



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE CIRCUITOS FOTÔNICOS EM SILÍCIO

**Professor:** Adolfo Herbster

**Aluno:** Caio Rodrigues Correia de Oliveira

Laboratório 05: Acoplador direcional

08 de março de 2022

Campina grande, PB

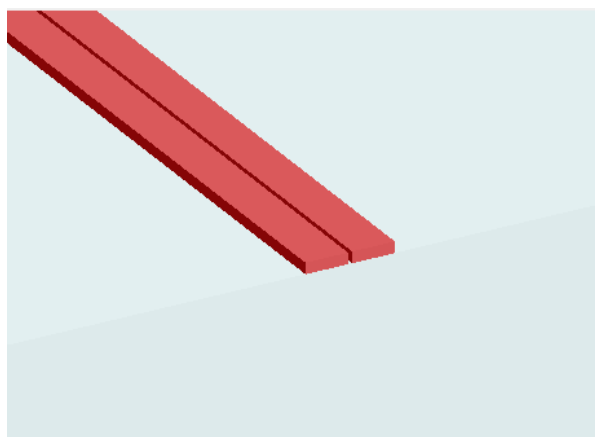


## Pasta do experimento:

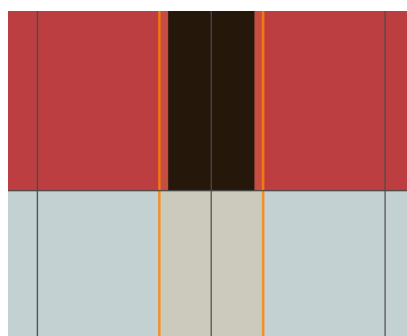
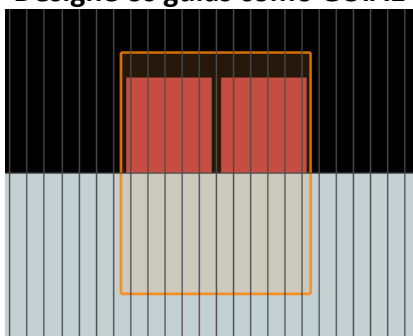
[TEEE-2021.1/Subject Exercises/Laboratório/Lab05 \(Github.com\)](https://github.com/TEEE-2021.1/Subject-Exercises/Laboratório/Lab05)

### Atividade 5a

- a) Considere dois guias SOI (Silicon on Insulator) com largura 500 nm e altura 200 nm. O espaço entre os guias é 50 nm. Estabeleça o comprimento dos guias como 50  $\mu\text{m}$ . O comprimento de onda é 1550 nm. Considere duas malhas:



- a primeira malha abrange os dois guias e se estende cerca de 100 nm após a fronteira. Nesta região, o tamanho da malha é reduzida por uma fator de 4, a fim de determinar os modos de forma precisa dentro do guia e os campos evanescentes;
- a segunda malha que estabelece o valor de  $dy$  entre os guias para cerca de 2 nm. Isto é importante devido à sensibilidade do acoplamento entre os guias em função da distâncias entre eles.
- iii) Designe os guias como GUIA1 e GUIA2.



b) Utilizando o *solver* FDE, determine:

i) a diferença de índice efetivo dos dois primeiros modos;

Realizando o método das diferenças finitas, obtém-se uma diferença de 0.055689 , como é mostrado a seguir.

mode #	effective index
1	2.346868
2	2.285051

ii) determine o comprimento para um acoplamento de 100% entre os sinais do guia 1 e do guia 2. Considere:

