

## 9

# Proposta de um Atenuador Óptico Variável (VOA)

### 9.1.

#### Introdução

Neste capítulo é proposto o desenvolvimento de um atenuador óptico variável (*VOA- Variable Optical Attenuator*) baseado em fibra óptica especial polarizada usando um interferômetro de Sagnac. Neste interferômetro, o sinal de saída será controlado como uma função de uma tensão externa aplicada a uma fibra polarizada. A indução de uma não-linearidade de segunda ordem na fibra especial poder ser o efeito básico para o desenvolvimento de um dispositivo eletro-óptico para aplicação em modulação e chaveamento da luz.

Esta proposta faz parte de um projeto chamado Projeto Giga/Funtell, onde o *VOA* será testado como equalizador da potência óptica para diferentes comprimentos de onda de uma rede de fibra óptica metropolitana.

Nas seguintes seções discute-se o uso de um interferômetro de Sagnac como um atenuador óptico variável (seção 9.2), e descreve-se a proposta de um atenuador óptico variável utilizando uma fibra polarizada (seção 9.3) em um interferômetro de Sagnac. Como um estudo paralelo é realizada a caracterização de um dispositivo a fibra não polarizado utilizando um interferômetro de Mach-Zehnder (seção 9.4). As conclusões são expressas na seção 9.5.

### 9.2.

#### Interferômetro de Sagnac como um atenuador óptico variável

Inicialmente, estudou-se o uso de um interferômetro de Sagnac linear a fibra monomodo (*SMF*) como um atenuador óptico variável (Mortimore, 1988; Valente et al., 2003).

O esquema da montagem do interferômetro é mostrado na figura 98.

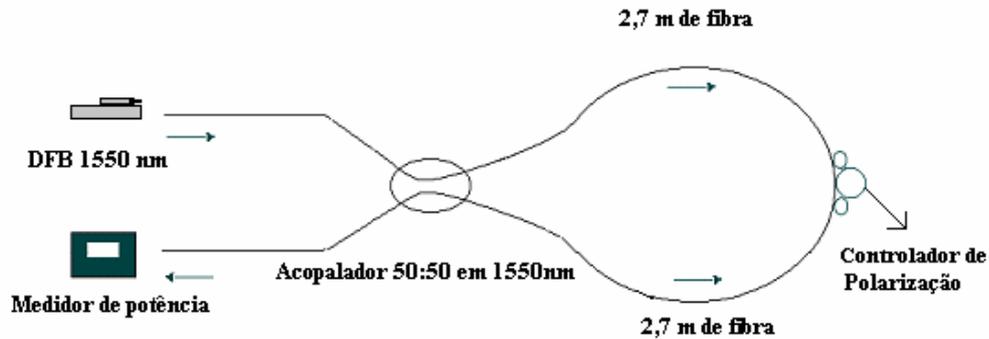


Figura 98 - Esquema do interferômetro de Sagnac.

A fonte de bombeio utilizada nesta configuração é um laser *DFB* 1550 nm de potência 0,166 mW. Devido à baixa potência, o sistema pode ser descrito só levando em conta o efeito linear. O interferômetro consiste de um acoplador 50:50 com duas portas de saída cujas fibras têm 2,7 m de comprimento cada e estão emendadas para formar uma trajetória fechada em forma de anel (*loop*). O sinal óptico acoplado no interferômetro é dividido no acoplador em dois feixes que contrapropagam no anel, e interferem no acoplador coerentemente. Para controlar a intensidade do sinal transmitido na saída do interferômetro, foi inserido no anel um controlador de polarização baseado em um mecanismo de pressão (controlador de polarização Yao).

Dependendo do estado de polarização das ondas contrapropagantes no anel do interferômetro, pode ocorrer interferência destrutiva ou construtiva na porta de saída do interferômetro.

O controlador de polarização colocado no interferômetro possui um parafuso que ao ser rodado aplica pressão a uma pequena região da fibra, produzindo uma birrefringência linear, com o eixo lento paralelo à direção da pressão. Rodando o parafuso ocorre a variação do retardo entre o eixo lento e o eixo rápido de 0 a  $2\pi$ , o que altera a fase relativa entre os sinais em sentido anti-horário e o sentido horário. Dependendo do trajeto óptico exato e do controle da polarização, a interferência que ocorre no acoplador pode ser construtiva ou destrutiva. As variações induzidas na polarização se traduzem em variações na potência óptica na saída do acoplador as quais são registradas no medidor de potência.

