



Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática – CEEI  
Estruturas Guiantes

Projeto de guias de ondas retangular metálico e *SIW*

Aluno: Lucivaldo Barbosa de Aguiar Júnior  
Professor: Adolfo Fernandes Herbster

Matrícula: 119210605  
Turma: 01

Campina Grande, 2025.

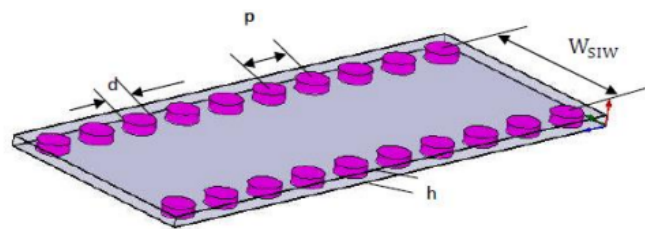
# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metodologia</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Fundamentação teórica</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Reproduzindo dados do artigo</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Guias propostos</b>	<b>4</b>
5.1	Guia retangular metálico oco . . . . .	4
5.1.1	Constante de propagação em função da frequência . . . . .	4
5.1.2	Constante de atenuação em função da frequência . . . . .	5
5.1.3	Potência transmitida em função da frequência . . . . .	5
5.1.4	Perfil de campo do modo fundamental . . . . .	6
5.2	Guia retangular metálico com dielétrico . . . . .	6
5.2.1	Constante de propagação em função da frequência . . . . .	7
5.2.2	Constante de atenuação em função da frequência . . . . .	7
5.2.3	Potência transmitida em função da frequência . . . . .	8
5.2.4	Perfil de campo do modo fundamental . . . . .	8
5.3	Guia de substrato integrado <i>SIW</i> . . . . .	9
5.3.1	Constante de propagação em função da frequência . . . . .	9
5.3.2	Constante de atenuação em função da frequência . . . . .	10
5.3.3	Potência transmitida em função da frequência . . . . .	10
5.3.4	Perfil de campo do modo fundamental . . . . .	11
5.4	Comparação entres os guias retangular metálico com dielétrico e guia do tipo <i>SIW</i> por meio da constante de propagação $\beta$ . . . . .	11
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>12</b>

# 1 Introdução

A finalidade deste trabalho é familiarizar-se com o ambiente computacional disponível em estruturas guiantes e conhecer novas tecnologias para guiamento de ondas. O intuito é fazer a transição de um guia de onda retangular metálico padrão (cujas dimensões são elevadas para uma PCB) para um guia equivalente com dielétrico, cujas dimensões são compatíveis com uma PCB. Levando em consideração as dificuldades de fabricação do segundo tipo de guia mencionado, utilizamos o que é conhecido como guia integrado de superfície (SIW - *substrate integrated waveguide*) (Figura 1).

Figura 1: Guia de onda SIW



Fonte: artigo

# 2 Metodologia

A fim de validar as equações e os métodos de simulação utilizados o primeiro objetivo é reproduzir os dados do artigo [2] através do software de simulação *Ansys HFSS*, após isso, são performadas as simulações dos guias propostos.

Para os guias retangulares foi utilizado o tipo de solução *HFSS* com as opções escolhidas sendo *Network Analysis* e *modal*, como fonte de excitação foram utilizadas portas modais. Para o guia de substrato integrado, no entanto, foi necessário alterar a porta de excitação para *lumped port*, uma implicação disso foi a possibilidade plotar os parâmetros S apenas para o primeiro modo. Sendo mantidos os valores das constantes de propagação e atenuação obtidos com as portas modais de excitação. Para os guias metálicos foram utilizados cobre, dadas as limitações da versão de estudante o software de simulação não tinha disponível nenhum material com permissividade igual a 9,9, no entanto, foi utilizado um material cuja permissividade é igual a 9,8. Para o guia SIW foram utilizados pinos maciços de cobre.

Assim, é feita a apresentação da constante de propagação  $\beta$ , constante de atenuação  $\alpha$ , potência transmitida por meio dos parâmetros S e perfil de campo do modo dominante.

