



**Antonio Breno de Alleluia**

**Geração de Pulsos Ópticos Curtos e Multiplexação no  
Domínio do Tempo**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Jean Pierre von der Weid



**Antonio Breno de Alleluia**

## **Geração de Pulsos Ópticos Curtos e Multiplexação no Domínio do Tempo**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Jean Pierre von der Weid**  
Orientador  
CETUC PUC-RIO

**Jean Pierre von der Weid**  
CETUC PUC-RIO

**Alexandre Dal Forno**  
UERJ

**Luis Carlos Blanco Linares**  
MEC PUC-RIO

**Rogério Passy**  
MLS Wireless

**Marbey Mosso**  
CETUC PUC-RIO

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador(a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de agosto de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

### **Antonio Breno de Alleluia**

Graduou-se em engenharia elétrica com ênfase em telecomunicações na Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Iniciou o mestrado com o grupo de optoeletrônica do Centro de Estudos em Telecomunicações da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, desenvolvendo pesquisa na área de fenômenos não lineares ligados a geração e multiplexação óptica de pulsos curtos.

#### Ficha Catalográfica

Alleluia, Antonio Breno

Geração de pulsos curtos ópticos e multiplexação no domínio do tempo / Antonio Breno de Alleluia ; orientador: Jean Pierre Von der Weid. – 2006.

88 f. ;

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Gerador. 3. Multiplexador óptico. 4. Pulsos curtos. 5. Mode locked fiber ring laser. I. Weid, Jean Pierre Von der. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

A minha família e meus irmãos e irmãs do Laboratório de Optoeletrônica  
pelo amor e fé depositados em mim para realização desta tese.

## Agradecimentos

Minha sincera gratidão ao professor doutor Jean Pierre que me recebeu como o filho pródigo junto ao laboratório de óptica por toda dedicação, amizade e companheirismo no auxílio para minha formação científica. Meus companheiros de laboratório Giancarlo, Claiton, Guilherme e Janaína pela disponibilidade e atenção.

Meu professor Dal Forno o qual me apresentou o mundo da óptica durante o período que fui aluno na Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

Ao meu amigo Djeisson Hoffaman que durante todo o período da tese travou diálogos científicos fundamentais para a execução operacional da tese referente as mais diversas questões. Uma declaração a parte para o Claiton que na qualidade de melhor artesão projetou o violão para as linhas de atraso que infelizmente não foram utilizados mas que o conhecimento contribuiu para projetar multiplexador óptico passivo.

Os estagiários Marçal e Junior pela acessória em esquemas eletrônicos requeridos durante o período.

Aos técnicos Nilson, Tonhão e Gutenberg pelo auxílio desenhos envolvidos durante o período.

Minha grande amiga Amália que esteve além de todas as expectativas de secretária mas apresentou-se como uma mãe em muitas situações.

Minha família, a qual sou eternamente devoto por todo o investimento financeiro e emocional empregado para realização desta pesquisa sem a qual o sucesso deste

trabalho não teria ocorrido.

Minhas vovós que sempre vibravam ao meu lado e queriam entender o que tanto eu fazia trancafiado em um laboratório nos finais de semana.

Uma pessoa amada e querida que durante um grande período acompanhou, sofreu e sorriu com toda a tese e muito a desejou concluída.

Ao CNPQ pelo apoio e financiamento para execução da tese.

## Resumo

Alleluia, Antonio Breno; von der Weid, Jean Pierre. **Geração e Multiplexação Óptica de Pulsos Curtos**. Rio de Janeiro, 2006. 88p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação de mestrado demonstra o princípio do funcionamento de um sistema gerador e multiplexador óptico utilizando pulsos curtos. Através do efeito de mode locked fiber ring laser pulsos curtos ópticos são gerados para taxa de repetição de 2.48 GHz ao passo que o escalonamento é atribuído ao uso de dispositivos passivos ópticos os quais compõem o conjunto experimental permitindo que a frequência de 9.95 GHz seja atingida mediante a combinação exata das técnicas utilizadas. O coração de sistema está contido na geração e controle dos pulsos os quais determinarão a taxa de repetição em baixa frequência e posteriormente a multiplexação através de linhas de atraso devidamente combinadas fornecerão o valor escalonado de operação de frequência.

