

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE FIBRA ÓPTICA

M. João Martins¹

P. Garrido²

V. Almeida³

RESUMO

Os sistemas de transmissão por fibra óptica têm tido um desenvolvimento notável, sobretudo a partir de 1990, com a descoberta da amplificação óptica e desenvolvimento dos amplificadores ópticos conhecidos pela sigla E.D.F.A (Erbium Doped Fibre Amplifiers), e o desenvolvimento em 1996 da técnica de multiplexagem no comprimento de onda designada *Wavelength Division Multiplexing*. O uso de amplificação óptica directa com fibras unimodais de alto débito, permite uma redução da distorção sofrida pelos impulsos ópticos e um aumento do débito binário ou seja, maiores velocidades de transmissão em distâncias mais longas, que pode atingir valores da ordem dos tera bits por segundo⁴ para distâncias de vários quilómetros.

A compreensão dos fenómenos que presidem à propagação e transmissão de sinais ópticos é uma parte importante dos *curricula* de telecomunicações.

Neste trabalho apresenta-se o desenvolvimento de um simulador que permite o estudo das características de fibras ópticas quer em regime linear de funcionamento quer em regime não linear.

Através do uso deste simulador os alunos podem adquirir uma melhor compreensão da propagação dos impulsos ópticos e do modo como a dispersão nas suas várias componentes afecta o desempenho da fibra e por consequência do sistema de transmissão.

¹ Professora Doutora do Convénio da Academia Militar com o Instituto Superior Técnico. Ministra as disciplinas de Propagação e Radiação de Ondas Magnéticas, e Electrotecnia Teórica na Academia Militar.

² DEEC, Instituto Superior Técnico, UTL.

³ DEEC, Instituto Superior Técnico, UTL.

⁴ Tera bits por segundo (tbps) = 10^{12} bits/s.

1. INTRODUÇÃO

A transmissão a longa distância com baixas perdas e fraca distorção faz-se hoje em dia recorrendo à transmissão por fibras ópticas. Estes sistemas usam fontes ópticas que operam no infra-vermelho com comprimentos de onda centrados em $\lambda=1550\text{nm}$, amplificadores ópticos integrados (E.D.F.As) e fibras unimodais, o que permite a transmissão com débitos binários muito elevados e alcances da ordem das centenas de quilómetros.

A compreensão dos fenómenos que limitam o desempenho dos sistemas de transmissão ópticos é essencial, para um engenheiro de telecomunicações ou um oficial de transmissões.

A dispersão em fibras ópticas não é susceptível de ser medida de modo simples, nomeadamente a dispersão cromática, pelo que para a explicar é necessário recorrer a programas de simulação que permitem evidenciar fenómenos que se desenvolvem à escala dos nanosegundos ($1\text{ ns}=10^{-9}\text{ s}$), mas que são um dos factores limitativos mais importantes na concepção de sistemas de transmissão óptica.

Com este objectivo desenvolvemos um simulador, usando o programa Matlab 7.0, que permite a caracterização e simulação das propriedades de fibras ópticas funcionando em regime unimodal ou multimodal.

As consequências da dispersão (intermodal e intramodal) na distorção dos impulsos pode ser visualizada directamente nos domínios do tempo e da frequência.

2. DESCRIÇÃO DO SIMULADOR

No desenvolvimento de um simulador há quatro pontos essenciais que devem ser considerados:

- as limitações decorrentes do modelo usado na simulação;
- o número e variedade de modelos de simulação e a sua articulação;
- a existência de um tutorial que descreva adequadamente as funções de cada bloco ou dispositivo;
- a utilização de um ambiente de simulação “amigável”(user friendly).

Os modelos utilizados na simulação devem ser o mais precisos possível de modo a garantirem a fidelidade da simulação em relação aos fenómenos reais.

O número e tipo dos modelos usados na simulação devem ser inconsistentes de modo a que situações de simulação mais complexas possam por simplificação conduzir aos modelos mais simples.

Os primeiros exercícios de simulação devem ter o apoio de um tutor presencial ou electrónico que guie o aluno na utilização do simulador. As alterações de parâmetros essenciais devem ser feitas gradualmente de modo a que haja uma compreensão de quais os fenómenos directamente relacionados com essa modificação de parâmetros e qual a sua influência no desempenho do sistema global.