### 3 Fundamentação teórica

Sabendo que serão projetados guias retangulares, o primeiro passo dado é determinar a frequência de corte de cada modo  $mn$  conforme é mostrado na Equação 1:

$$f_c = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}. \quad (1)$$

A primeira forma de validação dos cálculos é a partir da teoria, sabemos que a ordem dos primeiros modos propagados depende da relação entre a altura e a largura do guia. No caso desta atividade,  $b \leq a/2$ , então  $f_{20} \leq f_{01}$  e as menores frequências de corte são  $f_{10}$  e  $f_{20}$ .

A partir da equação 1 foi escrita a função mostrada no trecho de código 1

```
1 def get_cutOffFrequencias(a,b,p,epslion_r,mi_r):
2     '''
3     :param a: largura do guia
4     :param b: altura do guia
5     :param p: numero de loops
6     :param epslion_r: permissividade
7     :param mi_r: permeabilidade
8     :return: lista com frequencias de corte
9     '''
10    c_ = c/(np.sqrt(epsilion_r * mi_r))
11    lista = []
12    for m in range(0,p,1):
13        for n in range(0,p,1):
14            fc = ((c_/2)*np.sqrt((m/a)**2 + (n/b)**2))
15            lista.append((m, n, fc / giga))
16    return lista
```

Source Code 1: Frequência de corte com Python

### 4 Reproduzindo dados do artigo

Utilizando a função presente no trecho de código 1, foram obtidos valores de frequência de corte para o primeiro guia retangular, os dados são mostrados na Tabela 1.

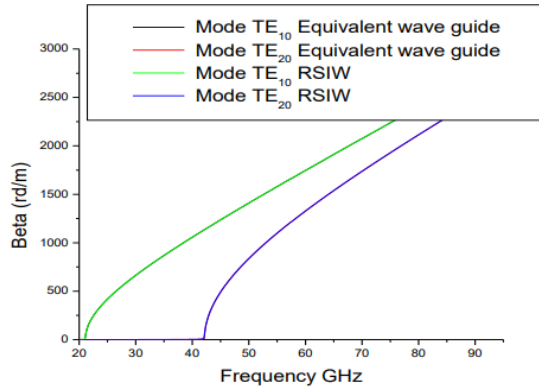
Tabela 1: Parâmetros do guia:  $a = 4.795mm$ ,  $b = 0.508mm$ ,  $\epsilon_r = 2.2$  e  $\mu_r = 1$

m	n	$f_c(GHz)$
1	0	21.08
2	0	42.15
3	0	63.23

Fonte: Dados obtidos via trecho de código 1

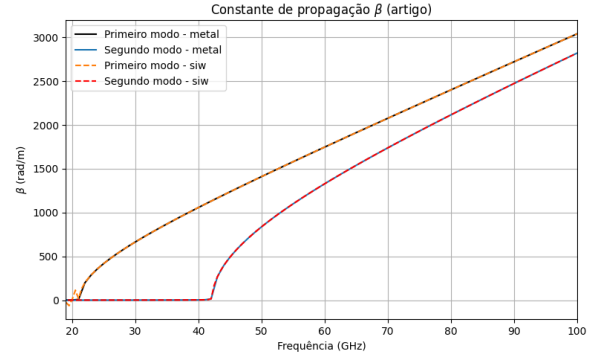
Conforme previsto pela teoria, as menores frequências de corte são  $f_{10}$  e  $f_{20}$ . Feito isso, foi construído o guia retangular metálico. Nas Figuras 2 e 3 é possível vermos a comparação entre o resultado do artigo e o resultado reproduzido.

Figura 2: Figura do artigo



Fonte: [2]

Figura 3: Gráfico obtido via HFSS



Fonte: Autoria própria

Para o guia do tipo *SIW*, utilizamos a Equação 2 presente no Artigo [1] para obter a largura do guia cujas frequências de corte são mostradas na Tabela 2

$$W_{eq} = W_{SIW} - \frac{d^2}{0.95p} \quad (2)$$

Utilizando os dados de [2], obtém-se  $W_{eq} = 4.815mm$

Tabela 2: Parâmetros do guia:  $W_{siw} = 5.237mm$ ,  $b = 0.254mm$ ,  $\epsilon_r = 2.2$  e  $\mu_r = 1$

m	n	$f_c(GHz)$
1	0	20.98
2	0	41.97
3	0	62.95

Fonte: Dados obtidos via trecho de código 1

## 5 Guias propostos

### 5.1 Guia retangular metálico oco

Utilizando a função presente no trecho de código 1 e os dados fornecidos pela atividade, foram obtidos valores de frequência de corte para o primeiro guia retangular, os dados são mostrados na Tabela 3.

