

Construção de Acopladores Direcionais a Fibra Óptica Birrefringente

Carlos Fernando Rondina Mateus, André César da Silva, José Edimar Barbosa Oliveira

Divisão de Fotônica Instituto de Estudos Avançados – IEAv, Departamento de Microondas e Eletroóptica
Divisão de Engenharia Eletrônica Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA
Centro Técnico Aeroespacial - CTA
São José dos Campos

Resumo. A construção de acopladores direcionais a fibra óptica birrefringente é apresentada. A técnica utilizada é a de polimento lateral das fibras e posterior aproximação destas, interagindo-se seus campos evanescentes. Através de microscopia de transmissão com a fibra entre polarizadores cruzados, conseguiu-se uma precisão de $\pm 2^\circ$ no alinhamento azimutal de fibras birrefringentes do tipo *elliptical cladding*. O polimento lateral destas, segundo um plano paralelo ao eixo *slow*, proporcionou um aproveitamento inicial de 20% das peças. Utilizando uma fonte de espectro largo, um método de caracterização rápido e preciso é desenvolvido, permitindo a medida da isolação de polarização sem erros devidos a efeitos residuais de coerência da fonte.

Abstrat. The construction of birefringent optical fiber directional couplers is presented. The technique used is based upon lateral polishing of the fibers followed by their approximation, interacting their evanescent fields. By transmission microscopy through the fiber between crossed polarizers, a precision of $\pm 2^\circ$ in the azimuthal alignment of elliptical cladding fibers is achieved. Their lateral polishing, on a plane parallel to the slow axis, yielded initially 20% of the pieces. Using a broadband source, a fast and precise characterization method is developed, allowing the measurement of the polarization isolation ratio without errors due to residual coherence effects of the source.

I. INTRODUÇÃO

Acoplamento direcional é um fenômeno de troca de energia entre ondas eletromagnéticas que se propagam em diferentes estruturas de guiagem [1]. O dispositivo que resulta da disposição destas estruturas de guiagem com o objetivo de controlar a troca de energia é denominado acoplador direcional. Seja para a aquisição de amostras ou para a divisão de sinais, o acoplador é um dispositivo fundamental em qualquer circuito óptico.

Acopladores direcionais podem ser construídos a partir de guias de onda e microlinhas para operarem na faixa de microondas e a partir de fibras ópticas e em óptica integrada para a faixa óptica. Qualquer que seja a faixa de operação, os modelos destas estruturas são obtidos a partir das equações de Maxwell e da

geometria e composição do material das estruturas de guiagem envolvidas, sendo o dispositivo descrito, em qualquer caso, por meio de matriz espalhamento e dos parâmetros diretividade, acoplamento e isolação[2-4].

Embora a literatura disponível sobre a construção do dispositivo seja extensa [5-27], a técnica ainda se encontra em evolução e desconhecemos a existência no mercado de um produto feito com fibras birrefringentes do tipo *elliptical cladding*, produto que ora nos interessa. Assim sendo, nesta etapa do trabalho, não houve preocupação com a fabricação de peças que atendam a especificações de engenharia, mas sim o enfoque numa metodologia eficaz, como prova de conceito, proporcionando o estabelecimento da técnica.

II. ACOPLADORES DIRECIONAIS A FIBRA

O acoplamento direcional em fibras ópticas segue o mesmo princípio do acoplamento em guias de microondas, sendo a fibra óptica modelada como um guia de onda dielétrico. As condições de contorno impostas ao campo eletromagnético tornam a obtenção do modelo de propagação da luz na fibra óptica um pouco mais elaborada [2-4]. Como no guia dielétrico óptico não existe uma superfície externa onde o campo elétrico se anula, como no caso dos guias metálicos, o campo guiado deve ser decrescente ao se afastar do centro e tender a zero na região externa ao guia. O campo nesta região é chamado de evanescente.