A interface gráfica de afixação de resultados deve permitir uma visualização adequada e ter uma característica (WYSIWYG), *What You See Is What You Get*.

O simulador pode ser dividido em três componentes essenciais:

1. as bibliotecas de modelos de simulação;
2. o simulador propriamente dito;
3. os tutoriais.

A biblioteca de modelos define neste caso o tipo de fibra cujo comportamento está a ser simulado e a gama possível para os seus parâmetros intrínsecos.

Os sinais de entrada podem ser definidos pelo utilizador a partir duma biblioteca de sinais.

O tutorial auxilia o utilizador nas restrições dos parâmetros de entrada de modo a assegurar a viabilidade da simulação. Nos casos em que esses parâmetros não são possíveis é apresentada uma mensagem de erro com uma explicação sucinta das razões.

3. UM MODELO SIMPLES PARA A SIMULAÇÃO DA FIBRA ÓPTICA.

A descrição da dispersão em fibras ópticas faz-se através da determinação da equação característica, obtida a partir das equações de Helmholtz, aplicadas à bainha e núcleo da fibra e aplicando as condições fronteiras na interface. Numa primeira aproximação é possível aplicar um modelo mais simples para a propagação longitudinal considerando uma estrutura planar. Esta metodologia permite explicar o essencial da fenomenologia da propagação com excepção dos raios enviesados (*skew-rays*), simplifica a resolução matemática e conduz a uma economia considerável de tempo de computação, como se observa na Figura 1.

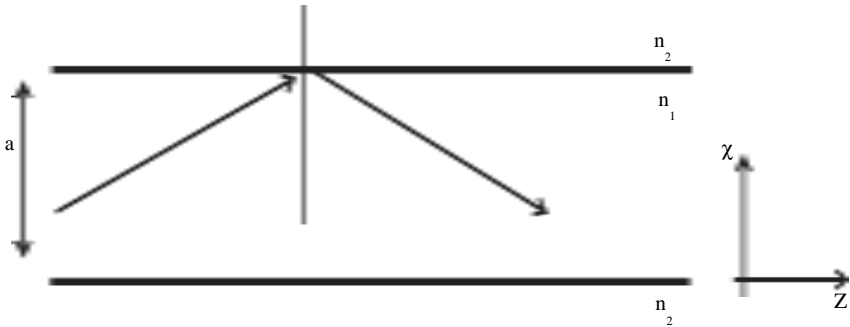


Figura 1 - Estrutura dielétrica planar usada para obter a equação de dispersão.

Os modos de propagação neste caso, são modos TE e TM e não modos híbridos, mas as curvas de dispersão são muito semelhantes às obtidas para uma estrutura cilíndrica, (ver Figura 2).

A determinação dos campos eléctricos e magnéticos para cada componente espectral permite resolver a equação característica $b(V)$.

Como as fibras usadas em sistemas reais têm um contraste pequeno entre o índice de refração do núcleo e da bainha, os resultados obtidos são satisfatórios.

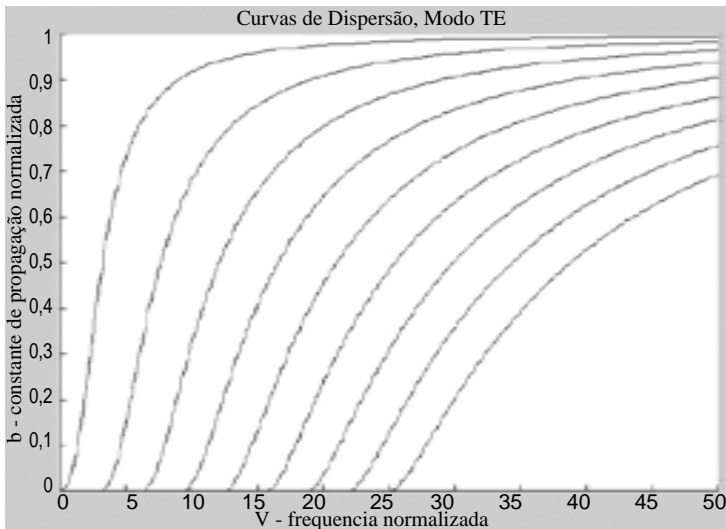


Figura 2 - Curvas de dispersão dos modos TE numa estrutura planar dielétrica.