Foi possível mostrar que utilizando o interferômetro de Sagnac, a potência de saída variou de 75% da potência de entrada a 0,5%, sendo possível bloquear quase completamente o sinal óptico de saída. Este experimento mostrou a dependência da interferência das ondas no acoplador com o controle da polarização, indicando a viabilidade de se desenvolver um dispositivo para chaveamento da intensidade da luz através do controle da polarização das ondas que se propagam em um interferômetro.

### 9.2.1. Caracterização do acoplador e do interferômetro de Sagnac

A corrente máxima do laser *DFB* 1550 nm era  $I = 15,0$  mA e a potência laser era de 0,059 mW. A potência em dBm pode ser expressa em mW utilizando a fórmula:

$$1\text{dBm} = \frac{10\log P_{\text{ot}}}{1\text{mW}} \quad (95)$$

A fim de se caracterizar o acoplador, realizou-se medidas de potência óptica em três portas de saída do acoplador (figura 99). A potência registrada no medidor de potência expressa nas duas unidades era:

Potência de entrada:

$$P_{\text{ot}} = -8,2 \text{ dBm} \text{ -----} 0,151 \text{ mW (100\%)}$$

Potência na porta 1:

$$P_{\text{ot}1} = -11,5 \text{ dBm} \text{ -----} 0,0707 \text{ mW (46,72\%)}$$

Potência na porta 2:

$$P_{\text{ot}2} = 11,6 \text{ dBm} \text{ -----} 0,0691 \text{ mW (45,76\%)}$$

Potência na porta de saída (porta 3):

$$P_{\text{ot}3} = 29 \text{ dBm} \text{ -----} 1,259 \times 10^{-3} \text{ mW (0,83\%)}$$

A figura 99 mostra o registro das potências no interferômetro:

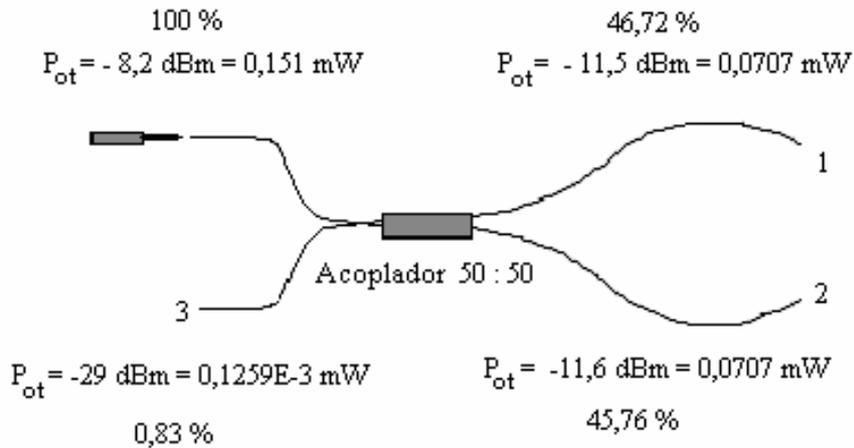


Figura 99 - Caracterização do acoplador utilizado no interferômetro de Sagnac

Usando a configuração mostrada na figura 98, o sinal transmitido na saída do interferômetro de Sagnac foi medido como uma função da variação da polarização induzida pelo controlador de polarização. A potência do sinal transmitido foi medida a cada giro de  $\pi / 2$  do parafuso do controlador. Como é mostrado no gráfico da figura 100 o valor máximo do sinal transmitido foi de -9,0 dBm (0,126 mW), este valor corresponde a 75,90% da potência do sinal de entrada -7,8 dBm (0,166 mW), e o valor mínimo da potência do sinal transmitido foi -34,4 dBm ( $3,63 \times 10^{-4}$  mW) que corresponde a 0,21% da potência de entrada. A razão de extinção foi de -25,4 dBm ( $2,88 \times 10^{-3}$  mW).