A troca de energia em um acoplador direcional a fibra óptica ocorre quando os núcleos das fibras são aproximados, lado a lado, o suficiente para que o campo evanescente dos modos de uma das fibras excite modos de propagação na outra fibra, assim, permitindo a transferência de energia entre elas. Esta transferência pode ser quantificada e vai depender da estrutura modal de cada fibra óptica e de sua disposição geométrica no espaço [6,28-32]. A Fig. 1 mostra um exemplo hipotético de troca de energia entre duas fibras, as quais se encontram com os núcleos suficientemente próximos, permitindo a interação entre os campos evanescentes. Nesta figura, consideramos que, inicialmente, apenas uma das fibras estava guiando uma onda eletromagnética.

Acopladores direcionais são construídos segundo duas técnicas principais: polimento e fusão. No primeiro caso, a fibra é fixada em uma canaleta com curvatura circular, feita sobre um bloco suporte. O conjunto é então polido, possibilitando a necessária aproximação do núcleo [5-14].

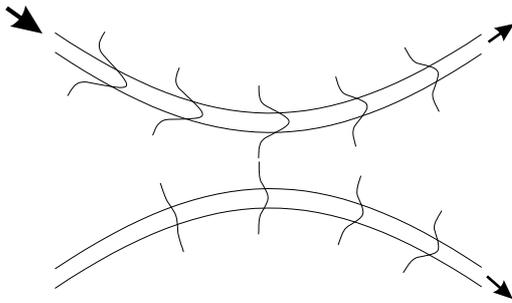


Figura 1. Troca de energia entre duas fibras por interação de campos evanescentes.

A cada conjunto denomina-se “meio-acoplador” e a junção de dois destes “meio-acopladores” nos dá o dispositivo final. No método de fusão, as fibras são torcidas, uma ao redor da outra, esticadas e localmente aquecidas, resultando num afinamento da estrutura e possibilitando a troca de energia entre as fibras [15-20]. Algumas fibras especiais já foram criadas na tentativa de variações dos métodos anteriores [21-27].

Nosso estudo recai sobre acopladores confeccionados por polimento, que, devido à natureza de construção, quando utilizando fibras birrefringentes, possuem melhores resultados de isolamento de polarização que os por fusão [12]. Tais dispositivos estão esquematizados na Fig. 2.

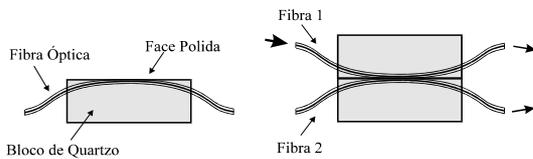


Figura 2. Acopladores direcionais construídos por polimento.

A birrefringência é o fenômeno no qual a velocidade de fase de um feixe óptico propagante em um meio com anisotropia dielétrica depende da direção de polarização do vetor campo elétrico. A anisotropia dielétrica pode ser gerada em uma fibra destruindo-se a simetria circular do núcleo, tornando-o elíptico, ou induzindo, na casca, tensões diferenciadas que afetem o índice de refração, alterando-o de acordo com a posição angular na seção transversal. Nas posições onde o índice de refração for máximo ou mínimo estarão localizados os eixos principais da fibra, denominando-se eixo *slow* na posição de máximo e eixo *fast* na posição de mínimo.

Na realidade, toda fibra monomodo convencional suporta dois modos ortogonalmente polarizados [33]. Como essas polarizações são degeneradas, campos propagantes nessas fibras são facilmente acoplados de um modo de polarização para o outro. Retirando-se a degenerescência entre os modos, pela inserção de birrefringência, qualquer que seja a polarização de entrada na fibra, a energia segundo os eixos principais será mantida.

Fibras birrefringentes são utilizadas, principalmente, em sistemas ópticos coerentes de transmissão de dados e em dispositivos sensores baseados em princípios interferométricos. Para maior efetividade de funcionamento, há a necessidade de os acopladores direcionais utilizados serem também com fibras birrefringentes [34,35].

