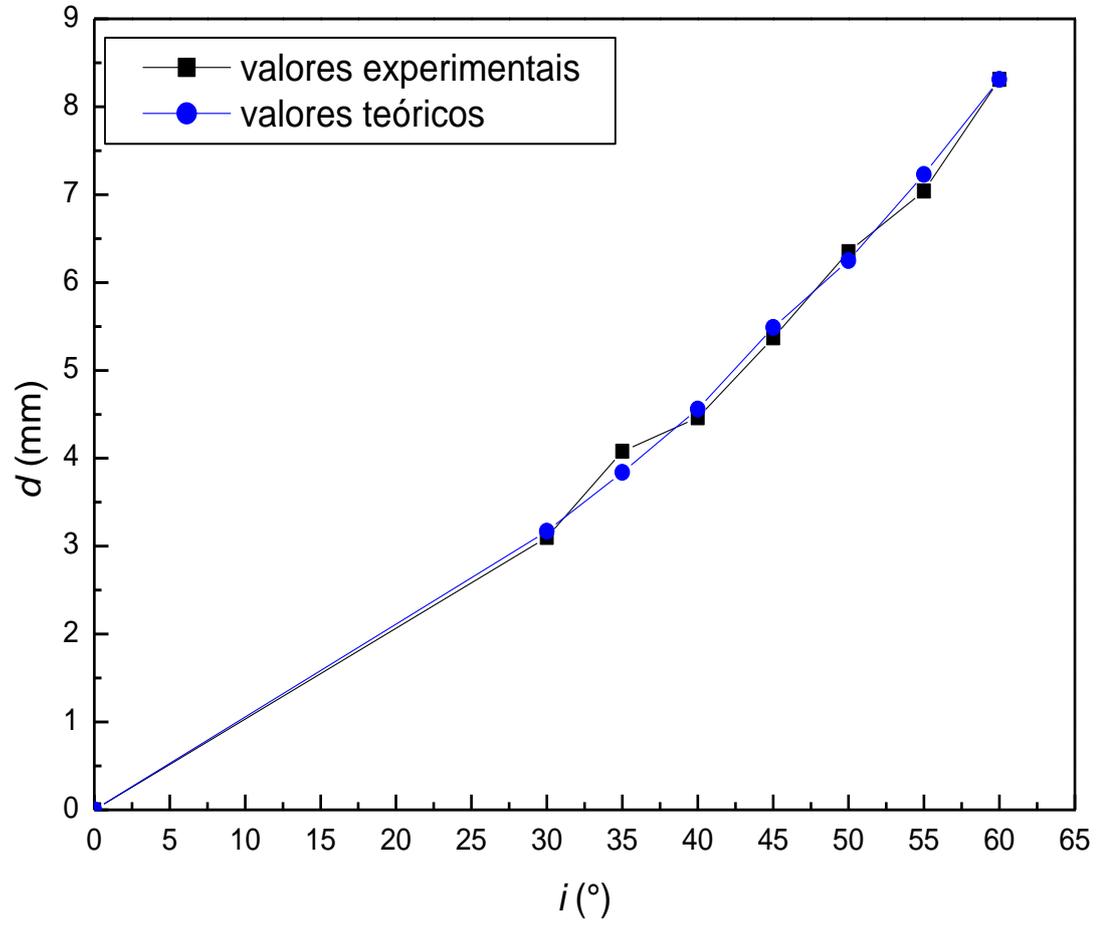
### 7.3. RESULTADOS ENCONTRADOS E DISCUSSÃO.