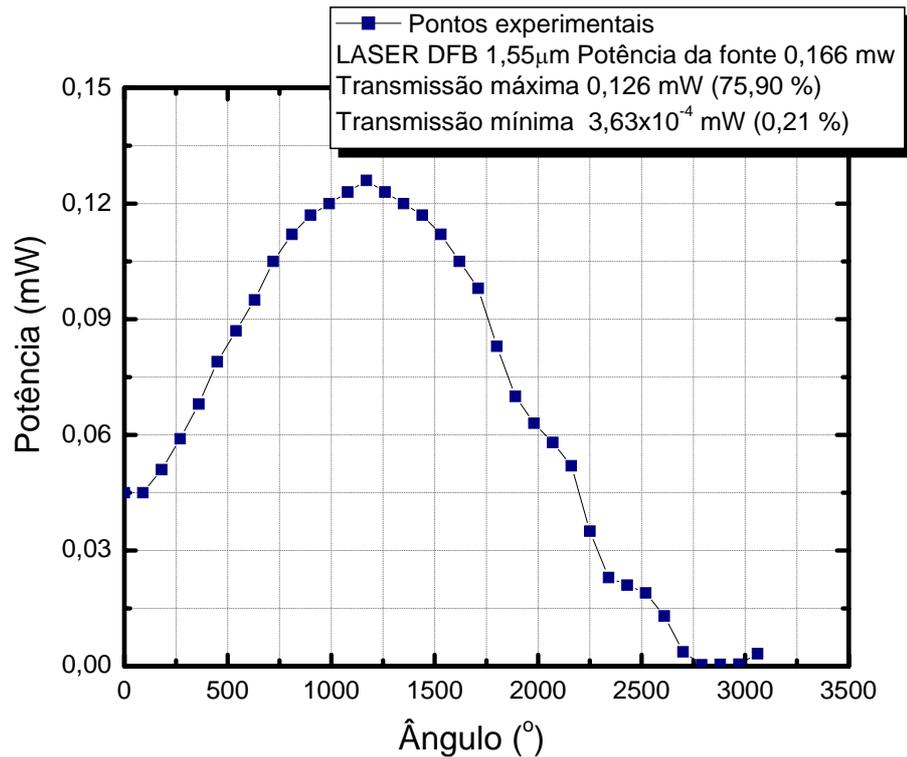


Figura 100 - Potência de saída do interferômetro de Sagnac versus ângulo de rotação do controlador de polarização. A linha é só uma guia para os olhos.

Analisando a figura 100 podemos ver que é possível controlar a potência do sinal de saída num interferômetro de Sagnac induzindo variações na polarização.

### 9.3.

#### Proposta VOA : fibra especial polarizada no interferômetro de Sagnac.

A proposta do VOA consiste em construir um dispositivo no qual o controlador de polarização (discutido na seção anterior) presente no interferômetro Sagnac será substituído por uma fibra especial polarizada.

Como o processo de polarização térmica gera uma variação local no índice de refração, espera-se que a polarização das ondas contrapropagantes no interferômetro se alterem na presença de um campo externo de forma que resulte em diferentes níveis de interferência na saída do interferômetro de Sagnac. Este fato pode ser explorado de forma que o dispositivo a fibra funcione como um atenuador óptico variável que poderá ser usado também como uma chave óptica,

abrindo e fechando dependendo do valor da tensão aplicada sobre os eletrodos da fibra. Desta forma, para se desenvolver este projeto será necessário inicialmente fazer um estudo do estado de polarização das ondas que se propagam no interferômetro de Sagnac contendo uma fibra óptica polarizada sob diferentes tensões aplicadas.

Estudos preliminares já foram desenvolvidos tentando-se polarizar termicamente uma fibra posicionada no interferômetro de Sagnac.

Inicialmente, investigou-se a melhor forma para emendar com baixa perda a fibra especial do dispositivo e a fibra padrão (monomodo) do interferômetro. Descobriu-se que a utilização de um feixe de um laser He-Ne (632,8 nm) permitia a otimização da qualidade da emenda. Foi possível obter emendas de fibras com perdas da ordem de 0,02 dB.

