

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA - DEE**  
**ÁREA DE MICROONDAS E ELETROMAGNETISMO APLICADOS**  
**ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

***RELATÓRIO DE***  
***ESTÁGIO SUPERVISIONADO***

***LABORATÓRIO DE MICROONDAS E***  
***ELETROMAGNETISMO APLICADOS***

**NIEBETH COSTA BRITO**

**CAMPINA GRANDE, OUTUBRO DE 2002**

**ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

***RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO***

***LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO E  
MICROONDAS APLICADOS***

**NIEBETH COSTA BRITO  
ALUNO**

**RÔMULO RAIMUNDO MARANHÃO DO VALLE  
ORIENTADOR**

**MARCOS ANTÔNIO BARBOSA DE MELO  
MEMBRO DA BANCA EXAMINADORA**



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

## AGRADECIMENTOS

- ☞ Agradeço a Deus por ter me dado forças e a motivação necessária para lutar por meus objetivos e alcanças as metas traçadas;
- ☞ À minha família, que sempre esteve presente, me dando forças, me incentivando a vencer todas as dificuldades que aparecerão ao longo da trajetória desse trabalho, em especial aos meus pais;
- ☞ À Camila, que em tão pouco tempo me cativou tanto e se tornou muito importante à minha vida;
- ☞ À Cira, com a qual dividi boa parte de meu tempo ao longo desse curso, sempre me ajudando com uma palavra amiga e sempre me incentivando a chegar nesse momento;
- ☞ Ao professor Rômulo, que sempre me apoiou, me incentivou a desenvolver esse trabalho e se prontificou a tirar todas às dúvidas em relação às montagens. Muito obrigado, professor;
- ☞ Aos meus colegas de curso, com os quais batalhei muito para chegar esse momento, sempre estiveram juntos nas alegrias e tristezas, são verdadeiros amigos;
- ☞ À todos que me ajudaram com uma palavra amiga e sincera.

# SUMÁRIO

## 1. Introdução;

Objetivos;

Motivação do Trabalho;

Descrição do Trabalho;

Descrição do Laboratório;

Descrição dos Equipamentos;

Escolha dos Experimentos;

## 2. Guia dos Experimentos;

Interferência de Microondas;

Reflexão Total Frustrada / Microondas;

## 3. Conclusões e Sugestões

## 4. Bibliografia

# Introdução

reconhecimento do nível do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande

### **Descrição do trabalho**

O trabalho realizou-se no Laboratório de microondas da presente Universidade, foi desenvolvido em 120 horas e apresentou as seguintes etapas:

- escolha dos experimentos a serem desenvolvidos;
- verificação da disponibilidade do material necessário para desenvolvê-los;
- estudo teórico dos experimentos a serem desenvolvidos;
- elaboração de um guia provisório para cada experimento;
- realização do experimento utilizando os kits de microondas da PHYWE;
- verificação dos resultados obtidos com os esperados;
- ajuste e elaboração do guia final de cada experimento.

### **Descrição do Laboratório**

O laboratório de Microondas da Universidade Federal de Campina Grande é equipado com diversos equipamentos de microondas, assim como alguns PCs e é utilizado tanto para o ensino, a pesquisa e atividade de extensão.

No ensino, o laboratório é utilizado principalmente nas disciplinas de Antenas e Propagação, Estruturas Guiantes, Engenharia de Microondas e Ondas e Linhas, na graduação e também em algumas disciplinas da pós-graduação. Na pesquisa, o laboratório é utilizado por alguns alunos da pós-graduação no desenvolvimento de pesquisas na área de microondas. Na extensão, ele é utilizado por alguns alunos no desenvolvimento de trabalhos de estágios, assim como de Projetos em Engenharia Elétrica.

### Descrição dos Equipamentos

A maioria dos equipamentos utilizados nestes trabalhos são do kit da PHYWE. Estes kits são bastante práticos, pois não precisam de muitos ajustes para que sejam colocados em atividade. Entre os diversos equipamentos utilizados no laboratório, os principais foram:

- Gerador de microondas w.klystron;
- Antena transmissora de microondas;
- Antena Receptora (diodo-receptor);
- Multímetro;
- Amplificador de sinais;
- Anteparos de metal e de vidro;
- Bases, tripés e conectores;

### Escolha dos Experimentos

A escolha dos experimentos a serem desenvolvidos foi feita em conjunto por mim e o professor Rômulo e levamos em consideração:

- a) Experimentos sugeridos pela PHYWE – juntamente com os kits da PHYWE, foram enviados uma série de propostas de experimentos os quais poderiam ser implementados;
- b) Necessidade extra-classe – dentre esses experimentos escolhidos, quais seriam os que mais necessitariam ser apresentados para os alunos, frente a dificuldade destes em apenas aprender os conceitos teóricos e não poder visualizar aquele fenômeno na prática;
- c) Material presente no laboratório – diante dessa “carência” dos alunos, fomos verificar quais os equipamentos estariam disponíveis no laboratório, já que o material da PHYWE não veio completo, para a realização do experimento. Diante desse impasse, alguns experimentos



interessantes deixaram de ser realizados como o Interferômetro de Michelson por não termos recebido o material suficiente para a sua realização no laboratório;

Levando em consideração esses aspectos citados acima, os experimentos escolhidos foram:

- Interferência de Microondas;
- Reflexão Total Frustrada / Microondas.

