

# Proposta de um Filtro Óptico para Aplicações em Sistemas DWDM

João Victor Marangoni, Francisco José Arnold e Marcos Sergio Gonçalves

**Resumo**— Este artigo apresenta o projeto de um novo filtro óptico desenvolvido através da integração entre o método dos elementos finitos e algoritmo genético. O filtro óptico é constituído pela associação de microcavidades de cristais fotônicos e acopladores ópticos. Os resultados numéricos demonstram que o filtro possui características que o tornam adequados para aplicações em sistemas DWDM.

**Palavras-Chave**—Método dos Elementos Finitos, Algoritmo Genético, Filtros Ópticos, Sistemas DWDM.

**Abstract**— This article shows the development of a new integrated optical filter for DWDM applications. The project was carried out by using the Finite Element Method and the Genetic Algorithm. The filter is composed of photonic crystals microcavities and optical couples and the numerical results show that the filter has characteristics suitable to work in a DWDM system.

**Keywords**—Finite Element Method, Genetic Algorithm, Optical Filters, DWDM systems

## I. INTRODUÇÃO

Sistemas de Multiplexação Densa por Divisão de Comprimento de Onda - DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplex*) são tecnologias contemporâneas que permitem a transmissão de diversos canais ópticos em uma fibra óptica, sendo, até o momento, o melhor sistema desenvolvido para aproveitar a enorme largura de banda oferecida pelas fibras ópticas [1]. A fim de manter a compatibilidade, os sistemas DWDM devem ser desenvolvidos de acordo com as normas da ITU (*International Telecommunication Union*) que estabelece espaçamento de frequência entre os canais de 12,5 GHz, 25 GHz, 50 GHz e 100 GHz [2]. Neste contexto, os filtros ópticos tornaram-se um dos elementos essenciais em uma rede óptica, pois são os responsáveis pela seleção de um determinado canal óptico e também a atenuação de ruídos [3].

Para serem atrativos a um sistema DWDM, filtros ópticos devem atender algumas características, como possuir largura de banda compatível com os espaçamentos entre os canais e geometria que permita a fabricação em grandes quantidades dentro de um mesmo circuito óptico. Este artigo tem por objetivo demonstrar as análises numéricas de um novo filtro óptico com alta seletividade e que pode ser empregado em sistemas DWDM desenvolvidos segundo as normas da ITU ou, até mesmo, em sistemas que adotam espaçamentos de frequência menores. O filtro óptico proposto é constituído pela associação de microcavidades formadas por cristais fotônicos. Com este arranjo, foi possível obter um elevado fator de qualidade associado a uma fácil sintonia de frequências. Também, para a integração com circuitos ópticos convencionais, levou-se em consideração o acoplamento entre

a microcavidade de cristais fotônicos e guias de onda contínuos. Para isto, os projetos dos acopladores ópticos foram idealizados através do Método dos Elementos Finitos - MEF e do Algoritmo Genético - AG [4].

## II. ARQUITETURA DO FILTRO ÓPTICO

A Figura 1 mostra a arquitetura utilizada para o projeto do filtro óptico formado a partir de duas microcavidades. Por esta figura, pode-se perceber que o filtro óptico é inserido em um guia de onda contínuo. Desta forma, a arquitetura total do dispositivo é formada por dois acopladores ópticos e por microcavidades em série. Nesta figura, ainda é possível observar que o dispositivo é formado por cristais fotônicos e por *pixels*. Os cristais fotônicos são formados por colunas dielétricas com índice de refração de 3,4 e raio de 0,1044  $\mu\text{m}$ . Possui simetria retangular com periodicidade de 0,58  $\mu\text{m}$ . Nestas condições, há a formação de uma região de banda proibida para os modos TE entre os comprimentos de onda de 1,3  $\mu\text{m}$  até 1,93  $\mu\text{m}$  [5].

