

# **Um Polarímetro de Baixo Custo**

Guilherme Penello Temporão

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.



**Guilherme Penello Temporão**

**Um Polarímetro de Baixo Custo**

**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

Rio de Janeiro, julho de 2003

**Guilherme Penello Temporão**

**Um Polarímetro de Baixo Custo**

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  
PUC-Rio

**Marcelo Roberto Jimenez**  
PUC-Rio

**Rogério Passy**  
PUC-Rio

**Ney Augusto Dumont**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 8 de agosto de 2003

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

### **Guilherme Penello Temporão**

Formado em Engenharia Elétrica com Ênfase em Telecomunicações pela PUC-Rio em 2002. Suas atuais áreas de interesse incluem polarimetria, metrologia em componentes ópticos, óptica quântica e distribuição quântica de chaves criptográficas.

#### Ficha Catalográfica

Temporão, Guilherme Penello

Um polarímetro de baixo custo / Guilherme Penello Temporão; orientador: Jean Pierre von der Weid. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Elétrica, 2003.

97 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Polarimetria. 3. Polarização da luz. 4. Metrologia em fibras ópticas. 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 noiva Ana Cláudia e a meus pais José e Liliane

## Agradecimentos

Ao prof. Jean Pierre von der Weid, pela orientação, entusiasmo e idéias a respeito do polarímetro.

À minha noiva Ana Cláudia Madeira Lopes, pelo apoio, carinho e dedicação.

Ao prof. Carlos Kubrusly, pelas várias horas de trocas de idéias.

Ao amigo Giancarlo Vilela de Faria, pela enorme contribuição na montagem do polarímetro e constante preocupação com seu funcionamento.

A Luis Carlos Blanco Linares, pelos ensinamentos, idéias e puxões de orelha.

Aos demais colegas do Laboratório de Optoeletrônica e a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão desse trabalho.

## Resumo

Temporão, Guilherme Penello. **Um Polarímetro de Baixo Custo**. Rio de Janeiro, 2003. 97p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Um novo modelo de polarímetro, baseado em lâminas de birrefringência variável controladas por atuadores piezoelétricos, é apresentado e construído. O dispositivo é baseado na divisão no tempo do sinal luminoso e, comparado a outros modelos de sua categoria, apresenta uma série de atrativos, como baixo custo e simplicidade. É realizada uma comparação de resultados entre o polarímetro desenvolvido e um polarímetro comercial para luz polarizada e parcialmente polarizada.

## Palavras-chave

Polarimetria; Polarização da luz; Metrologia em fibras ópticas.

## **Abstract**

A new polarimeter model, based on time-varying birefringence caused by piezoelectric-controlled fiber-squeezing plates, is presented and constructed. The device is based on time division of the light signal and, in comparison with other polarimeters of its kind, features many advantages, like low cost and simplicity. The results given by the new polarimeter and a commercial one are compared, using polarized and partially polarized light.

## **Keywords**

Polarimetry; Polarization of light; Metrology in optical fibers.

# Sumário

1	Introdução	12
2	Teoria Eletromagnética da Polarização da Luz	14
2.1	O que é Polarização?	15
2.2	Tipos de Polarização	18
2.2.1	Polarização Linear	18
2.2.2	Polarização Circular	21
2.2.3	Polarização Elíptica	23
2.3	Representação dos Estados de Polarização	25
2.3.1	Representação por Vetores de Jones	25
2.3.2	Parâmetros de Stokes e Representação de Poincaré	28
2.4	Transformações dos Estados de Polarização	34
2.4.1	O Formalismo de Jones	35
2.4.2	Propagação da Luz nos Meios Birrefringentes	36
2.4.3	Matrizes de Jones de Alguns Dispositivos	37
2.5	Coerência e Polarização Parcial	40
2.5.1	Coerência Temporal	41
2.5.2	Caracterização da Luz Parcialmente Polarizada	43
3	Polarimetria	47
3.1	Polarímetros Tradicionais	47
3.1.1	O Polarímetro em Divisão no Espaço	48
3.1.2	O Polarímetro em Divisão no Tempo	50
3.2	Um Novo Modelo de Polarímetro	52
3.2.1	Configuração das Lâminas Birrefringentes	53
3.2.2	A Escolha do Polarizador	55
3.2.3	O Procedimento de Medida	61
3.2.4	Validação do Modelo	64
3.2.5	Expectativa de Desempenho	66