Nosso interesse, no momento, recai sobre a construção do dispositivo com fibra birrefringente do tipo *elliptical cladding*, com a qual é construído o circuito óptico do giroscópio a fibra óptica, em desenvolvimento no nosso grupo [36]. A birrefringência nesta fibra é obtida pela aplicação de *stress* no núcleo através da dopagem da casca segundo uma geometria elíptica, o que garante a dependência angular elíptica do índice de refração. A seção transversal desta fibra e seu perfil de índices de refração podem ser observados na Fig. 3.

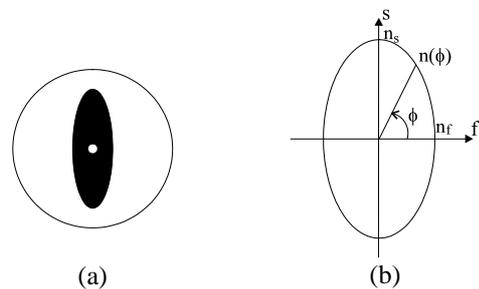


Figura 3. (a) Seção transversal e (b) perfil do índice de refração da fibra birrefringente *elliptical cladding*.

Após esta breve abordagem sobre o dispositivo, bem como sobre a fibra que o constitui, reunimos os elementos necessários para o entendimento dos passos a serem seguidos na sua construção.

III. CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

A construção do dispositivo inicia-se pela confecção do bloco suporte. A utilização deste é necessária para a garantia da rigidez da fibra, no polimento e na manipulação para o ajuste da razão de acoplamento desejada, os quais seriam impraticáveis sem a fixação.

O bloco é feito a partir de quartzo fundido, garantindo o nivelamento das superfícies polidas (fibra e bloco) [37]. A canaleta para a fixação da fibra é feita por uma serra, com borda diamantada, em uma máquina esquematizada na Fig. 4. A rotação da haste de fixação do bloco garante o perfil circular e o parafuso micrométrico estabelece a profundidade mínima da canaleta em relação à superfície do bloco. Através de duas passagens da serra, com dois avanços de 60µm do parafuso micrométrico, estabelecemos o perfil, e um posterior banho de HF (ácido fluorídrico), por 15 minutos, diminui a angulosidade dos picos e vales resultantes do brusco processo de serragem. Chanfros laterais são feitos para permitir a deposição de cola na montagem final. A Fig. 5 mostra o formato final do bloco suporte, quando, então, está pronto para receber a fibra.

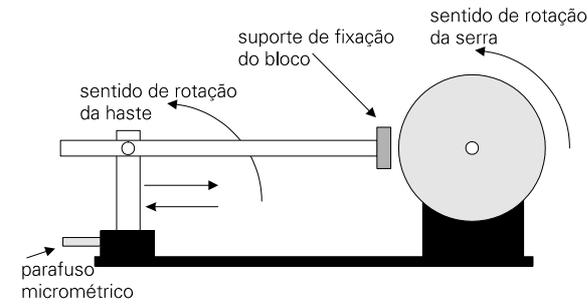


Figura 4. Esquema da máquina utilizada para a confecção da canaleta no bloco.

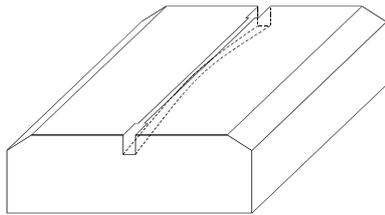


Figura 5. Bloco utilizado como suporte da fibra.

Os resultados desse processo foram canaletas com larguras de $(165 \pm 15) \mu\text{m}$ e profundidades de $(120 \pm 10) \mu\text{m}$.

III.1. ALINHAMENTO DA FIBRA

A utilização de fibra birrefringente, cujo perfil de índice de refração está representado na Fig. 3, requer que os eixos principais das duas fibras que constituem o acoplador estejam alinhados. Caso isto não ocorra, poderá haver acoplamento entre os modos *slow* de uma fibra e *fast* da outra, alterando as características das ondas eletromagnéticas que se propagam.

Buscando a menor perturbação de birrefringência possível, a posição mais indicada é com o eixo maior da elipse de *stress* paralelo à superfície do bloco que será polida, conforme mostra a Fig. 6. Assim, retira-se a menor quantidade possível de material dopante durante o polimento.