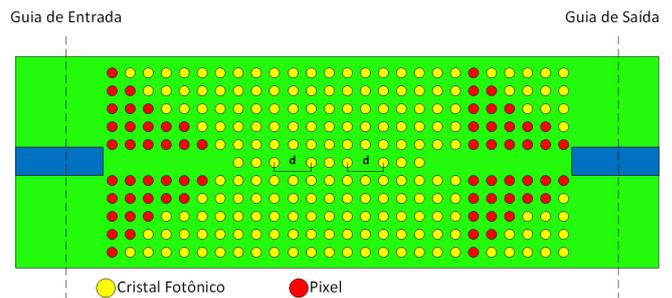


Fig. 1. Arquitetura utilizada para o projeto do filtro óptico

Um defeito pode ser introduzido na periodicidade retirando-se uma fileira de colunas dielétricas. Como consequência, cria-se um guia de ondas. Inserindo no interior deste guia de onda conjuntos com três colunas formam-se as microcavidades ressonantes, sendo que a distância  $d$  entre os conjuntos de colunas define o comprimento de onda de ressonância. Para os acopladores, além dos cristais fotônicos, utilizou-se de outra estrutura que, neste trabalho, foi denominada de *pixel* que são colunas dielétricas com raio igual 0,1044  $\mu\text{m}$  e separação de 0,58  $\mu\text{m}$ . Entretanto, cada *pixel* pode assumir um entre três valores distintos de índices de refração 1,0; 1,5 e 3,4. A definição final será determinada no processo de otimização que levará em consideração o melhor acoplamento obtido.

## III. RESULTADOS NUMÉRICOS

Tendo como objetivo encontrar a melhor solução para o problema proposto, a metodologia utilizada foi através da integração do MEF com o AG. Com o MEF, é possível analisar

João Victor Marangoni, Francisco José Arnold e Marcos Sergio Gonçalves, Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira-SP, Brasil, E-mails: joao.marangoni93@gmail.com, arnold,marcos@ft.unicamp.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo FAEPEX, CNPq e FAPESP processo 2011/12792-3.

a propagação da onda eletromagnética no dispositivo. No guia de onda de entrada, aplica-se o modo fundamental  $TE_{10}$  e, na sequência, verifica-se a potência óptica nos guias de onda de entrada e saída. A relação entre as potências é enviada ao AG que realizará a otimização dos *pixels* de forma a maximizar o acoplamento óptico entre os guias de onda no comprimento de onda de ressonância. Os guias de onda de entrada e saída possuem  $0,5 \mu\text{m}$  de largura,  $4 \mu\text{m}$  de comprimento e índice de refração igual a  $1,5$  e atribuiu-se índice de refração de  $1,0$  ao substrato. Para as análises, foram escolhidos dois comprimentos de onda compatíveis com a grade ITU:  $\lambda=1,5511 \mu\text{m}$  e  $\lambda=1,5687 \mu\text{m}$ .

Para o projeto do filtro, considerou-se a associação de até três microcavidades. A Figura 2 mostra a geometria do filtro óptico com três microcavidades obtido após as otimizações para  $\lambda=1,5511 \mu\text{m}$ . Nesta figura, é possível verificar a distribuição dos *pixels* dos acopladores de entrada e saída. A distância  $d$  entre as colunas foi de  $1,314 \mu\text{m}$ . A Figura 3 mostra a curva do ganho do filtro com três microcavidades em função do comprimento de onda. Ao considerar um filtro com uma microcavidade, a perda de inserção foi de  $0,5 \text{ dB}$  e largura de banda de  $14 \text{ GHz}$ . Para duas microcavidades, a perda de inserção do filtro foi de  $2,9 \text{ dB}$  e largura de banda de  $6,7 \text{ GHz}$ . Para três microcavidades, a perda de inserção foi de  $1,47 \text{ dB}$  e a largura de banda de  $750 \text{ MHz}$ .

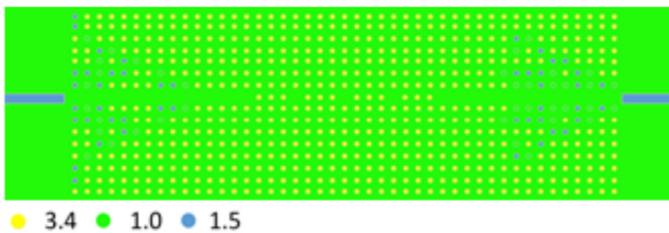


Fig. 2. Projeto do filtro óptico para o comprimento de onda de  $1,5511 \mu\text{m}$ .

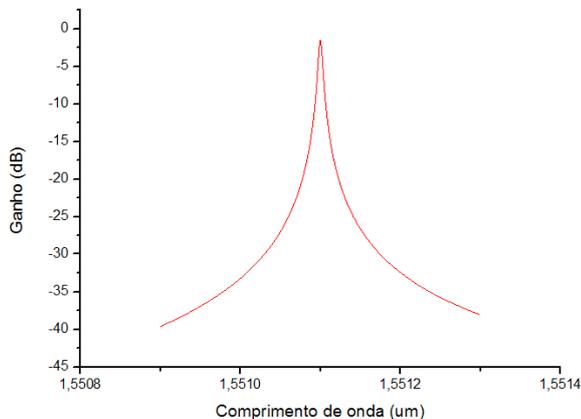


Fig. 3. Resposta em frequência do filtro óptico mostrado na Figura 2.

