

**INSTITUTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

*Laboratório de Eletromagnetismo
(4300373)*

Grupo:
.....
.....
(nomes completos)

Prof(a): Diurno () Noturno ()

Data : ____ / ____ / ____

Experiência 8

POLARIZAÇÃO DAS MICRO-ONDAS

1. Introdução

Nesta experiência você vai trabalhar com um equipamento de emissão e recepção de micro-ondas. Estas são ondas eletromagnéticas com frequências entre 300 MHz e 300 GHz, ou seja, comprimentos de onda entre aproximadamente 1 m e 1 mm ($\lambda = c / f$). As propriedades gerais das ondas eletromagnéticas dependem de suas frequências, dos materiais nos quais se propagam e da geometria dos dispositivos que geram, interferem e detectam essas ondas.

Estudaremos algumas propriedades gerais de propagação e, principalmente, a polarização das ondas eletromagnéticas, utilizando elementos feitos especificamente para micro-ondas e que não funcionam para detectar, polarizar, difratar ou refratar ondas como aquelas que você capta com seu rádio AM (frequência em torno do 1 MHz), luz (frequência em torno de 10^{15} Hz) ou radiações X e gama, (frequências acima de 3×10^{15} Hz). Todas as citadas são ondas eletromagnéticas, têm a mesma velocidade de propagação no vácuo (c), mas interagem com a matéria de maneira diversa devido às diferenças de comprimento de onda/frequência.

Para melhor interpretar seus resultados, vale a pena uma revisão sobre a polarização de ondas. Para as ondas *EM* considera-se que a direção de vibração do campo elétrico define a direção de polarização. Assim, uma polarização linear da onda significa que o campo elétrico oscila em **uma única direção**, que é perpendicular à direção de propagação da onda. Há materiais cuja estrutura interna só permite a vibração do campo elétrico em uma dada direção (na óptica, eles são chamados de *dicroicos*). Esses materiais podem ser usados como polarizadores de um feixe de onda *EM* não polarizada, pois só deixam passar uma parte da onda que neles incide, de acordo com a sua direção preferencial de vibração. Quando um material desse tipo recebe uma onda *EM* polarizada somente a componente do campo elétrico paralela à direção em que a estrutura vibra será absorvida. Assim, à medida que o material é girado em relação à direção de polarização da onda *EM*, a intensidade da onda **absorvida** varia entre zero e um valor máximo. É atribuído a *Étienne-Louis Malus*, nos seus estudos de óptica, a observação de que a intensidade da luz transmitida por um material polarizador é dada por: $I = I_0 \cos^2 \theta$; onde I_0 é a intensidade inicial e θ é o ângulo entre as direções da onda incidente e do ângulo de polarização do polarizador.

Do Fabricante: CUIDADO – em algumas circunstâncias, micro-ondas podem interferir com equipamentos medicinais eletrônicos. **Se você estiver utilizando um marca-passos ou outro equipamento medicinal**, consulte seu médico ou o fabricante para certificar-se de que micro-ondas de baixa potência na frequência de 10.25 GHz não irão interferir com seu funcionamento.

IARC (International Agency for Research on Cancer):

Os estudos científicos atuais indicam que não há efeitos carcinogênicos de ondas de radiofrequência para seres humanos. A única possível exceção é a associação de uso muito intenso de telefones celulares (1 a 2 GHz) e gliomas.

2. Material Utilizado

- :: Conjunto transmissor e receptor de micro-ondas;
- :: Régua-suporte para o transmissor e receptor;
- :: Polarizador (grade metálica)
- :: Placas condutoras e dielétricas

3. Conhecendo o equipamento

3.1. Antes de iniciar os experimentos, familiarize-se com o equipamento. Você deve encontrar um emissor de micro-ondas e um receptor (com um medidor de intensidade do sinal recebido). Devido a ruídos e interferências do meio, a intensidade do sinal recebido pelo detector de micro-ondas (e acusada no amperímetro) não é proporcional nem à amplitude do campo nem à energia transportada. Assim, sua escala será em unidades arbitrárias (*u.a.*). O receptor possui quatro faixas de amplificação (selecionáveis de 1 a 30) e um botão de ajuste fino da amplificação.