Dentro desses dois experimentos existem sub-experimentos e sub-tópicos, entre eles estão, a determinação do comprimento de onda do sinal de microondas recebido pela antena, fenômeno da onda estacionária, além do estudo de sinais refletidos e transmitidos e a reflexão interna frustrada.

# **Guia dos Experimentos**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ÁREA: MICROONDAS E ELETROMAGNETISMO APLICADOS**

**DISCIPLINA: LABORATÓRIO DE ANTENAS E PROPAGAÇÃO**

**PROFESSOR: RÔMULO R. MARANHÃO DO VALLE**

**PERÍODO: 2000.2**

# **INTERFERÊNCIA DE MICROONDAS**

CAMPINA GRANDE  
SETEMBRO-2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**ÁREA DE MICROONDAS E ELETROMAGNETISMO APLICADOS**

**LABORATÓRIO DE ANTENAS E PROPAGAÇÃO**

**Professor: Rômulo R. Maranhão do Valle**

**Experimento: Interferência de Sinais de Microondas**

**Objetivo:** Medição do comprimento de onda de um sinal de microondas através da produção de uma onda estacionária via:

1. Reflexão num anteparo de metal;
2. Reflexão em bloco dielétrico;

**Equipamentos:**

- Transmissor de Microondas w.klystron;
- Receptor de Microondas;
- Fonte de Alimentação para o klystron;
- Escala;
- Placas de Vidro, 200 x 300 x 4 mm;
- Anteparo de metal, 300 x 300 mm;
- Suporte para as placas;
- Braçadeira G;

- Tripé;
- Base;
- Adaptador BNS-plug/soquete;
- Conectores;
- Antena Corneta;



Figura 1 – Vista da montagem para reflexão no anteparo de metal

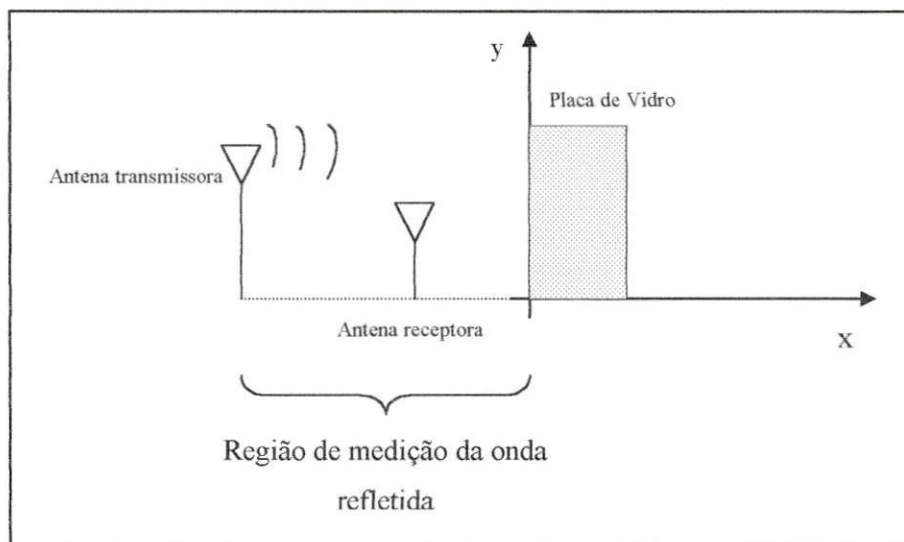


Figura 2 – Esquema de montagem para reflexão na placa de vidro

### Introdução Teórica:

Considere uma onda eletromagnética irradiada por uma antena propagando-se no espaço livre. A onda pode ser assumida planar em regiões longe da antena, com os campos elétricos e magnéticos em quadratura espacial.