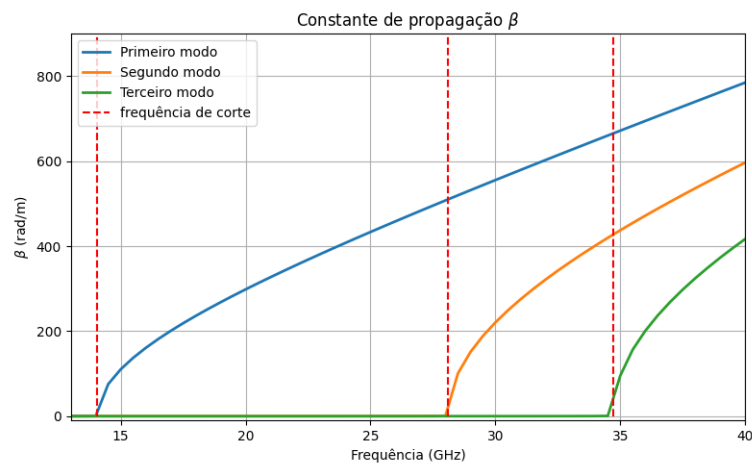
Tabela 3: Parâmetros do guia:  $a = 10.668mm$ ,  $b = 4.31mm$ ,  $\epsilon_r = 1$  e  $\mu_r = 1$

m	n	$f_c(GHz)$
1	0	14.05
2	0	28.10
0	1	34.71

Fonte: Dados obtidos via trecho de código 1

#### 5.1.1 Constante de propagação em função da frequência

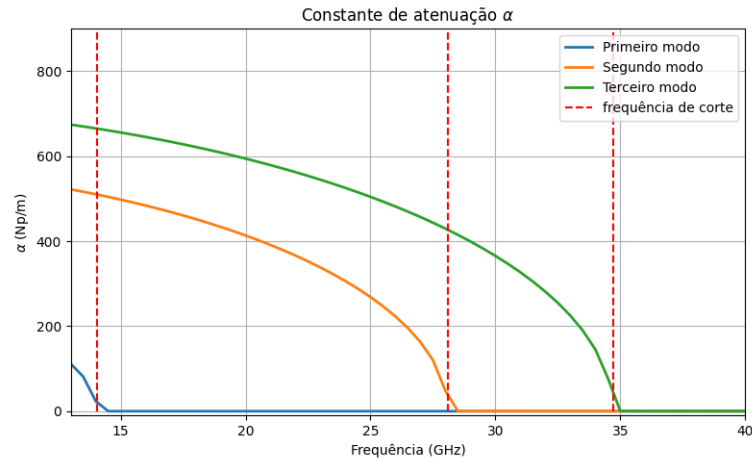
Figura 4: Constante de propagação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.1.2 Constante de atenuação em função da frequência

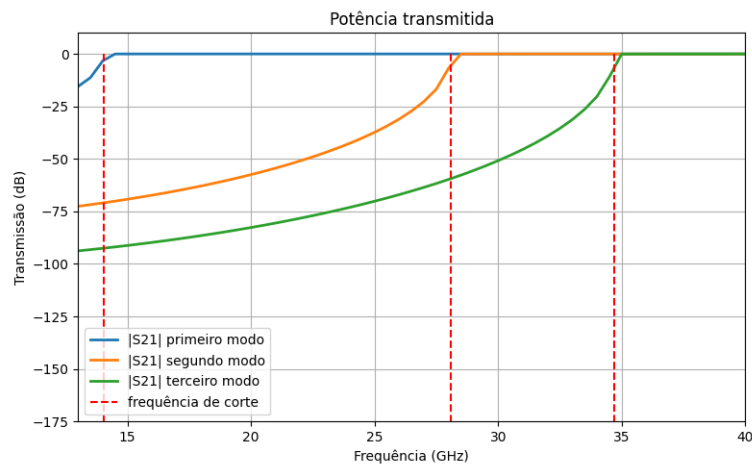
Figura 5: Constante de atenuação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.1.3 Potência transmitida em função da frequência