O utilizador pode definir o comprimento de onda de operação, desde que esteja situado no espectro de infra-vermelho, e obter os resultados para a equação característica dos modos de operação.

Se a frequência normalizada for inferior ao valor 2.405, ($V < 2.405$), a fibra estará a operar no regime unimodal. Em caso contrário o regime de funcionamento é multimodal.

4. CÁLCULO DA DISPERSÃO

Para uma fibra a operar em regime multimodal a deformação sofrida pelos impulsos é devida essencialmente à dispersão intermodal, i.e., à propagação simultânea de vários modos com velocidades de grupo diferentes. Embora exista dispersão intramodal também, os seus efeitos são mascarados pela maior amplitude da dispersão intermodal.

Os efeitos de distorção são severos o que apenas permite transmissões com débitos binários baixos e a distâncias que não excedem alguns quilómetros.

Os sistemas de telecomunicações guiadas a longa distância, tais como os modernos cabos submarinos, permitem a transmissão de impulsos com ritmos da ordem de Tbps e alcances da ordem das centenas de quilómetros.

Estes sistemas usam fontes ópticas, usualmente lasers de retroacção distribuída (DFB), a emitirem em $\lambda=1550$ nm, amplificação óptica integrada, utilizando (EDFAs) e fibras unimodais.

Neste caso o principal mecanismo de limitação ao desempenho do sistema é a dispersão cromática.

A dispersão cromática é difícil de medir e demonstrar experimentalmente, por isso estes simuladores são uma alternativa interessante e barata que permitem aos estudantes adquirirem uma melhor compreensão do fenómeno.

Se efectuarmos um desenvolvimento de segunda ordem da constante de propagação, obtém-se:

$$\beta(\omega) = n(\omega) \frac{\omega}{c} = \beta_0 + (\omega - \omega_0) \beta_1 + \frac{1}{2} (\omega - \omega_0)^2 \beta_2 + \frac{1}{3} (\omega - \omega_0)^3 \beta_3 + \dots$$

A segunda derivada presente nesta expressão representa a variação da velocidade de propagação do sinal (velocidade de grupo) em função do comprimento de onda o que ocasiona um alargamento temporal dos impulsos que pode conduzir a interferência intersimbólica *Inter Symbol Interference* (ISI) e portanto a limitações do ritmo máximo de transmissão na fibra.

O simulador usa os resultados anteriormente obtidos para a equação característica $b(V)$ e converte b em β , através de uma fórmula que é bem conhecida. É então possível calcular a primeira e segunda derivada e portanto obter o coeficiente de dispersão cromática, como se observa na Figura 3.

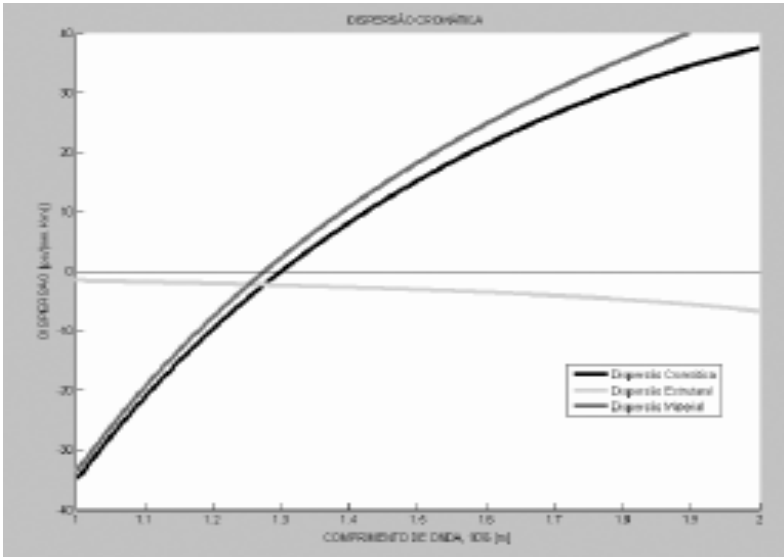


Figura 3 - Simulação da dispersão cromática como função do comprimento de onda.

5. SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE IMPULSOS

Com os dados adquiridos nas simulações anteriores, o utilizador pode simular e visualizar a propagação de impulsos na fibra óptica. Neste caso, os impulsos representados são gaussianos, pois são mais fáceis de tratar matematicamente, como se constata nas figuras 4 e 5.

O sinal é decomposto nas suas componentes espectrais usando a análise de Fourier. O simulador processa estas componentes espectrais calculando a velocidade de grupo e o coeficiente de dispersão e reconstrói o sinal usando as transformadas inversas de Fourier.

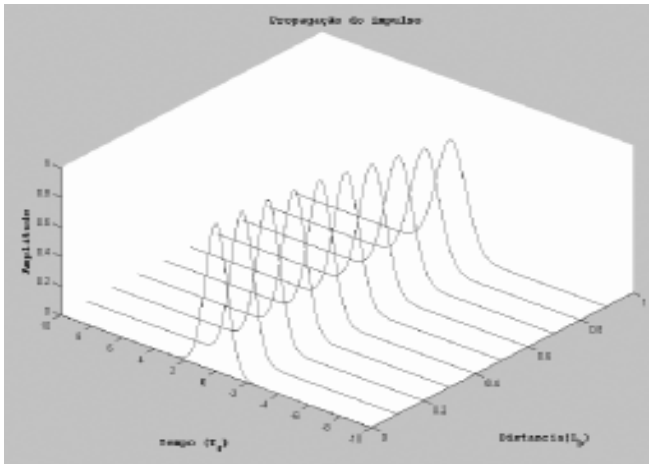


Figura 4 - Simulação da propagação de um impulso gaussiano.

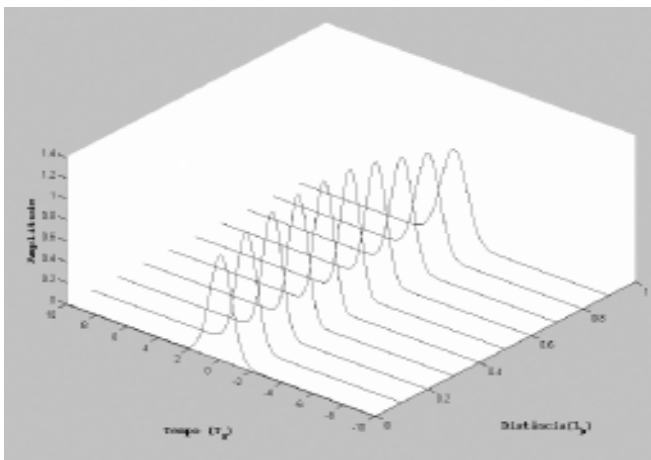


Figura 5 - Simulação da propagação de um impulso gaussiano com chirp.

Este simulador permite ainda considerar a variação do índice de refração do núcleo $n_1(\lambda)$ e da baínha $n_2(\lambda)$ em função do comprimento de onda, Figura 6.

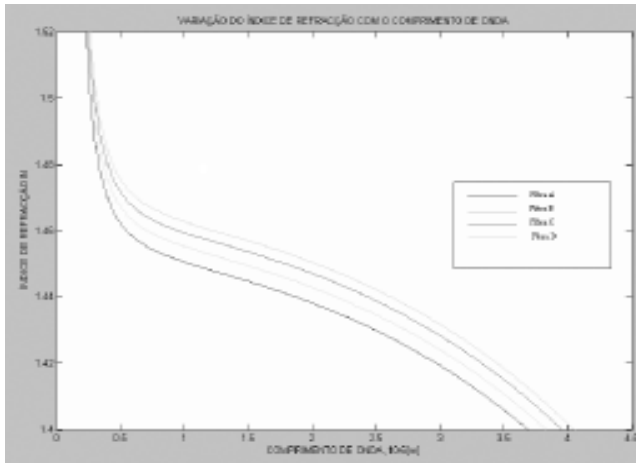


Figura 6 - Variação do índice de refração da sílica em função do comprimento de onda.

Nas figuras 7 e 8 que se seguem estão representadas a influência da dispersão cromática na propagação dos impulsos, com e sem *chirp* (variação dinâmica de fase).