A expressão analítica do campo elétrico e o do campo magnético da onda em meios sem perdas é a seguinte:

$$E_y = E_y' \cos (\omega t - \beta x + \phi) \text{ V/m}$$

$$H_z = H_z' \cos (\omega t - \beta x + \theta) \text{ A/m}$$

$E_y'$  e  $H_z'$  são as amplitudes dos respectivos campos.

$$\beta = 2\pi / \lambda \quad \text{rad/s}$$

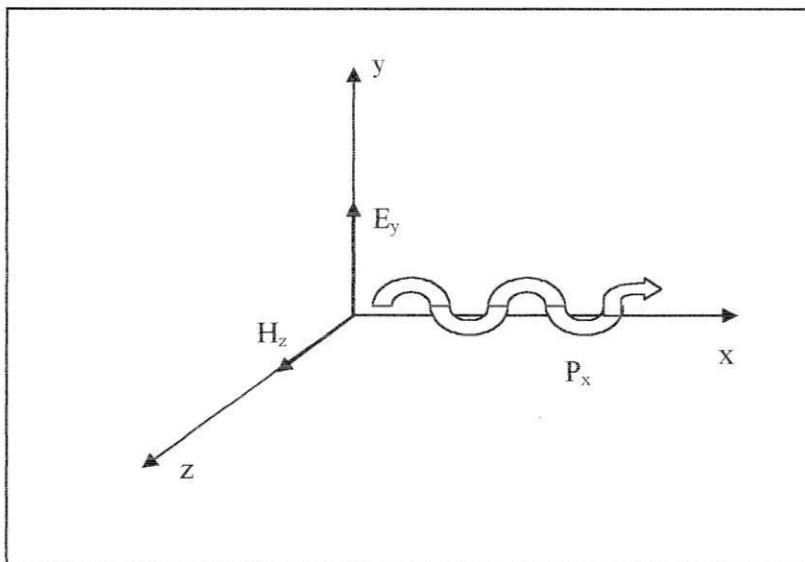


Figura 3 – Esquema do Campo Elétrico, Campo Magnético e Potência Resultante

Em termos de fasores, podemos escrever os campos do seguinte modo:

$$E_y = \text{Re} [ E_y' e^{j\phi} e^{-j\beta x} e^{j\omega t} ]$$

Ou

$$E_y = \text{Re} [ E_y ] e^{j\omega t}$$

Onde

$$Ey = \text{função espacial} = Ey' e^{-j(\beta x - \phi)}$$

A intensidade do campo magnético pode ser abordada da mesma maneira:

$$Hz = \text{função espacial} = Hz' e^{-j(\beta x - \theta)}$$

As equações acima são aplicadas para ondas se propagando na direção crescente do eixo x.

Uma onda propagando-se na direção contrária, resultaria nas seguintes expressões analíticas.

$$Ey = Ey' \cos(\omega t + \beta x + \phi) \text{ V/m}$$

$$Hz = -Hz' \cos(\omega t + \beta x + \theta) \text{ A/m}$$

Note que o sinal do campo magnético é negativo, enquanto o sinal do campo elétrico permanece positivo.

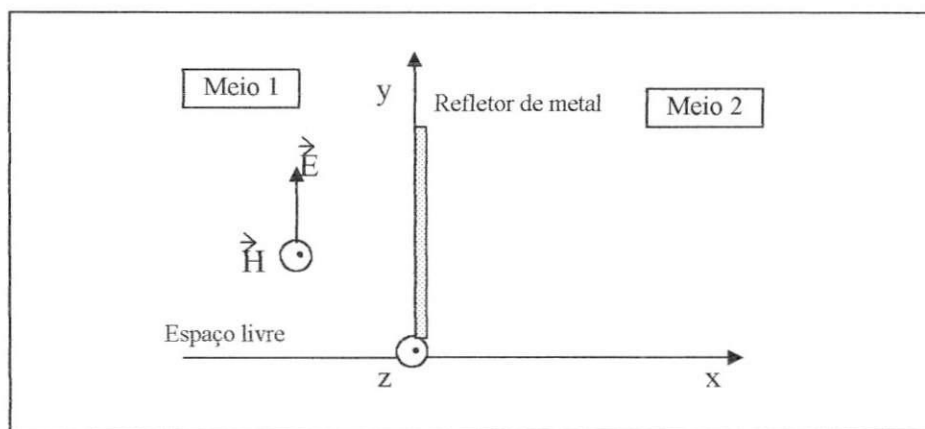


Figura 4 – Campos Elétrico e Magnético colidindo num anteparo de metal

Consideremos agora que a onda eletromagnética seja refletida por um anteparo. Nessa região teremos a interação tanto de uma onda incidente quanto de uma onda refletida. E os campos resultantes são os seguintes.

$$Ey = Ei' \cos(\omega t - \beta x + \phi) + Er' \cos(\omega t + \beta x + \phi') \text{ V/m}$$

$$Hz = Hi' \cos(\omega t - \beta x + \theta) - Hr' \cos(\omega t + \beta x + \theta') \text{ A/m}$$