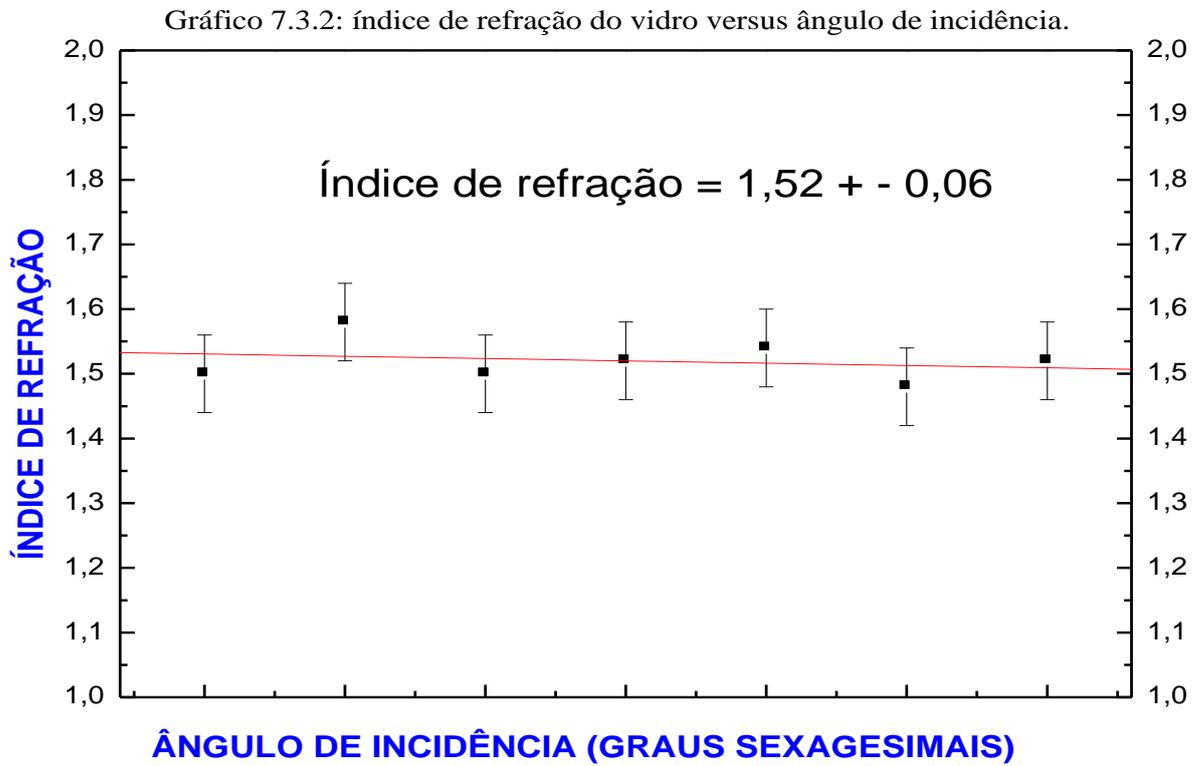
Os valores do índice para cada ângulo escolhido foram comparados graficamente com valores estimados da literatura para o vidro comum visando a avaliar o aparato experimental e também se o índice de refração da placa utilizada estava dentro desse valor. Com os valores obtidos foi possível calcular o índice de refração médio da placa que foi  $n_2 = 1,520$ .

Quadro 7.3.1: dados dos ângulos de incidência, das medidas e dos índices de refração obtidos.

Ângulo de incidência $i$ (°)	Desvio médio $d$ (mm)	Índice de refração $n_2$
30	$3,10 \pm 0,92$	1,50
35	$4,08 \pm 0,55$	1,58
40	$4,46 \pm 0,40$	1,50
45	$5,37 \pm 0,06$	1,52
50	$6,35 \pm 0,31$	1,54
55	$7,04 \pm 0,57$	1,48
60	$8,31 \pm 1,05$	1,52

Gráfico 7.3.1. desvio (d) sofrido pelo raio em função do ângulo de incidência (i) sobre a placa.