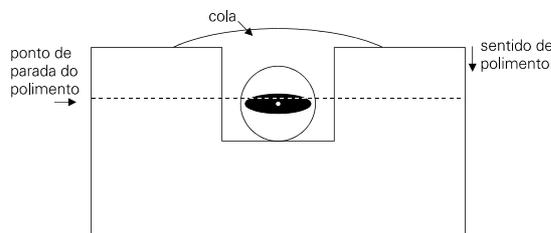


Figura 6. Posição para o alinhamento dos eixos principais de birrefringência em relação à superfície a ser polida.

O método de alinhamento assume a coincidência dos eixos maior e menor da região elipticamente dopada com os eixos de birrefringência. Na região dopada há birrefringência diferencial. Iluminando-se a fibra transversalmente, com ela entre polarizadores cruzados, podemos observar, quando a fibra é girada ao redor de seu eixo longitudinal, a assimetria angular da birrefringência na região elíptica. A Fig. 7 ilustra a

montagem necessária para a implementação do método.

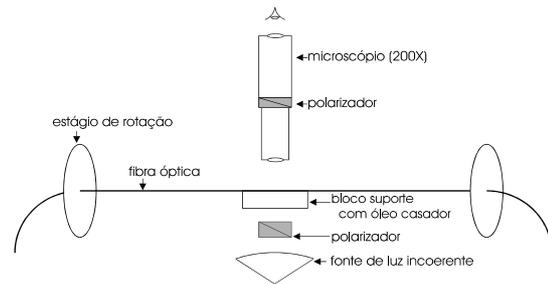


Figura 7. Esquema do arranjo experimental para o alinhamento dos eixos de birrefringência das fibras.

A fibra foi girada utilizando-se dois estágios de rotação motorizados, permitindo localizar visualmente seus eixos principais. A Fig. 8 ilustra as imagens obtidas por esta rotação. Um óleo casador de índice de refração deve embeber a fibra, evitando “efeito lente” devido ao seu formato cilíndrico.

As posições mostradas na Fig. 8 são indefinidas, não dando precisão melhor do que $\pm 10^\circ$ para posicionamentos sucessivos. Logo o alinhamento não é direto e, após exaustiva observação, chegamos a determinação da posição mostrada na Fig. 9 como sendo a de maior precisão e que garante as melhores condições de repetibilidade. Esta última posição pode ser localizada com precisão de $\pm 2^\circ$, isto devido à definição das bordas da região dopada.

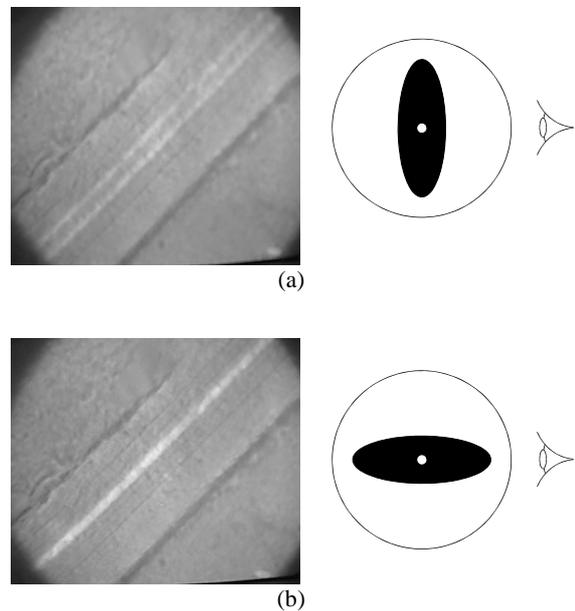


Figura 8. Visualização transversal das fibras: (a) eixo maior perpendicular à luz incidente; (b) eixo menor perpendicular à luz incidente.

Conseguindo determinar a posição da Fig. 9, podemos comandar os estágios de rotação para a posição desejada, uma vez que o passo do motor que o movimenta é conhecido. A fibra é então suspensa do suporte e o óleo remanescente é retirado com a utilização de álcool.