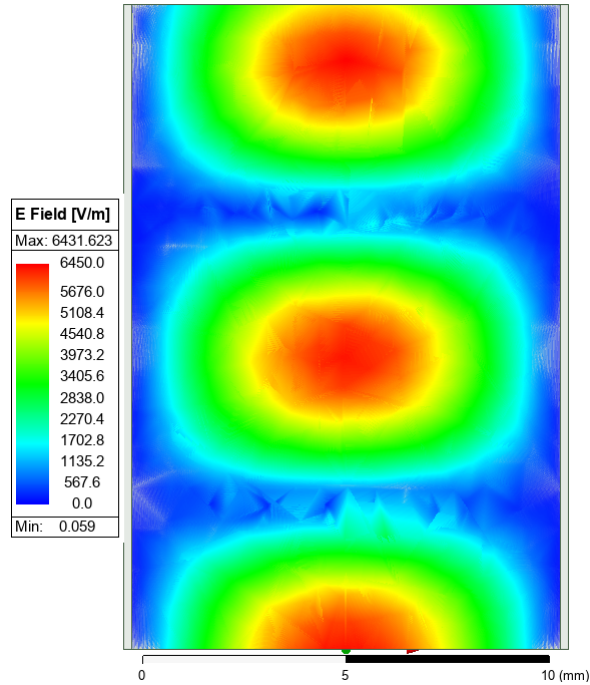
Figura 6: Potência transmitida em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.1.4 Perfil de campo do modo fundamental

Figura 7: Perfil de campo do modo fundamental ( $f = 25\text{GHz}$ )



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

## 5.2 Guia retangular metálico com dielétrico

Seguindo a mesma lógica, mas utilizando um dielétrico e ajustando os parâmetros do guia, temos as frequências de corte do guia 2 na Tabela 4:

Tabela 4: Parâmetros do guia:  $a = 3.39\text{mm}$ ,  $b = 0.254\text{mm}$ ,  $\epsilon_r = 9.9$  e  $\mu_r = 1$

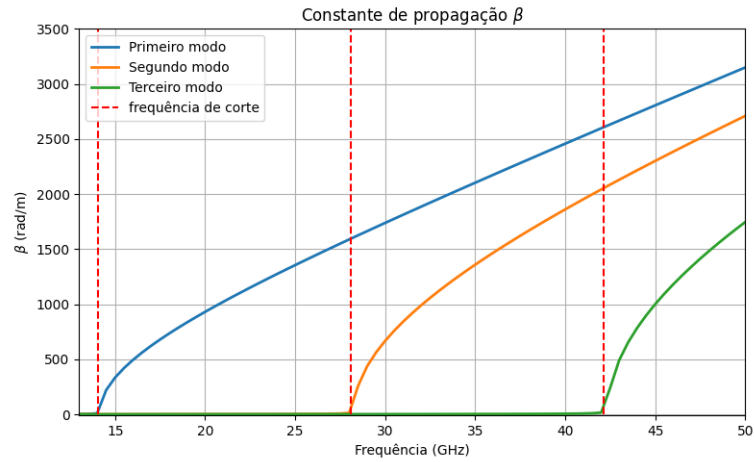
m	n	$f_c(\text{GHz})$
1	0	14.05
2	0	28.11
3	0	42.16