Onde,

$E_i'$  é a amplitude do campo elétrico incidente

$H_i'$  é a amplitude do campo magnético incidente

$E_r'$  é a amplitude do campo elétrico refletido

$H_r'$  é a amplitude do campo magnético refletido

Observando a expressão dos campos, temos que o máximo valor do campo ocorre em apenas alguns pontos particulares onde ambas são positivas e ambas máximas ao mesmo tempo, isto é, em fase. Para o campo elétrico, então, a máxima intensidade do campo elétrico é:

$$E_{\max} = E_i' + E_r'$$

Por um argumento similar, a intensidade mínima do campo elétrico é:

$$E_{\min} = E_i' - E_r'$$

Desenvolvendo a expressão do campo elétrico na forma fasorial, temos:

$$E_y' = E_i' [ 1 + 2|\Gamma| \cdot \cos(2\beta x - \varphi) + |\Gamma|^2 ]^{0.5}$$

Dessa forma, temos que a máxima amplitude ocorre quando:

$$(2\beta x - \varphi) = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$$

De forma similar, a mínima amplitude ocorre quando:

$$(2\beta x - \varphi) = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$$

Portanto, podemos concluir que a amplitude do campo elétrico varia entre um valor máximo e um mínimo. Devido ao fator  $2\beta$ , temos que a distância entre dois máximos ou dois mínimos é igual a  $\lambda / 2$ . Então medindo-se a distância entre dois mínimos, temos o valor de  $\lambda / 2$  e assim conseguimos o valor do comprimento de onda do sinal, que é o objeto desse experimento.

A onda eletromagnética ao colidir com uma placa de vidro, tem parte de sua energia refletida e a outra parte transmitida, entrando no vidro. Na superfície posterior, reflexões parciais e transmissão novamente ocorrem. Se uma placa de vidro é colocada perpendicular ao feixe de microondas, a interferência ocorre assim como na reflexão no anteparo. Se tivermos um receptor posicionado atrás



da placa, a componente transmitida é captada em função da distância  $x$  entre as placas. Se traçarmos um gráfico com os pontos coletados, teremos uma forma de onda similar à obtida na montagem 1, e através da distância entre dois mínimos ou dois máximos obtemos  $\lambda / 2$  e conseqüentemente o comprimento de onda do sinal.

### **Procedimentos:**

A montagem para a reflexão do sinal no anteparo de metal é mostrada na figura 1. O dipolo receptor de microondas é usado para medir a intensidade de campo. A figura 2, mostra a montagem para a interferência com placa dielétrica.

Para a detecção, o sinal de microondas em 9,45 GHz é modulado em amplitude (internamente com uma frequência de 50 Hz ou externamente com qualquer frequência em LF desejada). O sinal demodulado com o diodo receptor é proporcional à intensidade do campo e é medido diretamente com um multímetro digital.

Através da interferência de microondas (por exemplo, através da reflexão de sinais), ondas estacionárias são produzidas, de modo que o sinal LF medido com o diodo receptor reflete a interferência e a partir daí podemos medir o comprimento de onda do sinal transmitido.

Procedimentos a serem realizados:

P1 - Ajuste o gerador de microondas (sem modulação: “ext” e “~”);

P2 - Ligue o gerador de microondas e o amplificador, caso este seja necessário;

P3 - Varie a distância entre a antena receptora (diodo receptor) e o anteparo de modo a medir pelo menos seis máximos e seis mínimos do sinal;

P4 – Faça um esboço da tensão retificada recebida pela antena e a distância entre o anteparo e a antena receptora;

P5 – Verifique a distância entre dois picos sucessivos, essa distância corresponde à  $\lambda / 2$ ;

P6 – Encontre o comprimento de onda e a partir desse compare o comprimento de onda teórico esperado já que a frequência do gerador de microondas é de 9,45 GHz;

P7 – Desligue o gerador de microondas e o amplificador;

P8 – Retire o anteparo de metal e em seu lugar coloque um anteparo de vidro;

P9 – Repita os procedimentos P2 a P7.

Abaixo temos a forma de onda esperada para a tensão retificada versus a distância  $x$  entre o anteparo e a antena tanto para o anteparo de metal quanto para o anteparo de vidro.