3.2. Monte o equipamento como o da figura 1.

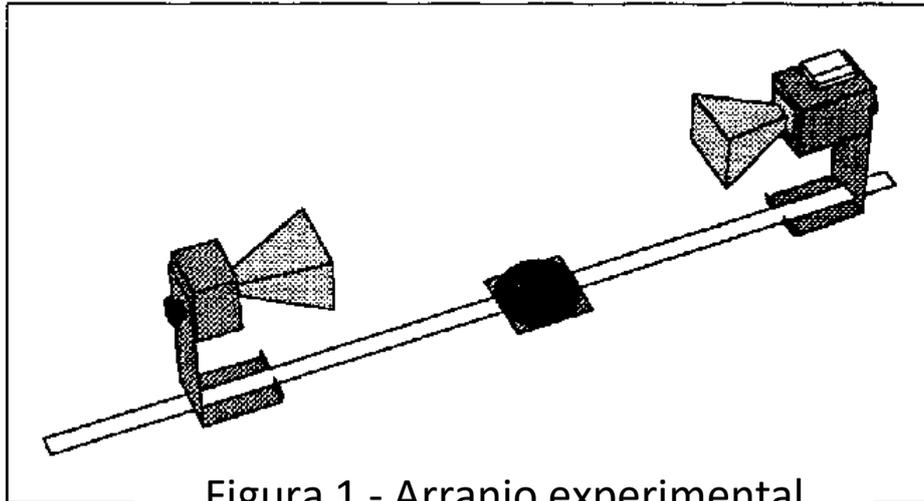


Figura 1 - Arranjo experimental

3.3. A radiação de micro-ondas do transmissor (emissor) é linearmente polarizada ao longo do eixo do diodo do transmissor (isto é, quando a radiação se propaga pelo espaço, seu campo elétrico oscilante permanece alinhado com o eixo do diodo). Se o diodo transmissor estiver alinhado verticalmente, o campo elétrico da onda transmitida estará verticalmente polarizado, como mostrado na figura 2. O diodo detector também é polarizado, ou seja, só detecta o campo elétrico paralelo a seu eixo principal. Se o diodo detector estiver a um ângulo θ em relação ao diodo transmissor, como na figura 3, ele detectará apenas a componente do campo elétrico incidente que se encontra alinhada ao longo do seu eixo.

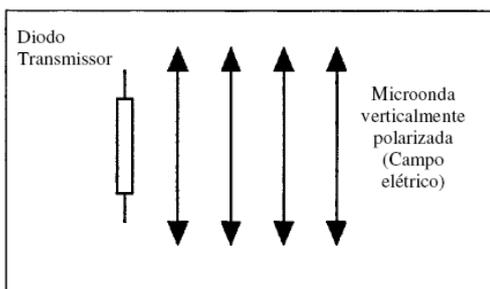


Figura 2 – Polarização Vertical

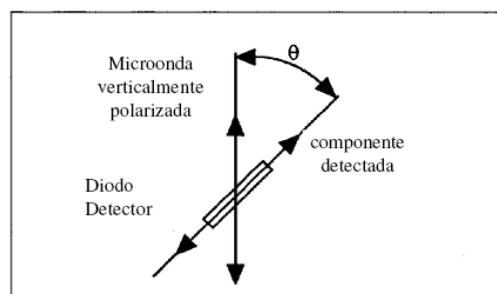


Figura 3 – Detectando a radiação polarizada

3.4. Neste experimento você vai investigar o fenômeno da polarização e descobrirá como um *polarizador* pode ser utilizado para alterar a polarização da radiação de micro-ondas. Verifique primeiramente que a onda é de fato polarizada, ou seja, o receptor acusa o recebimento de ondas preferencialmente em uma direção determinada. Você pode fazer isso girando gradualmente o emissor enquanto mantém o receptor fixo, ou vice-versa.

3.5. Verifique agora, posicionando as placas disponíveis e uma folha de papel em frente ao receptor, que ocorrem diferenças na intensidade na radiação detectada devido à reflexão e transmissão da onda. Que material (condutor / dielétrico) reflete/transmite mais intensamente as ondas?

3.6. Anote (veja no equipamento) a frequência das ondas e a potência nominal.

f : _____ $\rightarrow \lambda =$ _____ ; P : _____

4. Polarizador de transmissão

4.1. Mantenha o equipamento como na montagem vista na figura 1. Ajuste os controles do receptor para uma deflexão quase máxima na escala do amperímetro.

