

# Laboratório 09: MMI

Professor Adolfo Fernandes Herbster

Aluno

Matrícula

## 1 Objetivos

- gerar os componentes e objetos de simulação por meio da API Python;
- realizar análises do dispositivo por meio do API Python;
- utilizar o Lumerical EME para determinar o comprimento ótimo da caixa central de um MMI;
- comparar o desempenho do MMI simulado no EME com os resultados obtidos por meio do `varFDTD` e FDTD;
- utilizar o Lumerical INTERCONNECT para simular o dispositivo utilizando os parâmetros S gerados no EME e FDTD.

## 2 Atividades

- Considere o dispositivo  $2 \times 2$  MMI (*Multi-mode Interferometer*) em Si ilustrado na Fig. 1, utilizado como *splitter* 50/50, com largura da caixa central  $W_M = 7 \mu\text{m}$  e comprimento dos *tapers* igual a  $15 \mu\text{m}$  e largura maior igual a  $1,5 \mu\text{m}$ . Todos os guias monomodos possuem dimensões de  $450 \times 220 \text{ nm}$  (largura x altura). Lembre-se de realizar todas as tarefas deste guia por meio da API Python.

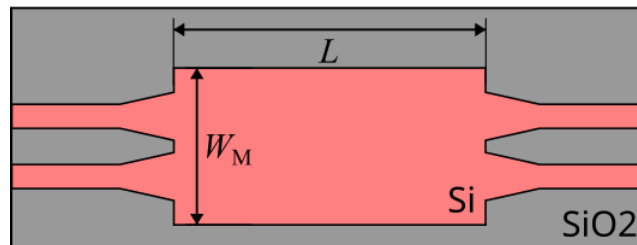


Figura 1: MMI em Si.

### 2.1 Modelo de simulação

1. **Cálculo do comprimento da caixa central** - A partir da equação:

$$L = \frac{3L\pi}{N} \quad (1)$$

determine o comprimento da caixa central do MMI.

2. **Criação do dispositivo via API** - Crie o dispositivo, ilustrado na Fig. 1, no Lumerical MODE por meio da API Python.
3. **Adição do solver, fontes e monitores** - Adicione o solver do tipo EME. Não esqueça de definir o parâmetro **background material** como **SiO2 (Glass)** - **Palik**. Lembre-se que o parâmetro **subcell method** deve ser do tipo **CVCS** apenas para os *tapers*.

Para melhorar a precisão dos resultados, inclua um objetivo tipo **Mesh** na região dos *tapers*. Lembre-se de realizar estas tarefas por meio da API Python.

## 2.2 Simulação - solver EME

1. **Simulação do dispositivo** - Realize a simulação do dispositivo gerado na Seção 2.1. Em seguida, aplique a propagação EME (**eme propagate**). Ilustre a intensidade do campo elétrico obtida. A partir desse gráfico, qual o valor do comprimento da caixa central para obter duas imagens? E para obter três imagens? Calcule esses valores por meio da Eq. 1. Os valores são similares?
2. **Desempenho em função do comprimento de onda** - Realize a varredura em comprimento de onda (*wavelength sweep*). Apresente os gráficos de transmissão, perda de inserção, desbalanceamento e erro de fase do dispositivo.
3. **Otimização do comprimento da caixa central** - Otimize o comprimento da caixa central por meio da varredura da célula específica (*group span*). Considere uma variação de  $\pm 10\%$  em torno do valor calculado pela Eq. 1. Com o valor otimizado, apresente novamente os gráficos de desempenho do dispositivo, solicitados no item anterior.

## 2.3 Simulação - solver varFDTD

1. **Criação do dispositivo e objetos via script - varFDTD** - Nesta etapa, você deve simular o dispositivo completo ilustrado na Fig. 1 utilizando o *solver* varFDTD. Para reduzir o tempo de simulação, considere o uso da fronteira **z min bc** tipo **Symmetric** na simulação do modo TE ou para **Anti-Symmetric** na simulação do modo TM.
2. **Simulação do dispositivo - varFDTD** - Realize a simulação do dispositivo, considerando o comprimento da caixa central otimizado da partir da simulação utilizando o *varFDTD*, cujo comprimento deve ser necessário para uma relação 50/50, obtido na seção anterior. Verifique seus resultados. Apresente, em seu relatório, o perfil da intensidade de campo elétrico ( $|E|^2$ ), assim como a transmissão nas portas na escala linear e na escala logarítmica. Qual a transmissão no comprimento de onda de 1550 nm? Qual a perda de inserção em 1550 nm? Qual a banda de operação do dispositivo? Compare com os resultados obtidos com o *solver* EME.
3. **Simulação do dispositivo - modo TM - varFDTD** - Desejamos simular o desempenho do modo TM com o comprimento otimizado. Neste caso, podemos mudar o tipo de fronteira **y min bc** para **Anti-Symmetric**. Realize as mesmas simulações anteriores. Compare seus resultados com aqueles obtidos para o modo TE.

## 2.4 Simulação - solver FDTD

1. **Criação do dispositivo e objetos via script - FDTD** - Nesta etapa, você deve simular o dispositivo completo ilustrado na Fig. 1 utilizando o *solver* FDTD. Para reduzir o tempo de simulação, considere o uso da fronteira **z min bc** tipo **Symmetric** na simulação do modo TE, ou para **Anti-Symmetric** na simulação do modo TM.
2. **Simulação do dispositivo - FDTD** - Realize a simulação do dispositivo, considerando o comprimento da caixa central otimizado da partir da simulação utilizando o EME e *varFDTD*, cujo comprimento deve ser necessário para uma relação 50/50, obtido na seção anterior. Verifique seus resultados. Apresente, em seu relatório, o perfil da intensidade de campo elétrico ( $|E|^2$ ), assim como a transmissão nas portas na escala linear e na escala logarítmica. Qual a transmissão no comprimento de onda de 1550 nm? Qual a perda de inserção em 1550 nm? Qual a banda de operação do dispositivo? Compare com os resultados obtidos com o *solver* EME e *varFDTD*. Qual resultado é mais confiável? Justifique sua resposta.

## 2.5 Simulação - solver INTERCONNECT

1. **Geração dos parâmetros S do dispositivo - EME e FDTD** - Nesta etapa, desejamos gerar os parâmetros S do dispositivo a partir de um modelo 3D. Esses parâmetros, organizados em forma de matriz, são utilizados para representar o dispositivo em simuladores de circuitos fotônicos, como o Lumerical INTERCONNECT. Gere os parâmetros S considerando os modos TE e TM. Nomeie o arquivo gerado como "*solver\_mmi\_2x2\_TE.dat*" e "*solver\_mmi\_2x2\_TM.dat*", respectivamente, substituindo do termo "*solver*" por EME ou FDTD.

2. **Simulação do dispositivo - INTERCONNECT** - Utilizando o INTERCONNECT, realize a simulação do acoplador direcional a partir das tabelas exportadas no EME e FDTD. Utilize o bloco **Optical N Port S-Parameter** e carregue o arquivo específico gerado no FDTD. O bloco de análise será o ONA (**Optical Network Analyzer**). Compare com os resultados obtidos por meio do EME e FDTD.

## Referências

- [1] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/categories/360001998954-Scripting-Language>
- [2] <https://developer.ansys.com/docs/lumerical/python-lumapi>
- [3] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042305194-Multi-Mode-Interference-MMI-Coupler>
- [4] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/4412892724243-EME-Convergence-Testing-An-Intuitive-Approach>