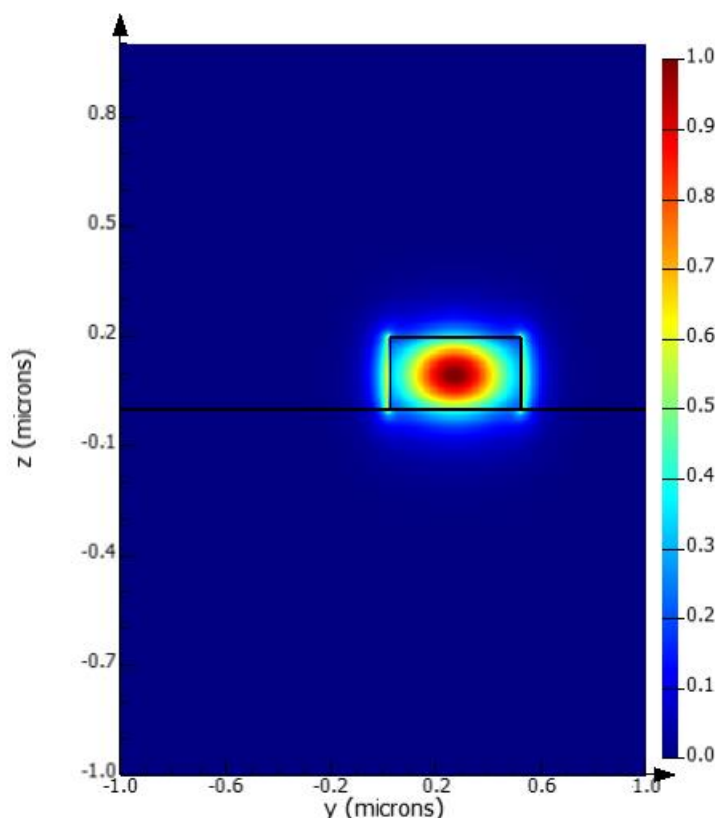
$$L = \frac{\lambda_0}{\pi \Delta n} \sin^{-1} \left( \sqrt{\frac{P_2}{P_0}} \right),$$

em que  $L$  é o comprimento de acoplamento,  $\lambda_0$  o comprimento de onda do sinal,  $\Delta n$  a diferença de índice dos primeiros dois modos,  $P_2$  a potência desejada no guia 2 após o comprimento de acoplamento e  $P_0$  a potência inicial no guia 1.

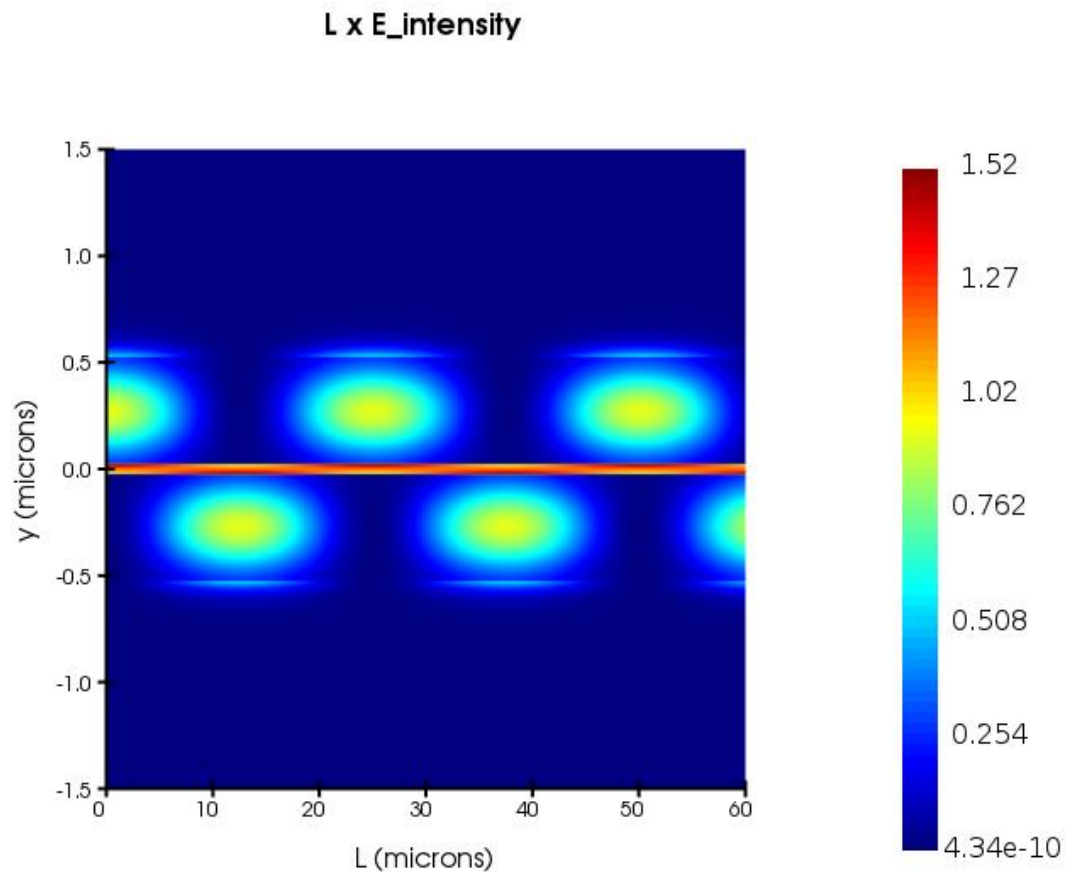
Sabe-se que  $\lambda_0 = 1.55\mu\text{m}$ ,  $\Delta n = 0.06179$  e  $P_0$  e  $P_2$  iguais, pois em um acoplamento 100% nenhuma energia deve ser perdida no trânsito dos guias. Assim:

$$L = \frac{\lambda_0}{\pi \cdot \Delta n} \cdot \sin^{-1}(\sqrt{1}) = \frac{1.55\mu}{0.06179 \cdot \pi} \cdot \frac{\pi}{2} = 12.5424\mu\text{m}$$

iii) Ilustre a intensidade de campo na entrada do acoplador direcional. Armazene esta distribuição de campo no DECK como E0.



- iv) Adicione novamente o segundo guia (GUIA2). Você pode habilitar “Enable” e desabilitar “Disable” os componentes do seu modelo utilizando o botão direito do mouse. Utilize a função propagate [1] para propagar o modo determinado no item anterior. Em seguida, determine o comprimento para 100% de acoplamento. Compare com os resultados obtidos no item b.ii).



Percebe-se graficamente que o comprimento de batimento L é aproximadamente  $12.5\mu\text{m}$ , o que condiz em certa tolerância com os resultados obtidos no item passado.

c) Utilizando o *solver* varFDTD:

- i) Adicione uma fonte tipo Mode (Sources -> Mode). A partir desta fonte, determine a diferença de índice efetivo dos dois primeiros modos TE. Em seguida compare com a diferença encontrada no item b.i). Explique o resultado obtido.

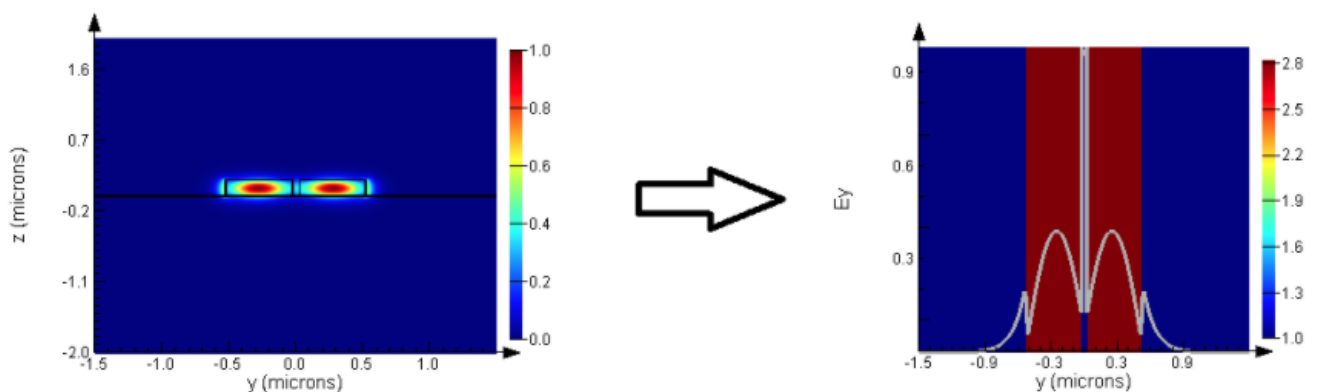
Utilizando uma fonte *mode source* para realizar uma simulação varFDTD a um comprimento de onda de  $1.55\mu\text{m}$ , obtém-se para os modos fundamentais:

mode #	effective index
3	2.448882
4	2.360799

Possuindo assim uma diferença de  $\Delta n = 0.088021$ . A diferença em relação à simulação o solver FDE consiste no fato que o mesmo se mostra mais adequado para o guia de onda em estudo, pois o FDE realiza uma análise mais completa em 2D dos modos propagados, enquanto o varFDTD utiliza de aproximações de extrusão em camadas, no qual gera consequências.