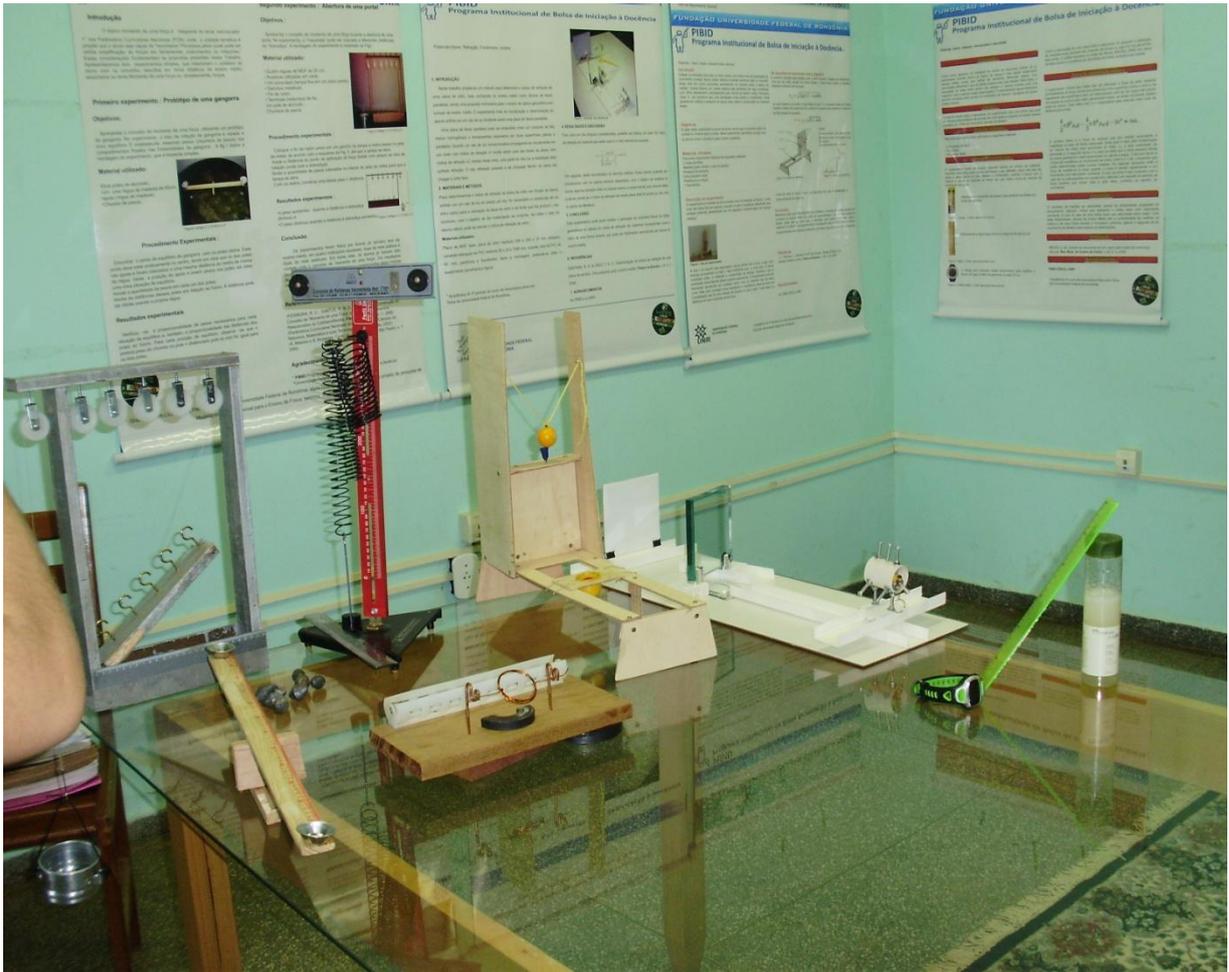


Com esse resultado podemos confirmar que este é um método bem eficiente para encontrar o índice de refração de materiais transparentes.