Fonte: Dados obtidos via trecho de código 1



### 5.2.1 Constante de propagação em função da frequência

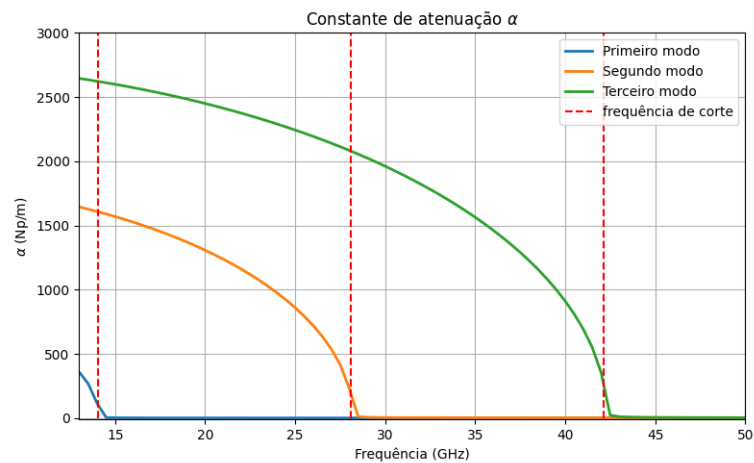
Figura 8: Constante de propagação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.2.2 Constante de atenuação em função da frequência

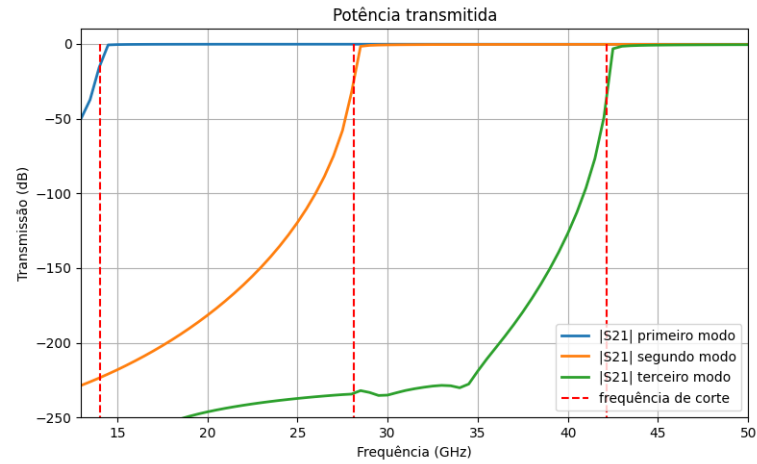
Figura 9: Constante de atenuação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.2.3 Potência transmitida em função da frequência

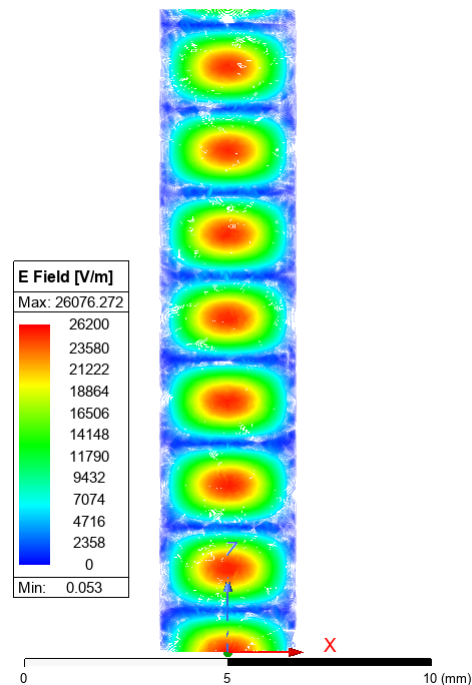
Figura 10: Potência transmitida em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.2.4 Perfil de campo do modo fundamental

Figura 11: Perfil de campo do modo fundamental ( $f = 25\text{GHz}$ )



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.3 Guia de substrato integrado SIW

Por fim, foi projetado o guia SIW cujos dados são apresentados na Tabela 5 em que o  $W_{eq} = 3.384mm$

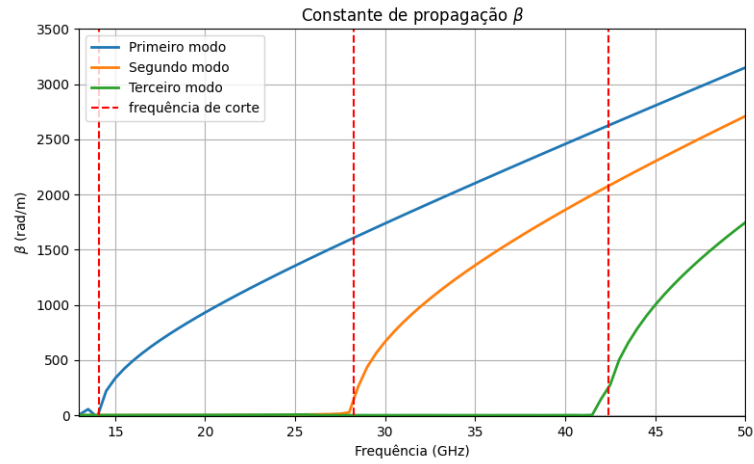
Tabela 5: Parâmetros do guia:  $W_{siw} = 3.52mm$ ,  $b = 0.254mm$ ,  $\epsilon_r = 9.9$  e  $\mu_r = 1$