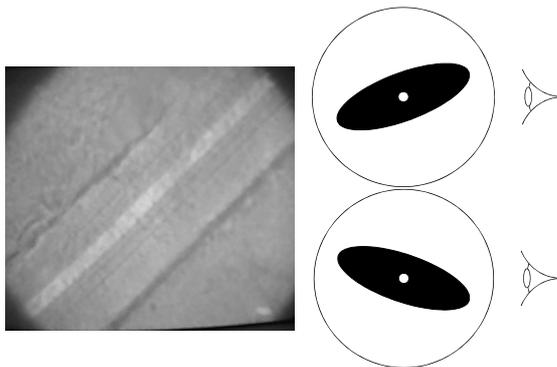


Figura 9. Referência na determinação da posição dos eixos principais da fibra e as duas posições possíveis da fibra.

Posiciona-se, então, um bloco com a canaleta limpa sob a fibra e esta é baixada até que se acomode à curvatura da canaleta. A cola utilizada é curável com luz ultravioleta e antes de aplicá-la deve-se aguardar a fuga de eventuais bolhas de ar. Temos então um “meio-acoplador” a ser polido, conforme a Fig. 6.

III.2. POLIMENTO

Inicialmente, o “meio-acoplador” é fixado a um suporte. Antes do polimento na máquina, é feito um esmerilhamento com carbureto de silício ($17\mu\text{m}$ de diâmetro máximo) para eliminar o excesso de cola. O polimento é realizado com óxido de cério ($0,5\mu\text{m}$ de diâmetro máximo) dissolvido em água ($30\text{g}/\ell$).

O monitoramento do processo é feito com base no tamanho do eixo maior da elipse que se forma devido ao formato cilíndrico da fibra, conforme a Fig.10. Isto é possível devido aos cálculos exatos da razão de acoplamento determinarem a distância a ser estabelecida entre os núcleos [6,38]. Nosso ponto de parada foi calculado para $(9,30\pm 0,05)\text{cm}$ no eixo maior da elipse.

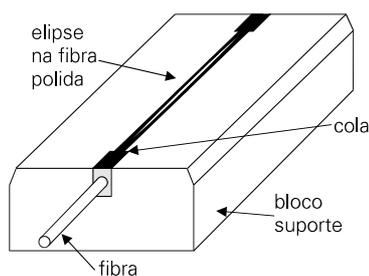


Figura 10. Visualização da elipse que aparece na fibra devido ao polimento.

O aproveitamento foi de 20% das peças, embora a eficiência do processo tenha sido dobrada (era de 10% [39]), e a causa principal deste baixo índice foi a quebra da fibra, durante o esmerilhamento, polimento ou manipulação do “meio-acoplador”. Também ocorreram polimento excessivo e má colagem.

Atualmente, o polimento está sendo realizado paralelamente ao eixo *fast* (90° em relação a Fig. 6) e os resultados têm sido bem melhores, com o índice de

aproveitamento tendo aumentado para 70%. Isto se deve a uma maior resistência da fibra nesta posição, pois há uma maior homogeneidade do material constituinte da casca (baixa dopagem) na região de maior fragilidade (centro da elipse).

A junção de dois destes “meio-acopladores” nos dá um acoplador e o conjunto é montado em um posicionador, o qual permite a fixação de um dos blocos e o deslize do outro comandado por parafusos micrométricos, possibilitando o ajuste da razão de acoplamento desejada.

III.3. CARACTERIZAÇÃO

Muitas são as medidas de parâmetros publicadas na literatura, mas poucos autores revelam a maneira como as medidas foram obtidas. Se luz monocromática for acoplada na fibra com um estado de polarização que excite os dois modos, *fast* e *slow*, a luz transmitida por um analisador fixo na saída da fibra irá variar largamente com parâmetros ambientais, como a temperatura. Isto acontece porque a luz é coerente na saída e ocorrerá interferência, com forte dependência da intensidade detectada com as fases relativas dos modos. Isto também causa uma grande incerteza na localização dos eixos principais da fibra. O problema pode ser sanado usando-se uma fonte faixa larga, de modo que a fibra atua como um depolarizador para luz, excetuando-se os casos em que a luz esteja linearmente polarizada segundo as direções dos eixos principais, evitando que ocorra interferência após o comprimento de depolarização [6].