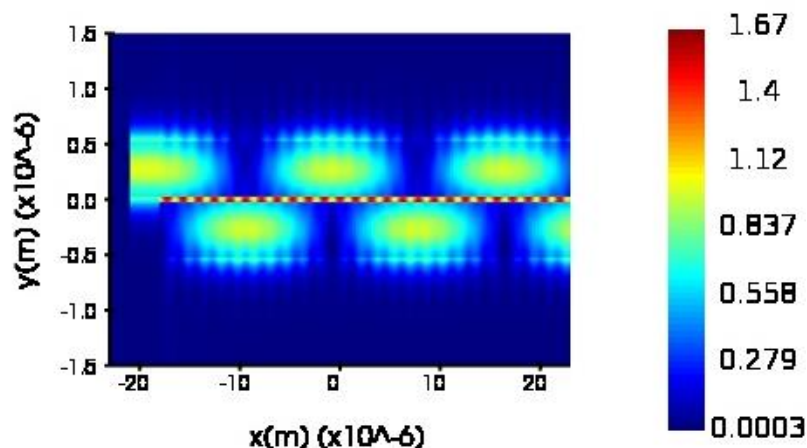
## Atividade 5b

- a) No laboratório 5.a verificamos o comprimento de batimento de um acoplador formado por dois guias SOI (Silicon on Insulator) com largura 500 nm e altura 200 nm. O espaço entre os guias é 50 nm, o comprimento dos guias é 50  $\mu\text{m}$ . O comprimento de onda do sinal óptico é 1550 nm. Utilizando o *FDE solver*, o comprimento de batimento do acoplador é 12,8827  $\mu\text{m}$  ( $\Delta n = 0,0601584$ ), enquanto, utilizando a fonte tipo *Mode* no *solver* varFDTD, o comprimento de batimento é 9,1997  $\mu\text{m}$  ( $\Delta n = 0,084241$  - verifiquem seus resultados). Estes diferentes resultados são devido à forma de cálculo do índice de refração utilizada em cada *solver*: o FDE determina o perfil em 2D, enquanto, no *solver* varFDTD, o guia retangular é transformado em um guia de camadas dielétricas.



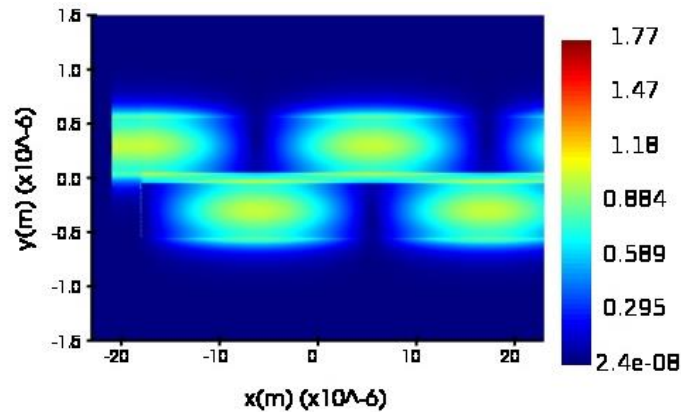
- b) Utilizando o varFDTD *solver*, determine, graficamente, o comprimento de batimento do guia e compare com o resultado obtido no laboratório anterior (9,1997  $\mu\text{m}$ ). Os passos são:
- Uma malha no *gap* central:  $dy = 0,002 \mu\text{m}$  (localizado exclusivamente no *gap*);
  - Uma malha ao redor dos guias:  $dy = dz = 0,01 \mu\text{m}$  (com  $y_{\min} = -1 \mu\text{m}$ ,  $y_{\max} = 1 \mu\text{m}$ ,  $z_{\min} = -0,1 \mu\text{m}$ ,  $z_{\max} = 0,3 \mu\text{m}$ ,  $x_{\min} = -25$ ,  $x_{\max} = 25$ );
  - Uma fonte tipo Mode (Sources -> Mode) localizada em  $x = 21 \mu\text{m}$ .

Simulando em condições anteriores normais, gera-se o seguinte espectograma



É visível que o comprimento de batimento se aproxima de 9,1  $\mu\text{m}$ , o que condiz com os resultados anteriores

Para aprimorar o espectrograma, foram necessárias certas alterações nas configurações dos guias, de maneira a ajustar o erro gerado pelo método varFDTD e suas simplificações. Assim, utilizou-se uma fonte *source mode* de maneira a descobrir o novo *gap* dos guias que se aproximasse dos resultados do *solver FDE*. Esse novo *gap* encontrado se aproxima de 100nm, assim estabeleceu-se a alteração.



Analisando graficamente o espectrograma gerado acima, percebe-se uma aproximação considerável do comprimento de batimento em  $12\mu\text{m}$ .

- c) Considere uma fonte tipo Mode (Sources -> Mode) e selecione o modo fundamental. Em seguida adicione dois monitores: um monitor de índice de refração (*Effective index*) e um monitor de campo e energia (*Frequency-domain field and power*).