Figura 7.3.1: exposição do experimentos na semana de exatas da UNIR-2009.



Figura 7.3.2: exposição de experimentos na semana de exatas da UNIR-2009.



Todo procedimento desde a procura dos materiais utilizados, confecção do experimento e a utilização didática foi um processo simples e de fácil desempenho. Utilizando materiais de baixo custo, podemos mostrar como encontrar o índice de refração do vidro de maneira simples e clara e ao mesmo tempo trabalhar com conceitos de óptica geométrica.



## **8. APARELHO UTILIZADO ATUALMENTE PARA MEDIR O ÍNDICE DE REFRAÇÃO.**

Segundo Alves [20] o elipsômetro é um aparelho utilizado na ciência para determinar o índice de refração dos materiais. A elipsometria é uma técnica óptica que permite a medida da espessura e das propriedades ópticas de filmes extremamente finos ou camadas de um material. As propriedades mensuráveis são o índice de refração (ou quanto à luz é desviada) e a magnitude da absorção de luz, ou seja, do chamado coeficiente de absorção. O princípio de funcionamento de um elipsômetro está baseado na irradiação de um material e a posterior captura de sua reflexão. Os modernos elipsômetros fazem uso de lasers como fontes de luz. Geralmente é utilizado o laser de He-Ne (Hélio-Neônio).

O princípio básico de funcionamento de um elipsômetro consiste em um feixe de luz passa primeiramente através de um polarizador, de modo que somente a luz orientada numa direção bem conhecida pode prosseguir. Esta, em seguida, passa através de um dispositivo denominado compensador, cuja finalidade é polarizar elipticamente o feixe de luz. Só então a luz remanescente atinge o material sob estudo.

A análise é feita considerando a Lei de Snell que diz que quando um feixe de luz interage com um material, parte dele será refletido imediatamente e parte será absorvido e atravessará o material, antes da reflexão. Através da medida da diferença entre duas reflexões, a espessura do material poderá ser determinada. A luz refletida também sofre uma mudança na polarização, de tal sorte que esta é usada para calcular o índice de refração e o coeficiente de absorção.

Figura 8.1: Elipsômetro.



Imagem extraída da referência [20]

Os elipsômetros são dispositivos extremamente sensíveis, capazes de medir camadas tão finas quanto camadas atômicas. São muito usados na indústria de semicondutores, onde é muito comum o crescimento - por métodos químicos -, de camadas sucessivas, uma sobre as outras. A elipsometria é uma técnica não-destrutiva. Os materiais medidos por esta técnica não sofrem danos adversos durante o processo. Tal aspecto tem feito com que o uso da elipsometria tenha aumentado muito no estudo de sistemas biológicos.

## 9. CONCLUSÃO.

Nos últimos tempos muito se tem falado em estratégias eficiente de ensino nas escolas como uma forma eficiente para um aprendizado significativo. Experimentos construídos com materiais de baixo custo é um recurso muito eficiente e de suma importância no processo educacional. O aparato experimental mostrou de forma simples e clara que utilizando materiais de baixo custo, podemos mostrar como encontrar o índice de refração do vidro e ao mesmo tempo trabalhar com conceitos de óptica geométrica. O valor encontrado do índice de refração do nosso vidro de trabalho foi de  $1,52 \pm 0,06$  resultado satisfatório. Fica então como sugestão estratégica aos professores de ensino médio construir uma montagem de baixo custo para medir o índice de refração de um vidro ou de outro material.