m	n	$f_c(GHz)$
1	0	14.08
2	0	28.16
3	0	42.23

Fonte: Dados obtidos via trecho de código 1

#### 5.3.1 Constante de propagação em função da frequência

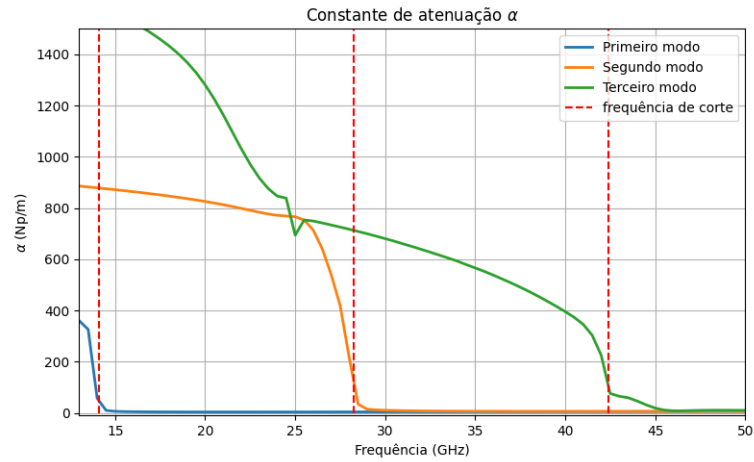
Figura 12: Constante de propagação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via HFSS

### 5.3.2 Constante de atenuação em função da frequência

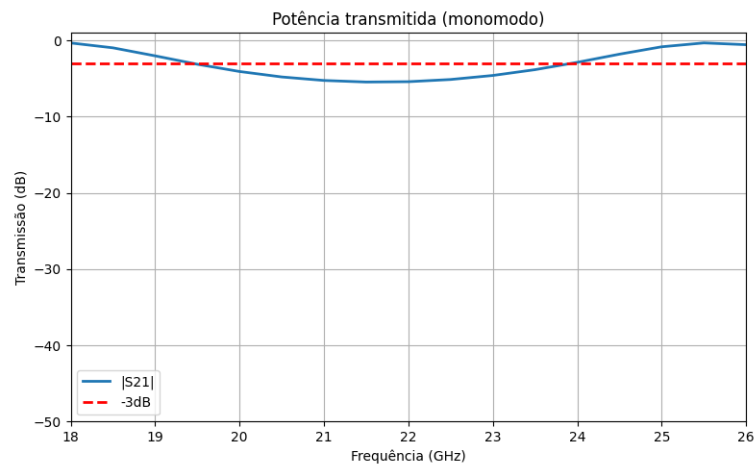
Figura 13: Constante de atenuação em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.3.3 Potência transmitida em função da frequência