Utilizamos uma fonte faixa larga (diodo laser superluminescente - SLD- $\lambda_0=820\text{nm}$, $\Delta\lambda=20\text{nm}$), que incide em um polarizador e depois é acoplada a fibra de entrada linearmente polarizada. Na saída da fibra, a luz incide em um analisador e é detectada. Para localizar os eixos principais da fibra, polarizador e analisador são ajustados até que a potência detectada seja mínima. Quando esta condição é alcançada, a polarização de entrada está paralela a um dos eixos principais de birrefringência e a potência detectada (a mínima) é a transmitida através do outro eixo. Girando o analisador em 90° , detectamos a potência acoplada segundo o eixo paralelo à polarização de entrada (máxima). A diferença entre estas duas potências (em dB) nos dá a isolamento de polarização do trecho analisado.

Para medirmos a isolamento de polarização do acoplador, especificamos uma entrada e medimos as duas saídas. Repetimos o processo para os outros três acessos físicos. A isolamento de polarização do dispositivo será dada pelo menor dos 8 valores obtidos, que podem ser diferentes se o dispositivo não for recíproco por qualquer falha ou imperfeição do processo de fabricação.

Os resultados deste processo foram acopladores com isolamento de polarização entre 10 e 15dB, para o caso de polimento segundo o plano paralelo ao eixo *slow*. Protótipos iniciais polidos paralelamente ao eixo *fast* apresentaram isolamento de polarização entre 15 e 22dB.

IV. CONCLUSÃO

A construção de acopladores direcionais a fibra óptica birrefringente, utilizando a técnica de polimento lateral das fibras, foi apresentada. O processo de alinhamento para fibras do tipo *elliptical cladding* mostrou-se repetitivo e preciso ($\pm 2^\circ$). O polimento lateral, segundo um plano paralelo ao eixo *slow*, mostrou-se de baixo aproveitamento (20%), embora a eficiência do processo tenha sido dobrada (era de 10% [39]). Este índice está aumentando sensivelmente para polimento paralelo ao plano do eixo *fast* (70%).

Utilizando uma fonte de espectro largo, um método de caracterização rápido e preciso foi desenvolvido, permitindo a medida da isolamento de polarização sem erros devidos a efeitos residuais de coerência da fonte.

Os acopladores assim construídos e caracterizados atingiram isolamento de polarização de 10 a 15dB, para polimento paralelamente ao eixo *slow*, e 15 a 22dB, paralelamente ao eixo *fast*.

O rendimento poderá melhorar através da utilização de melhores colas disponíveis no mercado internacional.

A sensível melhora no processo de polimento paralelamente ao eixo *fast* e os melhores resultados na isolamento de polarização com os meio-acopladores assim obtidos indica esta posição como a ser adotada daqui para a frente.