## REFERÊNCIAS

- [1] GUIMARÃES, T. M. **Óptica – uma visão histórica**. Disponível em: <<http://physicsact.wordpress.com/2007/11/26/optica-uma-visao-historica>>. Acesso em 16 dez 2010, 9:28:00.
- [2] FREUDENRICH, C. **Quando a luz atinge um objeto**. Disponível em: <<http://ciencia.hsw.uol.com.br/luz12.htm>>. Acesso em 17 dez 2010, 17:27:00.
- [3] **A reflexão e a refração da luz**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/reflexao-da-luz/reflexao-da-luz.php>>. Acesso em 16 dez 2010, 17:49:00.
- [4] TIPLER, Paul Allan. **Eletricidade e Magnetismo, Óptica**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 2006. p. 366. v.2.
- [5] Instituto Geográfico Português; **Tutorial de Detecção Remota**. Disponível em: <[http://www.igeo.pt/gdr/tutorial\\_gdr.php](http://www.igeo.pt/gdr/tutorial_gdr.php)>. Acesso em 10 dez 2010, 12:37:00.
- [6] RIBEIRO, M.A.A. **Prismas e cristais**. Disponível em: <<http://profcorelio.blogspot.com/2010/03/prismas-e-cristais.html>> Acesso em 10 dez 2010, 12: 56:00.
- [7] Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/discovirtual/galerias/imagem/0000001303/0000015464>>. Acesso em 09 dez 2010, 21:10:00.
- [8] BISQUOLO. P.A. **Refração da luz**. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/fisica/ult1700u37.jhtm> >. Acesso em: 09 dez 2010, 16:15:00.
- [9] **Refração da Luz**. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfoII/pagina\\_2.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialfoII/pagina_2.asp) >. Acesso em: 14 dez 2010, 18:49:00.
- [10] PORTNOI. M., *et all*. **Refração**. Disponível em: <<http://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/refraction.html>>. Acesso em 22 dez 2010, 19:07:00.
- [11] FREUDENRICH, C. **Como funcionam as fibras ópticas**. Disponível em: <<http://informatica.hsw.uol.com.br/fibras-opticas1.htm>>. Acesso em 12 dez 2010, 11:35:00.
- [12] LUCALM. **Aplicações da Fibra Óptica na Medicina**. Disponível em: <[http://www.lucalm.hpg.ig.com.br/mat\\_esp/aplic\\_med/medicina.htm](http://www.lucalm.hpg.ig.com.br/mat_esp/aplic_med/medicina.htm)>. Acesso em 12 dez 2010, 16:18:00
- [13] Disponível em: <[http://www.gta.ufrj.br/grad/01\\_1/fibrasoticas/fibrasopticas.htm](http://www.gta.ufrj.br/grad/01_1/fibrasoticas/fibrasopticas.htm)>. Acesso em 12 dez 2010, 15:31:00

[14] Antunes, T. **Finalmente a fibra óptica chega em massa a Portugal.** Disponível em: <<http://globpt.com/2009/05/15/finalmente-a-fibra-optica-chega-em-massa-a-portugal/>>. Acesso em 12 dez 2010, 15:17:00.

[15] EDUCAÇÃO. S. E. **Diretrizes Curriculares para a Educação Básica.** Curitiba, 2006.

[16] MORAES, Maria Cândida. **O paradigma Educacional Emergente.** 11<sup>a</sup> Ed. Campinas, SP: Papyrus. 2005. p.31,198.

[17] VYGOTSKY, Lev Semenovich. **A Formação Social da Mente.** 6<sup>a</sup> Ed. São Paulo: Martins Fontes. 1998. p. 40.

[18] SÉRÉ, M. G. **O Papel da Experimentação no Ensino da Física.** Disponível em: <<http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6560/6046>>. Acesso em 17 dez 2010, 15:55:00.

[19] SANTANA, B. A. et all. **Determinação do Índice de Refração de uma Placa de Acrílico. Uma Proposta para o Ensino Médio.** Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol9/Num1/indice-refracao.pdf>>. Acesso em 26 abr.2009, 19:14:00.

[20] ALVES. O. L. Disponível em: <[http://lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_responde/lqes\\_responde\\_elipsometro.html](http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_responde/lqes_responde_elipsometro.html)>. Acesso em 17 dez, 2010, 16:51:00.