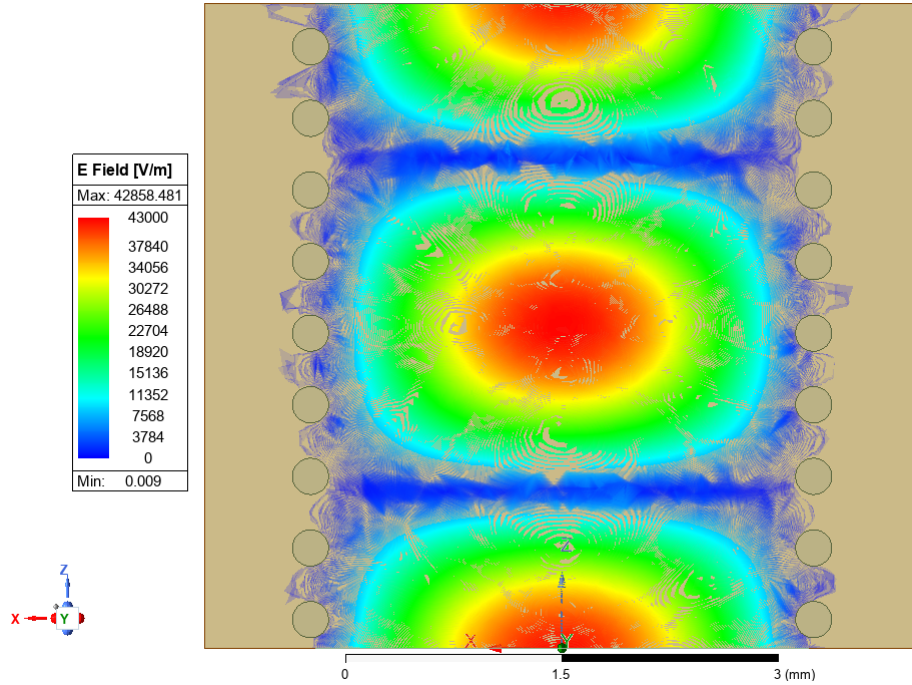
Figura 14: Potência transmitida em função da frequência



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

### 5.3.4 Perfil de campo do modo fundamental

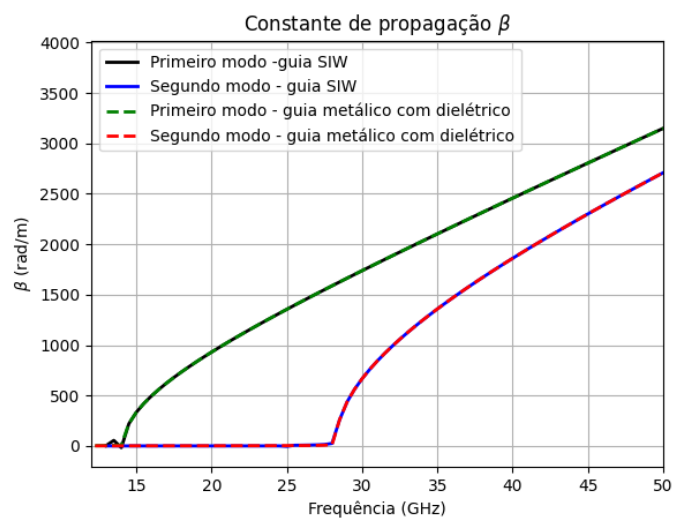
Figura 15: Perfil de campo do modo fundamental ( $f = 25\text{GHz}$ )



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

## 5.4 Comparação entres os guias retangular metálico com dielétrico e guia do tipo SIW por meio da constante de propagação $\beta$

Figura 16: Comparação entres os guias por meio de  $\beta$



Fonte: Gráfico plotado em Python com dados obtidos via *HFSS*

## 6 Conclusões

Seguindo a metodologia determinada foi possível reproduzir os dados do artigo de referência [2] e validar a aplicação das equações utilizadas garantindo que o método aplicado é adequado para a simulação.

Sendo validado o método, a simulação dos guias propostos como atividade apresentou o resultado esperado pela teoria.

Dentre os guias estudados e simulados podemos chamar atenção para o gráfico de transmissão de potência do guia *SIW* que dentro de uma faixa de frequência apresenta uma transmissão inferior a 3dB, ou seja, o dispositivo ainda pode ser melhorado.

## 7 Bibliografia

### Referências

- [1] M. Bozzi, A. Georgiadis, and K. Wu. Review of substrate-integrated waveguide circuits and antennas. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 5(8):909–920, 2011. Special Issue on RF/Microwave Communication Subsystems for Emerging Wireless Technologies. Received: 15 Sep 2010, Revised: 6 Dec 2010.
- [2] Bouchra Rahali, Mohammed Feham, and Junwu Tao. Design of ka-band substrate integrated waveguide bend, power divider and circulator. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 5(7):44, December 2015. Published by Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences Publication (BEIESP). Retrieval Number: G2242125715/15©BEIESP.