4 Montagem Experimental	68
4.1 Material Utilizado	68
4.2 O Alinhamento do Polarizador	70
4.3 O Processo de Calibração	71
4.3.1 Ajuste de Parâmetros da Placa A/D e D/A	73
4.3.2 Leitura e Escrita de Dados	74
4.3.3 Geração das Birrefringências	76
4.3.4 Refinamento	78
4.4 Medidas de Luz Polarizada	80
4.5 Medidas de Luz Parcialmente Polarizada	85
5 Um Algoritmo para Auto-Calibração	90
5.1 Calibração da Lâmina $L_2$	92
5.2 Calibração da Lâmina $L_1$	93
5.3 Comentários	93
6 Conclusão	95
7 Referências Bibliográficas	97



## Lista de abreviaturas

A/D – Analógico/Digital;

D/A – Digital/Analógico;

DOP – Grau de Polarização (*Degree Of Polarization*);

Fibra Hi-Bi – Fibra óptica de alta birrefringência (*High Birefringence*);

LED – Diodo Emissor de Luz (*Light Emitting Diode*);

PMD – Dispersão dos Modos de Polarização (*Polarization Mode Dispersion*);

Sinal AC – Sinal periódico de valor médio nulo (*Alternate Current*);

Sinal DC – Sinal constante (*Direct Current*);

SOP – Estado de polarização (*State Of Polarization*).

## Lista de figuras

<b>Figura 1:</b> Onda plana se propagando na direção positiva do eixo z	15
<b>Figura 2:</b> Tipos de polarização: (a) Linear, (b) Circular e (c) Elíptica	16
<b>Figura 3:</b> Polarização linear na direção (a) x e (b) y	19
<b>Figura 4:</b> Polarização linear na direção $\theta$	20
<b>Figura 5:</b> Polarização circular (a) à direita e (b) à esquerda	22
<b>Figura 6:</b> Polarização elíptica	24
<b>Figura 7:</b> Esfera de Poincaré	31
<b>Figura 8:</b> Polarímetro baseado em divisão no espaço	49
<b>Figura 9:</b> Polarímetro em divisão no tempo	50
<b>Figura 10:</b> Diagrama de blocos do novo modelo de polarímetro	52
<b>Figura 11:</b> Transformações introduzidas pelas lâminas birrefringentes	54
<b>Figura 12:</b> Procedimento para transformar um estado de polarização genérico no estado de polarização linear $0^\circ$ (alinhado ao eixo x)	56
<b>Figura 13:</b> Montagem para alinhamento do polarizador	70
<b>Figura 14:</b> Processo de calibração do polarímetro	72
<b>Figura 15:</b> Formas de onda nas portas D/A e suas relações de sincronismo com os instantes de amostragem na porta A/D	75
<b>Figura 16:</b> Resposta transitória dos atuadores piezoelétricos	76
<b>Figura 17:</b> Captura de tela do software desenvolvido	80
<b>Figura 18:</b> Resultados obtidos para o parâmetro de Stokes $S_1$	81
<b>Figura 19:</b> Resultados obtidos para o parâmetro de Stokes $S_2$	81
<b>Figura 20:</b> Resultados obtidos para o parâmetro de Stokes $S_3$	82
<b>Figura 21:</b> Esquema para medida de luz parcialmente polarizada	85
<b>Figura 22:</b> Trajetória do SOP na saída da Hi-Bi quando $\theta = 0^\circ$	87
<b>Figura 23:</b> Trajetória do SOP na saída da Hi-Bi quando $\theta \neq 90^\circ$	87
<b>Figura 24:</b> Trajetória do SOP na saída da Hi-Bi quando $\theta = 90^\circ$	88
<b>Figura 25:</b> Comparação entre a DOP medida e a indicada pelo polarímetro de referência	89
<b>Figura 26:</b> Intensidade na saída para modulação das tensões em $L_1$ e $L_2$	94