Foram feitas várias tentativas para polarizar a fibra estando ela posicionada na montagem do interferômetro de Sagnac. Inicialmente foi utilizada a fibra F020523-8 com eletrodos metálicos de BiSn inseridos por pressão como foi explicado no capítulo 8. Em tentativas posteriores, foram utilizados fios de tungstênio como eletrodos na fibra F030402-1. Em ambos os casos, o processo de polarização foi realizado a uma temperatura média de 280°C. Foram aplicadas tensões não maiores de 2 kV para as diferentes tentativas. O tempo de polarização variou entre 10 min e 60 min. A montagem utilizada é mostrada na figura 101.

A fibra com eletrodos foi aquecida até atingir uma temperatura de aproximadamente 280°C (a temperatura oscilou entre 275°C e 284°C). Nesta temperatura a tensão foi aplicada nos eletrodos do dispositivo. A placa aquecedora foi desligada depois do tempo de polarização previsto e a tensão aplicada permaneceu até que o sistema atingiu a temperatura de 30°C. Caso o processo de polarização tivesse obtido sucesso, a montagem do VOA funcionaria como um atenuador óptico variável ao variar-se a tensão aplicada.

Com o propósito de testar a polarização da fibra, acoplou-se um feixe (1550 nm) a uma das portas de entrada do interferômetro, ao mesmo tempo em que se aplicou tensão nos eletrodos do dispositivo. A tensão aplicada variou de zero até um valor igual a 2 kV. A potência do sinal de 1550 nm na saída do acoplador era monitorada para cada valor da tensão aplicada. Em nenhum caso foi possível observar alguma mudança na potência de saída ao aplicar a tensão.

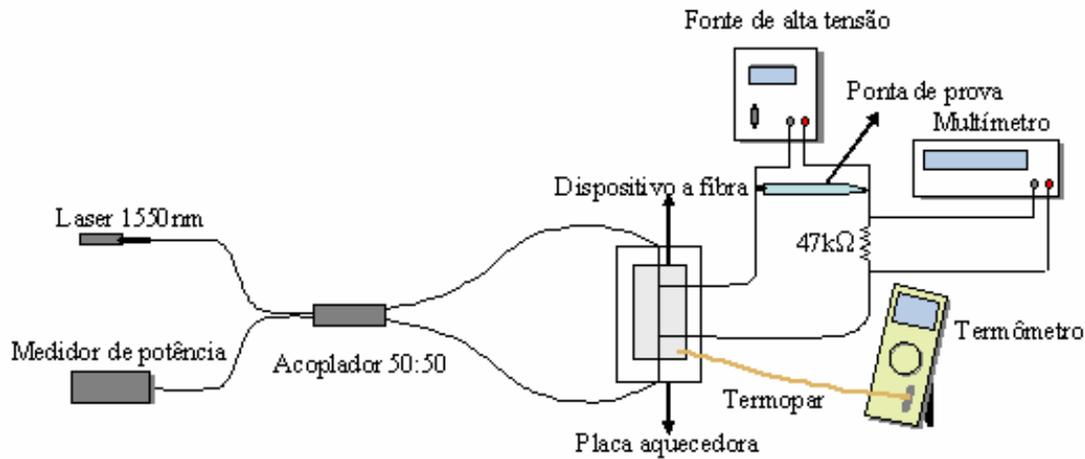


Figura 101 - Montagem para a polarização do dispositivo a fibra incluído na configuração do interferômetro de Sagnac como substituto do controlador de polarização.

Conclu-se, portanto, que estudos devem ser realizados para se compreender a influência da aplicação da tensão externa no estado de polarização das ondas propagantes em um interferômetro de Sagnac de forma a viabilizar o desenvolvimento de um atenuador óptico variável. Paralelamente a este estudo, a otimização da polarização das fibras especiais também deve ser investigada.