## Palavras-chave

gerador; multiplexador óptico; pulsos curtos; mode locked fiber ring laser

## Abstract

Alleluia, Antonio Breno;von der Weid, Jean Pierre . **Generation of optical Short Pulses and Time Domain Multiplexing.** Rio de Janeiro, 2006. 88p. MSc. Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This master thesis demonstrates the principle of the functioning of an optical time domain multiplex system using short pulses. Through the effect of mode locked to fiber ring laser, optical short pulses are generated at repetition of 2.48 GHz to the step that the scheduling is attributed to the use of optic passive devices which compose the experimental setup allowing that the frequency of 9.95 GHz is reached by means of the accurate combination of the used techniques. The system heart is contained in the generation and control of the pulses which will later determine the rate of repetition in low frequency and multiplexing through lines of delay duly combined.

## Keywords

Generator, multiplex;mode locked fiber ring laser

“ E disse Deus: Haja Luz. E houve luz.  
Viu Deus que a luz era boa, e fez separação entre a luz e as trevas”  
Gênesis 1:3,4

## Sumário

1 .Introdução	13
2 .Gerador Óptico	18
2.1.1. Dispersão da Velocidade de Grupo	18
2.1.2. Auto Modulação de Fase	19
2.1.3. Equação Não linear de Schrödinger	20
2.1.4. Mode Locked Fiber Ring Laser	20
2.1.5. Análise Computacional para um Sistema de Laser em Anel Simples	21
2.1.6. Mode locked experimental	25
2.1.7. Mode Locked Racional	45
3 Considerações para estabilização dos modos da cavidade.	57
4 .Multiplexação Óptica no Domínio do Tempo	61
4.1.1. Processamento e transmissão de dados no domínio óptico	62
4.1.2. Multiplexação Óptica no Domínio do Tempo	63
4.1.3. Medidas de multiplexação óptica	64
5 Comentários e Conclusões	75
6 Referências bibliográficas	79
7 . Apêndice Alpha	82

## Lista de figuras

Figura 1 Enlace óptico DWDM	14
Figura 2 Pulsos Multiplexados opticamente no domínio do tempo	15
Figura 3 Oscilador óptico	21
Figura 4 Simulação dos pulsos travados	22
Figura 5 Pulsos simulados com maior número de modos	23
Figura 6 Travamento dos pulsos simulados	23
Figura 7 Interferência destrutiva resultante do descasamento de fase	24
Figura 10 Setup experimental	26
Figura 11 Tempo dentro da cavidade	28
Figura 12 Transformada do sinal na cavidade	29
Figura 13 Sinal travado dentro da cavidade	30
Figura 14 Modulação para sinal de 10 MHz	31
Figura 15 Modulação para sinal de 58 MHz	31
Figura 16 Transformada de Fourier do Sinal	32
Figura 17 Pulso gerado pelo travamento dos modos	33
Figura 18 FFT do pulso de 112ps	34
Figura 19 Pulsos simulados no Maplev	35
Figura 20 Pulsos gerados pelo travamento dos modos	35
Figura 22 FFT do pulso de 49.75 ps	37
Figura 23 Pulsos gerado pelo travamento dos modos	37
Figura 24 Espectro do Sinal travado no ESA	38
Figura 25 Pulsos simulados	39
Figura 26 Pulso de 45.29 ps.	40
Figura 27 FFT do pulso 45.29 ps	40
Figura 28 Pulso gerado fora de sintonia	41
Figura 29 FFT do pulso	42
Figura 30 Pulso gerado fora do harmônico exato.	42
Figura 31 FFT do pulso 72.04 ps	43
Figura 33 FFT pulso 73.22 ps	44
Figura 34 Pulso 22ps	45

Figura 35 FFT do pulso de 22 ps	46
Figura 36 Pulso de 28.11 ps	46
Figura 37 FFT do pulso de 28.11 ps	47
Figura 38 Pulso de 34 ps	48
Figura 39 FFT do pulso de 34ps	49
Figura 40 Pulso de 38.70 ps	50
Figura 41 FFT pulso de 38.70ps	51
Figura 42 Pulso 30,54 ps.	51
Figura 43 Pulso de 28.11 ps	52
Figura 44 FFT pulso de 28.11 ps	53
Figura 45 FFt pulso de 30.54ps.	54
Figura 46a Pulso de referência	55
Figura 47 Setup experimental	57
Figura 48 Geladeira do MLFRL	59
Figura 49 Sistema OTDM montado em bancada	63
Figura 50 Setup de geração e multiplexação	64
Figura 51 Canal de referência	65
Figura 52 Canais 1 e 2	66
Figura 53 Canais superpostos	67
Figura 54 Canais 1 e 4	67
Figura 55 Canais 2 e 3	68
Figura 56 Canais 2 e 4	69
Figura 57 Canal 3 e 4	69
Figura 59 Canal 2	71
Figura 60 Canal 3	72
Figura 61 Canais após ajuste de linhas	72
Figura 62 Pulsos multiplexados	73