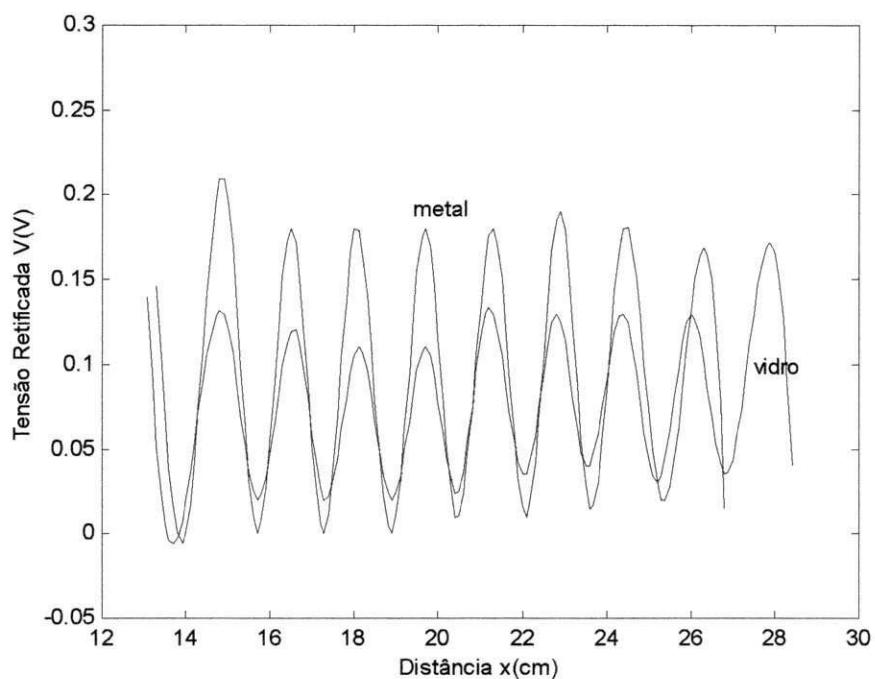


Figura 6 – Gráfico da tensão retificada recebida pela antena versus a distância  $x$  entre o anteparo e a antena receptora

## **Bibliografia**

1. PHYWE Series of Publications – Laboratory Experiments;
2. Sucher, Max; Fox, Jerome – HandBook of MicroWave Measurements - 3<sup>rd</sup> edition – Polytechnic Press;
3. Kraus, John D. ; Carver, Keith R. – Eletromagnetismo – 2<sup>a</sup> edição – Editora Guanabara Dois;
4. Hayt Jr, William H. - Eletromagnetismo – 3<sup>a</sup> edição – Livros Técnicos e Científicos Editora.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ÁREA: MICROONDAS E ELETROMAGNETISMO APLICADOS**

**DISCIPLINA: LABORATÓRIO DE ANTENAS E PROPAGAÇÃO**

**PROFESSOR: RÔMULO R. MARANHÃO DO VALLE**

**PERÍODO: 2000.2**

# **Reflexão Total “Frustrada” / Microondas**

CAMPINA GRANDE  
SETEMBRO-2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**ÁREA DE MICROONDAS E ELETROMAGNETISMO APLICADOS**

**LABORATÓRIO DE ANTENAS E PROPAGAÇÃO**

**Professor: Rômulo R. Maranhão do Valle**

**Experimento: Reflexão Total “Frustrada” / Microondas**

**Objetivos:**

1. Determinação da característica de reflexão e transmissão do vidro, do acrílico e do metal;
1. Observação do efeito da Reflexão Total “Frustrada” e determinação da irradiância transmitida em função da distância  $d$  da superfície prismática. O índice de refração do prisma pode ser calculado determinando a constante de atenuação  $\gamma$ .

**Equipamentos:**

- Transmissor de Sinais de Microondas w.klystron;
- Receptor de Sinais de Microondas;
- Fonte de Alimentação para o klystron;
- Escala;
- Placas de Vidro, 200 x 300 x 4 mm;
- Anteparo de metal, 300 x 300 mm;
- Suporte para as placas;

- Bloco de Suporte;
- Prisma;
- Multímetro Digital;
- Amplificador de Sinais de Microondas;
- Adaptador BNS-plug/soquete;
- Conectores;
- Antena Corneta.



Figura 1 - Determinação da característica de reflexão tanto com anteparo de metal como também para o anteparo de vidro



Figura 2 - Montagem para o experimento de Reflexão Interna Frustrada

### Introdução Teórica:

Se uma onda eletromagnética plana propaga-se por um meio 1 e encontra um meio 2 ( $n_1 \neq n_2$ ), haverá transmissão, reflexão e absorção. Sejam  $\tau$ , o coeficiente de transmissão,  $\Gamma$  o coeficiente de reflexão e  $A$  o coeficiente de absorção. Esses coeficientes são definidos a partir das irradiâncias parciais  $I_\tau$ ,  $I_\Gamma$ ,  $I_A$  que são definidas pela irradiância total  $I_1$  do feixe incidente.

Assim,

$$\tau = I_\tau / I_1$$

$$\Gamma = I_\Gamma / I_1$$

$$A = I_A / I_1$$

Pela lei da conservação de energia, temos:

$$I_\tau / I_1 + I_\Gamma / I_1 + I_A / I_1 = I_1 / I_1 \Rightarrow \tau + \Gamma + A = 1$$

Esses coeficientes dependem do ângulo de incidência e das características do material.