#### 9.4. Interferômetro de Mach – Zehnder (MZ)

Para caracterizar o dispositivo a fibra antes de ser polarizado, foi utilizado um interferômetro de Mach-Zehnder para se obter uma chave Kerr a fibra (*Kerr switch*). A montagem interferométrica consistiu de dois acopladores 50:50 encapsulados em caixas de alumínio e conectorizados para diminuir o ruído térmico e que formam um sistema de duas entradas e duas saídas. O dispositivo a fibra consistiu de uma fibra especial F040407-1b1 monomodo em 1550 nm, com o núcleo altamente dopado com germânio (Ge). A separação entre os eletrodos era de  $18,3 \mu\text{m}$ . O comprimento dos eletrodos de BiSn inseridos nos buracos da fibra foi de 27 cm. A tensão dc aplicada foi de 2 kV. A fonte utilizada foi um laser *DFB* 1550 nm (fonte Newport - modelo 505). Como tensão ac para a modulação do sinal óptico utilizou-se a saída da rede elétrica (110 V) cuja frequência é de 60 Hz. O esquema da montagem é mostrado na figura 102.

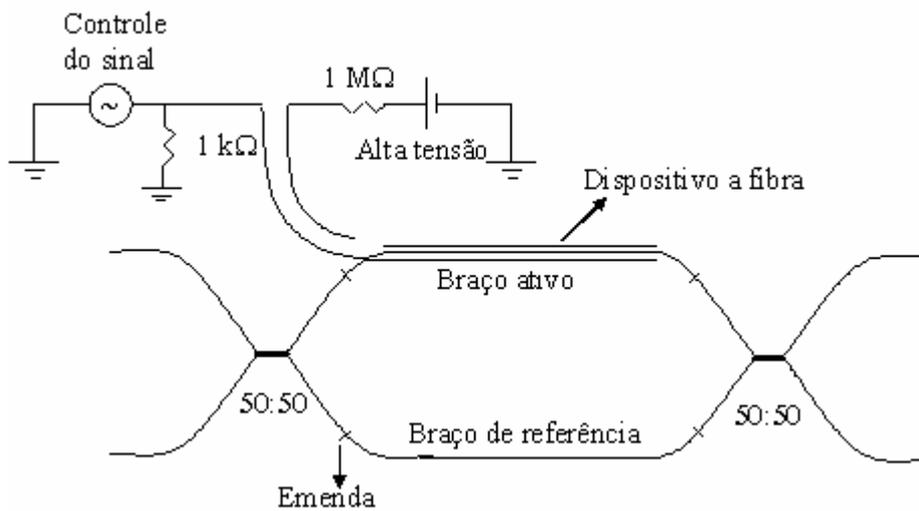


Figura 102 - Montagem 2x2 para a medida da resposta Kerr em um interferômetro de Mach – Zehnder.

O campo elétrico externo foi aplicado para produzir uma mudança no índice de refração, esta variação pode ser expressa como:

$$\Delta n = \frac{3\chi^{(3)}E_{ap}^2}{2n_o} \quad (96)$$

onde  $n_o$  é o índice de refração não perturbado cujo valor é 1,5,  $\chi^{(3)}$  é a susceptibilidade não linear de terceira ordem da fibra. O valor de  $\chi^{(3)}$  obtido por Myrén et al. (2004), antes e depois da polarização da uma fibra similar à usada nesta experiência foi de  $2,1 \times 10^{-22} \text{ m}^2/\text{V}^2$ , e  $E_{ap}$  é o campo elétrico aplicado cujo valor é obtido a partir da expressão:

$$E_{ap} = \frac{V_{ap}}{d_{\text{eletrodos}}} \quad (97)$$

A variação no índice de refração conduz a uma mudança de fase,  $\Delta\varphi$ , entre os sinais ópticos que se propagam nos dois braços do interferômetro. Esta variação de fase pode ser obtida a partir da seguinte expressão:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi L\Delta n}{\lambda} \quad (98)$$

onde  $L$  é o comprimento da região onde é induzida a variação no índice de refração, igual ao comprimento dos eletrodos (27 cm), e  $\lambda$  é o comprimento de onda do sinal 1550 nm. Utilizando as eqs. (96), (97) e (98) o valor achado para o  $\Delta\varphi$  foi de  $0,87\pi$ .

A tensão ac da rede elétrica é aplicada para modular a amplitude do sinal óptico, como é mostrado no gráfico da figura 103. A tensão pico a pico do sinal de modulação medida no osciloscópio foi de 336 V (curva preta). Como se pode ver na figura 110, a luz foi modulada (curva azul).