4.2. Solte o parafuso atrás do transmissor e gire-o em relação ao receptor de 10° em 10° . À cada posição da rotação anote a leitura na escala do medidor, seguindo a tabela 1.

Tabela 1. Leituras do receptor de micro-ondas para diversos ângulos entre emissor e receptor

Ângulo do Receptor ($^\circ$)	Leitura (escala)	Ângulo do Receptor ($^\circ$)	Leitura (escala)
0		110	
10		120	
20		130	
30		140	
40		150	
50		160	
60		170	
70		180	
80		190	
90		200	
100		210	

O que acontece com a leitura quando você continua a rodar o transmissor além dos 180°?

4.3. Com os dados da Tabela 1, construa um gráfico das leituras no receptor em função do ângulo θ entre o receptor e o emissor. Verifique se a *Lei de Malus* $I = I_0 \cos^2 \theta$ para a intensidade da onda eletromagnética polarizada é verificada, partindo a hipótese que a leitura do medidor do receptor de micro-ondas é proporcional à intensidade da onda que ele absorve. Para essa finalidade ajuste uma curva com a função $(A \cos^2 \theta)$, variando o valor do parâmetro A até obter o melhor ajuste possível (visualmente, sem necessidade de cálculos mais sofisticados como mínimos quadrados).

4.4. Monte o equipamento como mostrado na figura 4. Coloque o transmissor de novo a 0° (as cornetas devem estar orientadas com a grade de polarização com o lado maior na horizontal, como mostrado na Figura 4).

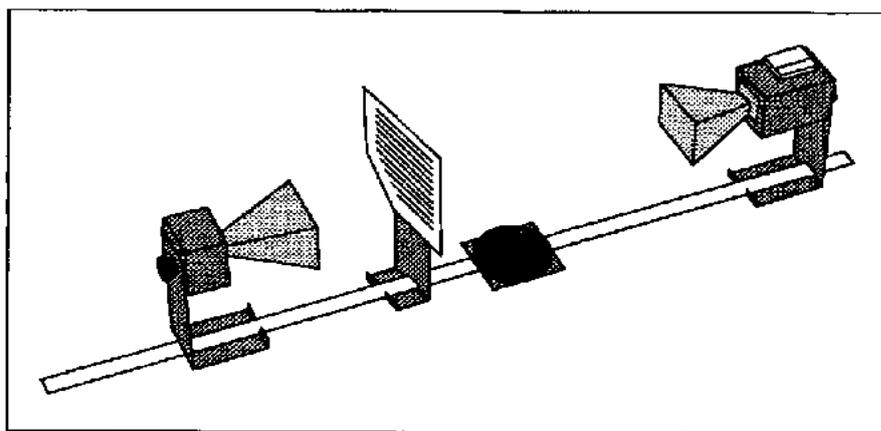


Figura 4 - Arranjo experimental

4.5. Registre na Tabela 2 as leituras quando a grade polarizadora está alinhada a 0°, 45° e a 90° em relação à horizontal.

4.6. Remova a grade polarizadora. Gire o receptor de forma que o eixo de sua corneta esteja em ângulo reto com o do transmissor e faça a medida. Coloque então o polarizador de volta e registre a leitura com a grade do polarizador na horizontal, vertical e a 45 graus. Anote esses resultados na Tabela 3 e comente suas observações no espaço abaixo.

Tabela 2. Medidas com grade polarizadora (cornetas alinhadas)

Ângulo da grade Polarizadora	Leitura do Medidor
Horizontal (0°)	
Vertical	
45°	

Tabela 3. Medidas com grade polarizadora (cornetas a 90°)

Ângulo da grade Polarizadora	Leitura do Medidor
Horizontal (0°)	
Vertical	
45°	

Comentários:

5. Polarização por reflexão

Os coeficientes de reflexão e de transmissão de ondas eletromagnéticas refletidas por dielétricos dependem da polarização. (Veja, por exemplo, o livro *Física, Allonso e Finn, seção 20.7*). Para um determinado ângulo – chamado **ângulo de Brewster** - a reflexão de uma onda com uma determinada polarização é nula e, portanto, a transmissão é máxima.