Nos metais, por exemplo, os elétrons de valência podem deslocar-se livremente no sólido. A onda incidente excita os elétrons e os portadores de carga são acelerados produzindo uma onda de fase oposta na mesma frequência. Na transmissão, a interferência entre a onda primária e a onda secundária (refletida) é destrutiva e elas se cancelam. Por isso, uma grande proporção da irradiação da onda incidente é refletida nos metais.

Colisões entre elétrons e perturbações provocam o aquecimento do material, ou seja, parte da energia está sendo absorvida pelo anteparo.

Materiais não-condutores ou dielétricos não têm portadores de carga livre. Entretanto, transferência de carga ocorre no material num campo elétrico devido ao momento de dipolo permanente e ao deslocamento dos elétrons de valência (momento de dipolo induzido).

O momento de dipolo resultante por unidade de volume é chamado de polarização dielétrica  $P$  e é proporcional ao campo elétrico  $E$

$$P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) E$$

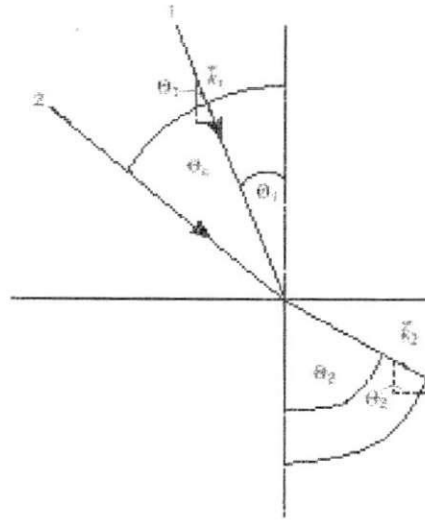


Figura 3 - Refração em um meio opticamente menos denso

O deslocamento de fase das oscilações forçadas de um oscilador harmônico amortecido relacionado à onda incidente depende da frequência  $\omega$  de excitação da onda de acordo com a frequência de ressonância do oscilador. O resultado é uma forte dependência com a frequência características de transmissão, reflexão e absorção de uma material dielétrico.

Mais uma consequência do deslocamento de fase da onda secundária em relação à onda primária é a mudança da velocidade de fase (causando refração) da onda resultante.

O coeficiente de transmissão  $\tau$  e o coeficiente de reflexão  $\Gamma$  dependem também do ângulo de incidência  $\theta_1$  do feixe incidente.

Uma peculiaridade ocorre durante a passagem de um meio opticamente denso para um meio opticamente menos denso com um ângulo de incidência  $\theta_1$  relativamente grande.

Lei de Snell:

$$n_{1,2} = n_1 / n_2 = \text{sen } \theta_2 / \text{sen } \theta_1$$

Se  $\theta_2 = 90^\circ \Rightarrow \theta_1 = \theta_c$  (ângulo de incidência crítico).



$$\text{Então, } \theta_c = \arcsen(n_2/n_1)$$

Assim, o feixe não passa pelo meio menos denso.

Para qualquer ângulo,  $\theta_1 > \theta_c$ , o ângulo  $\theta_2$  não tem valor real possível (a condição de transmissão não é satisfeita e o feixe é refletido sem transmissão alguma para o meio 2 (reflexão total)).

A onda transmitida é dada por:

$$E_2(r,t) = E_0 \cdot e^{j(k_2 x \text{ sen } \theta_1 + k_2 y \text{ cos } \theta_1 - \omega t)} = E_0 \cdot e^{j(kr - \omega t)}$$

Lei de Snell:

$$\text{Cos } \theta_1 = \pm (1 - \text{sen}^2 \theta_1)^{1/2}$$

Dessa forma:

$$E_2(r,t) = E_0 \cdot e^{j(k_2 n_{1,2} x \text{ sen } \theta_1 \pm k_2 (1 - n_{1,2}^2 \text{ sen}^2 \theta_1)^{0.5} - \omega t)} = E_0 \cdot e^{j(kr - \omega t)}$$

Onde:

$$n_{1,2} = n_1 / n_2$$

No caso de reflexão total: ( $n_{1,2} \text{ sen } \theta_1 > 1$ )

$$E_2(r,t) = E_0 \cdot e^{-\gamma \cdot y} \cdot e^{j(k_2 n_{1,2} x \text{ sen } \theta_1 - \omega t)}$$

Onde,  $\gamma$  é o coeficiente de atenuação:  $\gamma = k_2 (n_{1,2}^2 \text{ sen}^2 \theta_1 - 1)^{1/2}$

O sinal + do  $\pm$  foi desprezado porque um crescimento exponencial na amplitude do campo não faz sentido fisicamente.

A onda não refletida viaja com o seguinte comprimento de onda:

$$\lambda = 2\pi / k_1 \text{ sen } \theta_1 = 2\pi / k_{1,x}$$

ao longo da superfície ( $e_x$ ), onde a intensidade do campo elétrico  $E_y$  diminui exponencialmente (perpendicular à superfície fronteira). Essa onda é chamada de onda superficial.