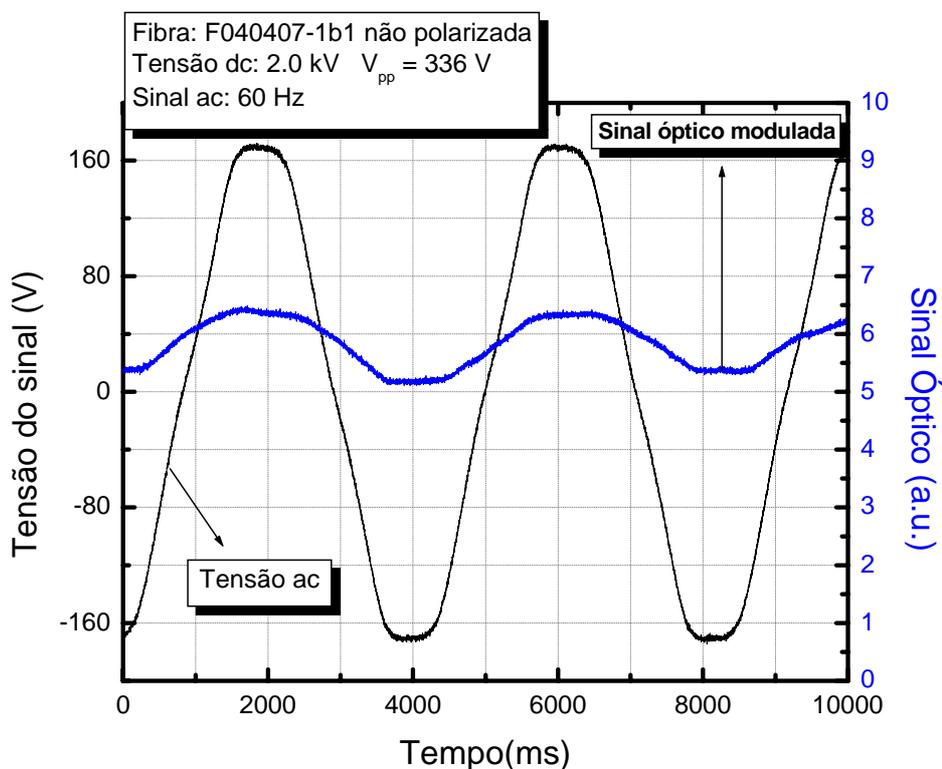


Figura 103 - Modulação do sinal transmitido. Efeito Kerr.

## 9.5. Conclusão

É proposto o desenvolvimento de um dispositivo atenuador óptico variável (VOA) baseado em um dispositivo a fibra especial polarizada posicionada em um interferômetro de Sagnac. Estudos preliminares para a compreensão do desenvolvimento deste dispositivo são apresentados envolvendo o efeito da polarização sobre as ondas contrapropagantes em um interferômetro de Sagnac e a demonstração da modulação de luz por efeito Kerr em um interferômetro de Mach-Zehnder a fibra.

As características da fibra especial sugeridas para o desenvolvimento deste projeto são: uma fibra de 125  $\mu\text{m}$  de diâmetro com 2 buracos e um núcleo altamente dopado com germânio. Cada buraco de 30  $\mu\text{m}$  de diâmetro e a distância entre os buracos de 18  $\mu\text{m}$ . A separação entre o buraco mais perto do núcleo e o núcleo estaria sujeita à otimização de forma a diminuir perdas na transmissão da luz com a inserção dos eletrodos. A liga metálica sugerida como eletrodo é AuSn, composta de 80% de ouro (Au) e de 20% de estanho (Sn), cujo ponto de fusão é 280°C. Os parâmetros propostos para a polarização da fibra são: tensão dc de 4 kV, temperatura entre 250°C e 270°C nesta temperatura os eletrodos estariam ainda sólidos durante o processo de polarização.

Portanto, para o desenvolvimento do dispositivo VOA, um estudo mais detalhado do estado de polarização das ondas contrapropagantes em um interferômetro de Sagnac ainda deve ser realizado, assim como a otimização das fibras polarizadas.