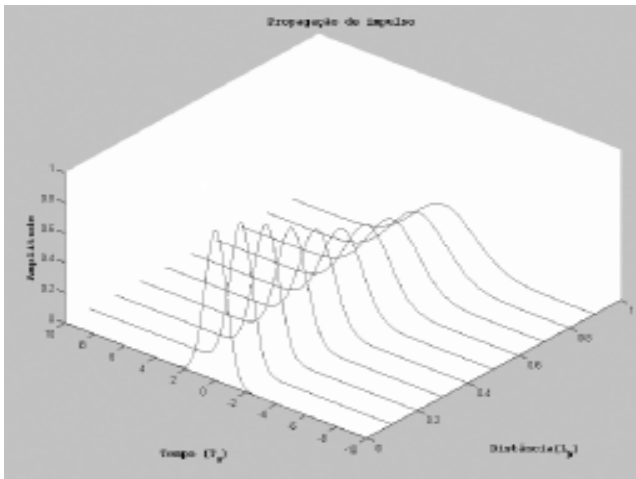


Figura 7 - Simulação da propagação de um impulso num meio dispersivo sem chirp.

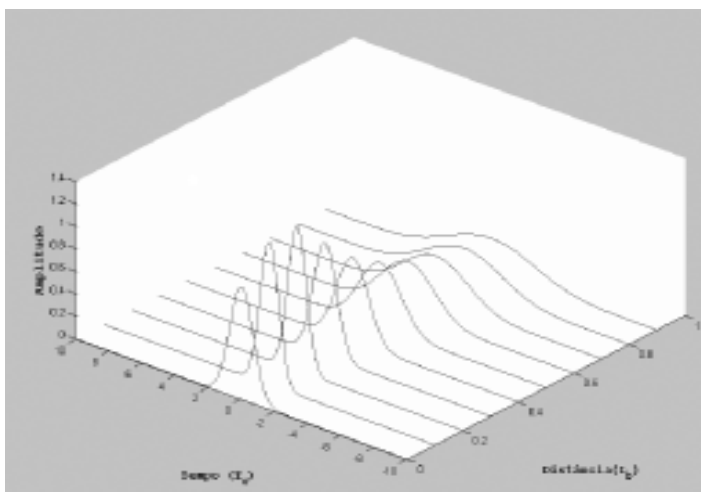


Figura 8 - Simulação da propagação de um impulso num meio dispersivo com chirp.

6. CONCLUSÕES

A fenomenologia da dispersão não pode ser evidenciada e quantificada de forma simples experimentalmente, especialmente a dispersão cromática. É pois necessário recorrer a outras formas de demonstração para evidenciar estes efeitos e permitir uma compreensão adequada das suas implicações no desempenho de sistemas de transmissão óptica a grande distância.

Para atingir estes objectivos desenvolveu-se um simulador, usando Matlab 7.0, que permite a caracterização da fibra óptica em vários regimes de funcionamento. Estes simuladores constituem uma solução de baixo custo para efectuar experiências, permitindo testar diversas situações, variando os valores dos parâmetros de simulação, e obter as respostas em ambiente interactivo quer no domínio do tempo, quer no domínio da frequência.

Esta facilidade permite atingir objectivos pedagógicos importantes como a compreensão da influência das alterações de parâmetros no desempenho do sistema global, e obter uma melhor preparação dos alunos para a utilização de um sistema real, minimizando assim os gastos decorrentes de uma má utilização e consequente avaria dos equipamentos laboratoriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- MARTINS, M. J. e PEREIRA, M. C. (2004) “Integrated Approach to Science Teaching by using ICT and CBL”, in vários, *Proceedings of the 15th International EAEEIE Conference*, Sofia, Bulgaria.
- MARTINS, M. J., PEREIRA, M. C.; KOCJANCIC, S. (2003). “Sensor-computer interface”, web-based course developed under the EU project ComLab-Sci.
- MARTINS, M. J. e PEREIRA, M. C. (2003), “Optoelectronics”, web-based course developed under the EU project ComLab-Sci.
- PEREIRA, Marco e MARTINS, Maria J. (2004), “Experiments in an Optoelectronics Web-based Course”, in vários *Proceedings of the 15th International EAEEIE Conference*, Maio, Sofia, Bulgaria.
- SALEH,R. e JOU,S-J e NEWTON, A.R. (1994). *Mixed-Mode Simulation and Analog Multilevel Simulation*, Kluwer Academic Publishers, Boston, EUA.