Quando a radiação eletromagnética passa de um meio para outro, normalmente parte da radiação é refletida na superfície do novo meio. Neste experimento, você verificará que a magnitude do sinal refletido depende da polarização da radiação. De fato, num certo ângulo de incidência (*ângulo de Brewster*) há um ângulo de polarização para o qual nenhuma radiação será refletida.

5.1. Monte o equipamento como na figura 5, colocando o transmissor e o receptor para a polarização horizontal, ou seja, com o diodo emissor na direção horizontal.

5.2. Ajuste o painel dielétrico de tal forma que o ângulo de incidência da micro-onda seja aproximadamente 20° em relação à normal. Gire o braço do goniômetro até que o receptor esteja posicionado de forma a detectar o máximo de sinal refletido pelo painel. Ajuste os controles do receptor para uma leitura de meia escala e registre a leitura e fator de atenuação na tabela 4.

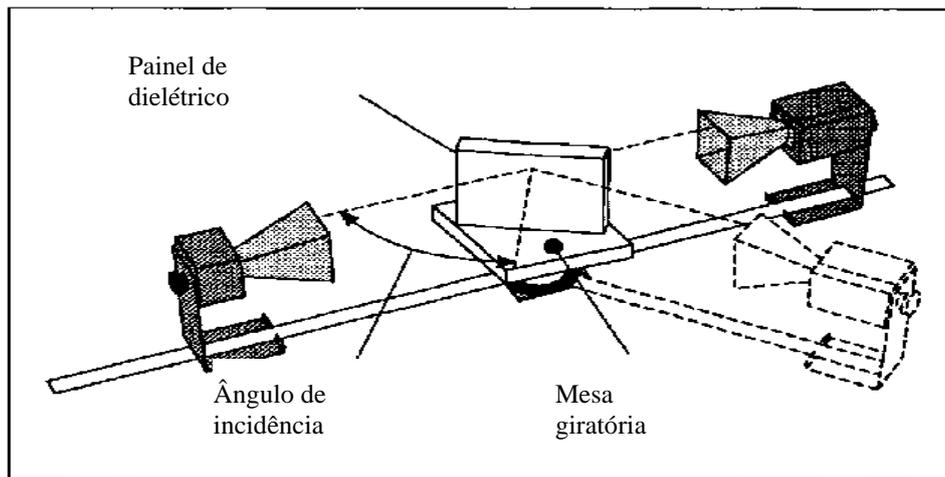


Figura 5 Arranjo experimental

5.3. Agora gire ambas as cornetas do transmissor e do receptor de forma que fiquem alinhados para a polarização vertical (diodo na vertical). Registre a leitura do medidor na Tabela 4.

5.4. Ajustando o ângulo de incidência para cada um dos valores mostrados na Tabela 4, repita os passos 5.2 e 5.3. A cada ponto, ajuste o transmissor e o receptor para a polarização horizontal e registre a leitura do medidor; depois ajuste-os para polarização vertical e registre a leitura também.

5.5. Construa um gráfico das medidas experimentais em função do ângulo de incidência. Coloque ambas as polarizações, vertical e horizontal, no mesmo gráfico. Indique o ângulo de Brewster que corresponde ao ângulo no qual somente a onda polarizada paralelamente ao plano de incidência é refletida.

Tabela 4. Medições para obter o ângulo de Brewster.

Ângulo de incidência(°)	Leitura do medidor (Polarização Horizontal)	Escala	Leitura do medidor (Polarização Vertical)	Escala
20				
30				
40				
50				
60				
70				

θ_B : _____

A partir do ângulo de Brewster, sabendo-se que $\text{tg } \theta_B = n_2 / n_1$ e considerando o índice de refração do ar igual a 1, calcule o índice de refração do material da placa.

Índice de refração do material da placa: _____

Perguntas para o Relatório

- 1 - Explique detalhadamente como a grade polarizadora afeta a radiação de micro-onda incidente, baseando-se nos seus resultados experimentais.
- 2 - Explique em que situações a introdução do polarizador no arranjo experimental pode aumentar a intensidade da onda transmitida. Você pode usar diagramas mostrando a polarização da onda antes e depois do polarizador para ilustrar sua explicação.
- 3 - Explique como os óculos *Polaroid* podem ser utilizados para reduzir o brilho causado pelo pôr do sol sobre um lago ou oceano.

Você deve entregar este guia no final da aula, juntamente com as tabelas e gráficos.