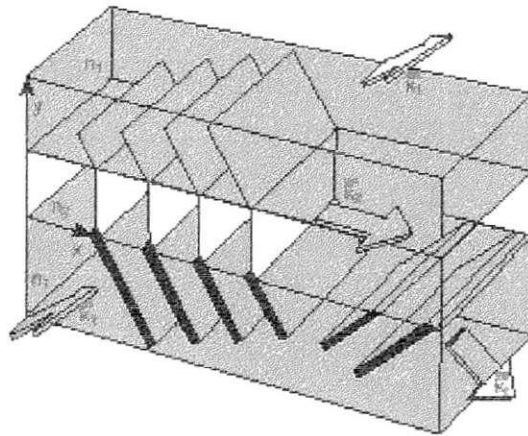


Figura 4 - Reflexão Interna Total Frustrada

A onda superficial encontra um outro prisma com índice de refração  $n_1 = n_3$ . Caso a distância  $d$  entre as superfícies dos prismas seja pequena o suficiente para permitir que a intensidade de campo elétrico residual  $E_2$  induza um momento de dipolo oscilante nas moléculas do segundo prisma, as ondas secundárias neste segundo prisma podem novamente propagar-se na direção original  $k_1$ .

Uma parte da onda incidente é transmitida através da separação no meio opticamente menos denso e correspondentemente refletido.

A intensidade do campo e portanto a irradiância do sinal transmitido decresce exponencialmente com a distância prismática  $d$ .

$$I_{\text{Trans}} = I_0 \cdot e^{-2\gamma d}$$

Esse processo é conhecido como “reflexão interna frustrada”.

Observando a dependência entre a irradiância transmitida e a distância  $d$  entre os prismas num papel semilog, podemos ver que para pequenos valores da distância  $d$  o decaimento exponencial da irradiância se altera. Isto se deve ao fato que um sinal de microondas emitido por uma antena corneta desvia-se de uma onda plana tão bem quanto a interferente entre a onda transmitida e a onda refletida.

Pela curva da intensidade da radiação transmitida versus a distância, encontramos através de sua inclinação, o coeficiente de atenuação  $\gamma$ .

Podemos, agora, encontrar o índice de refração  $n_{12}$  através da relação:

$$n_{12} = \frac{(k_2^2 + \gamma^2)^{0,5}}{k_2 \cdot \text{sen}\theta_1}$$

$$\theta_1 = 60^\circ$$

$$n_{\text{air}} = 1$$

$$k_2 = 2\pi f / c = \frac{2\pi \cdot 9,45 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8} \Rightarrow k_2 = 198 \text{ m}^{-1} = 1,98 \text{ cm}^{-1}$$

Esse experimento nos mostra porque a superfície da fibra óptica deve ser livre de impurezas, de modo a minimizar as perdas devido à reflexão total frustrada.

### **Procedimentos:**

1. A montagem do experimento é apresentada na figura 1. O transmissor é ajustado para ter a máxima saída (sem modulação: “ext” e “~”). A tensão direta no retificador da antena é proporcional à irradiação recebida. As antenas transmissora e receptora são ajustadas para termos o máximo sinal refletido, no qual a distância entre a placa e a antena é de 40 cm. A potência refletida pelo vidro é então medida. Depois substitui-se o vidro pelo acrílico e posteriormente pela placa metálica e novamente mede-se a potência refletida.

Para determinarmos a característica de transmissão, o receptor é posicionado a 80 cm da antena transmissora, afim de compensar a perda de irradiação no ar devido à absorção pelas moléculas de água e à divergência das microondas emitidas (proporcional a  $r^2$ ). Para comparação, os valores de irradiação transmitidos através do ar também deve ser estudado em relação àqueles da irradiação transmitida através do material de teste.

2. A montagem do experimento da “reflexão total frustrada” é mostrada na figura 2. O transmissor de microondas é posicionado diretamente em frente ao primeiro prisma de modo que

apenas metade da superfície de trás do prisma seja irradiada. A outra metade do prisma é forrada com um anteparo, com a finalidade de proteger o receptor de múltiplas ondas refletidas.

Se a **função esfera** do campo de microondas é desenvolvida de acordo com as ondas planas, a onda plana propagada na direção principal da antena corneta é melhor absorvida pela antena receptora que as ondas planas inclinadas, já que apenas essa onda colide novamente perpendicularmente no receptor depois de passar através do prisma. Se a onda emitida é portanto aproximada pela onda plana, ela colidirá com a superfície posterior do prisma com um ângulo de  $60^\circ$ , e a condição de reflexão total está satisfeita. Deslocando o receptor perpendicularmente ao plano de incidência do sinal de microondas (que é formado pela direção de polarização e a irradiação da antena corneta), pode ser verificado que o sinal de microondas é totalmente refletido pela segunda superfície do prisma.