Com a finalidade de analisar o comportamento do filtro óptico em outros canais, considerou-se um segundo projeto para  $\lambda=1,5687 \mu\text{m}$ . A Figura 4 mostra a distribuição final dos *pixels* após a realização das etapas de otimizações dos acopladores de entrada e saída. Para a sintonia do filtro para operar neste comprimento de onda, a distância entre as colunas foi alterada para  $d = 1,364 \mu\text{m}$ . A Figura 5 mostra a curva do ganho em função do comprimento de onda. Considerando o projeto do filtro óptico com uma microcavidade, a perda de inserção foi de  $0,92 \text{ dB}$  e largura de banda de  $7,5 \text{ GHz}$ . Para duas microcavidades, a perda de inserção foi de  $2,2 \text{ dB}$  e a

largura de banda de  $3,3 \text{ GHz}$ . Para o projeto considerando três microcavidades, a perda de inserção foi de  $1,5 \text{ dB}$  e largura de banda de  $490 \text{ MHz}$ . Por fim, o comprimento total de todos os filtros ópticos analisados é de  $30 \mu\text{m}$ , aproximadamente. Essa característica os torna adequados para o uso em circuitos ópticos integrados.

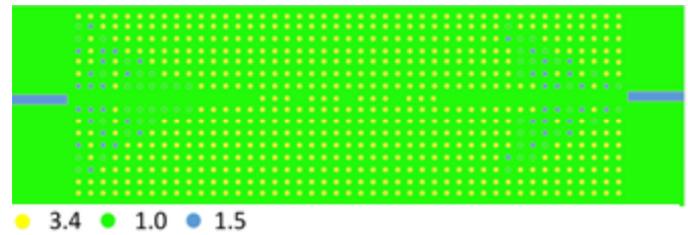


Fig. 4. Projeto do filtro óptico para o comprimento de onda de  $1,5687 \mu\text{m}$ .

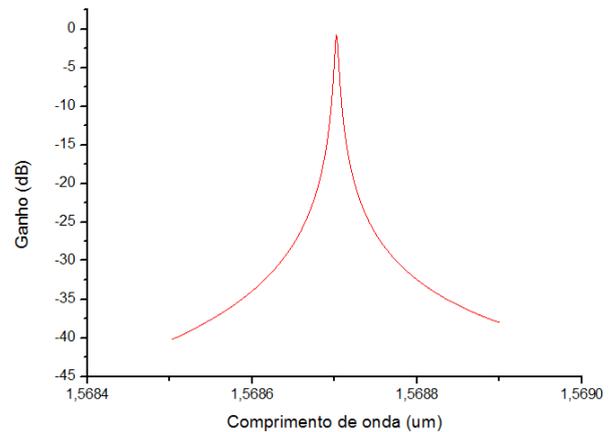


Fig. 5. Resposta em frequência do filtro óptico mostrado na Figura 4.

#### IV. CONCLUSÕES

Este projeto de iniciação científica propôs um novo tipo de filtro óptico de alta seletividade projetado através do método dos elementos finitos e algoritmo genético. As características obtidas para dois comprimentos de onda demonstram que o filtro é adequado para aplicações em sistemas DWDM. Ainda, com o uso dos acopladores, a integração entre os guias de onda contínuos e de cristais fotônicos apresentou um bom desempenho, facilitando a sua aplicação em sistemas DWDM feitos a partir de guias de onda contínuos.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. DeCusatis, I. P. Kaminow, "The Optical Communications Reference", first edition, Elsevier, 2010.
- [2] Telecommunications Standardization Sector of ITU, "Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks", Recommendation ITU-T G694.1, 2012.
- [3] Y. Wu, T. Shih, and J. Lee, "High-quality-factor filter based on a photonic crystal ring resonator for wavelength division multiplexing applications", *Applied Optics*, Vol. 48, No. 25, September, 2009.
- [4] C. H. S. Santos, M. S. Gonçalves, and H. E. Hernández-Figueroa, "Designing novel photonic devices by bio-inspired computing," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 22, no. 15, August 1, 2010.
- [5] C. H. S. Santos, M. S. Gonçalves, K. Claudio, and H. E. Hernández-Figueroa, "Design of Photonic Devices Using Bio-Inspired Algorithms", *International Microwave and Optoelectronics Conference*, Bêlem-PA, 2009.