A superfície do segundo prisma é posteriormente colocada bem próxima a superfície refletora do primeiro prisma. Para compensar o offset do feixe, é recomendado deslocar a direção do receptor perpendicularmente ao plano de incidência do sinal de microondas para o máximo sinal recebido. Usando o “**caliper**” de Vernier, a relação entre a irradiação transmitida e a distância da superfície do prisma pode ser medida em passos de 1 mm ( $d = 0.1...2.0\text{cm}$ ). Deve-se tomar o cuidado de manter o paralelismo entre as duas superfícies durante o experimento.

A forma de onda esperada para a tensão versus a distância entre as superfícies dos prismas é a seguinte:

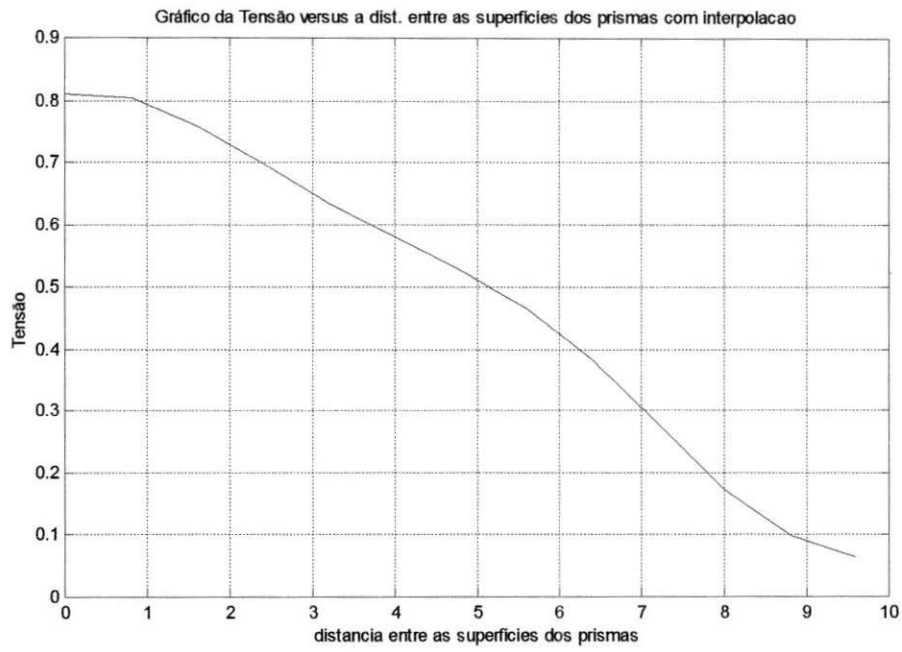


Figura 5 - Gráfico da tensão versus a distância entre as superfícies dos prismas

## **Bibliografia**

1. PHYWE Series of Publications – Laboratory Experiments;
2. Sucher, Max; Fox, Jerome – HandBook of MicroWave Measurements- 3<sup>rd</sup> edition – Polytechnic Press;
3. Kraus, John D. ; Carver, Keith R. – Eletromagnetismo – 2<sup>a</sup> edição – Editora Guanabara Dois

# **Conclusões e Sugestões**

## Conclusões e Sugestões

O estágio supervisionado é de suma importância para a formação do senso crítico do aluno e para dar base a questionamentos relativos à abordagens teóricas vistas na universidade e os aspectos práticos vivenciados no laboratório.

Um aspecto importante do estágio, foi a comprovação no laboratório de toda a teoria vista em sala de aula. Assim, com esses experimentos buscamos dar ao aluno uma maior segurança nos aspectos abordados em sala de aulas e revistos no laboratório.

No laboratório, pudemos vivenciar problemas práticos, como a vontade de realizar certos experimentos, mas que infelizmente não tínhamos material suficiente no laboratório.

Esperamos com esses guias servir de incentivo a futuro a alunos, para que estes se engajem em atividades no laboratório e que cada um dê a sua contribuição, pois ajudará futuros colegas e aumentará seu próprio senso crítico.

Como sugestões, proponho que novos trabalhos sejam realizados no laboratório utilizando os kits da PHYWE, seguindo, inclusive, as sugestões e os roteiros apresentados.



# Bibliografia

## Bibliografia

1. PHYWE Series of Publications – Laboratory Experiments;
2. Sucher, Max; Fox, Jerome – HandBook of MicroWave Measurements - 3<sup>rd</sup> edition – Polytechnic Press;
3. Kraus, John D. ; Carver, Keith R. – Eletromagnetismo – 2<sup>a</sup> edição – Editora Guanabara Dois;
4. Hayt Jr, William H. - Eletromagnetismo – 3<sup>a</sup> edição – Livros Técnicos e Científicos Editora.