Agradecemos ao Ministério da Aeronáutica a oportunidade da divulgação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] COLLIN, R. E. - *Foundations for Microwave Engineering*. Cap. 6. International Student Edition. McGraw-Hill, Tokyo, 1966.
- [2] MARCUSE, D. - *Theory of dielectric optical waveguides*, Academic Press, New York, 1974.
- [3] YARIV, A. - *Optical electronics*, CBS College Publishing, New York, 1985.
- [4] CHEO, P. K. - *Fiber optics & optoelectronics*, 2nd Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1990.
- [5] DIGONNET, M. J. F. - *Passive and active fiber optics components*, PhD Thesis, Stanford University, 1983.
- [6] MATEUS, C. F. R. - *Acoplamento direcional em fibras ópticas monomodais birrefringentes*, Dissertação de Mestrado, ITA, 1997.
- [7] BERGH, R. A.; KOTLER, G.; SHAW, H. J. - Single-mode fiber-optic directional coupler, *Electron. Lett.*, vol. 16, pp. 260-261, 1980.
- [8] PARRIAUX, O., GIDON, S. and KUZNETZOV, A. A. - Distributed coupling on polished single-mode optical fibers, *Applied Optics*, vol. 20, pp. 2420-2423, 1981.
- [9] NAYAR, B. K. and SMITH, D. R. - Monomode-polarization-maintaining fiber directional coupler, *Optics Letters*, vol. 8, pp. 543-545, 1983.
- [10] NICHOLS, S. T. - Automatic manufacture of polished single-mode-fibre directional coupler, *Electron. Lett.*, vol. 21, pp. 825-826, 1985.
- [11] CRYAN, C. V. *et al.* - Fused polished single-mode fibre couplers, *Electron. Lett.*, vol. 28, pp. 204-205, 1992.
- [12] CRYAN, C. V. *et al.* - Fused polished polarisation-maintaining fibre couplers, *Electron. Lett.*, vol. 28, pp. 857-858, 1992.
- [13] DAHLGREN, R.P. - *Studies in polished fiber-optic couplers and resonators*, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1993.
- [14] DAS, A. K. *et al.* - Automatic determination of the remaining cladding thickness of single-mode fiber half-coupler, *Optics Letters*, vol. 19, pp. 384-386, 1994.
- [15] BURNS, W. K. and ABEBE, M. - Coupling model for fused fiber couplers with parabolic taper shape, *Applied Optics*, vol. 26, pp.4190-4192, 1987.
- [16] STEVENSON, A. J. and BARR, S. A. - Fibre-optic coupler fabrication at AOFR; *International Journal of Optoelectronics*, vol. 6, pp. 127-144, 1991.
- [17] KAWACHI, M. *et al.* - Fabrication of single polarisation single-mode fibre couplers, *Electron. Lett.*, vol. 18, pp. 962-964, 1982.
- [18] YOKOHAMA, I. *et al.* - Polarisation-maintaining fibre couplers with low excess loss, *Electron. Lett.*, vol. 22, pp. 929-930, 1986.
- [19] VILARRUEL, C. A., ABEBE, M. and BURNS, W. K. - Polarisation preserving single-mode-fibre couplers, *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 17-18, 1986.
- [20] ABEBE, M., VILARRUEL, C. A. and BURNS, W. K. - Reproducible fabrication method for polarization preserving single-mode fiber coupler, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 6, pp.1191-1198, 1988.
- [21] DYOTT, R. B. and BELLO, J. - Polarisation holding directional coupler made from elliptically cored fibre having a D section, *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 601, 1983.
- [22] DYOTT, R. B. and SCHRANK, P. F. - Self-locating elliptically cored fibre with an accessible guiding region, *Electron. Lett.*, vol. 18, pp. 980-981, 1982.
- [23] PLEIBEL, W., STOLEN, R. H. and RASHLEIGH, S. C. - Polarization preserving coupler with self aligning birefringent fibres, *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 825-826, 1983.
- [24] PENG, G. D. and CHU, P. L. - Design and fabrication of birefringent splitable composite (BISPEC) fibre for polarisation-maintaining devices, *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 666-667, 1994.
- [25] YE, A. L., PENG, G. D. and CHU, P. L. - New fabrication technique for high performance polarisation maintaining optical fibre couplers, *Electron. Lett.*, vol. 30, pp. 1971-1972, 1994.
- [26] PENG, G. D., YE, A. L. and CHU, P. L. - Birefringent splitable composite (BISPEC) fiber and polarization-maintaining couplers, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, 2013-2019, 1995.
- [27] YOUNGQUIST, R. C. - *Loss and periodic coupling effects in dielectric directional couplers*, PhD Thesis, Stanford University, 1984.
- [28] VANCLOOSTER, R. and PHARISEAU, P. - The Coupling of Two Parallel Dielectric Fibers I, *Physica* 47, North-Holland Publishing Co., pp. 485-500, 1970.
- [29] VANCLOOSTER, R. and PHARISEAU, P. - The Coupling of Two Parallel Dielectric Fibers II, *Physica* 47, North-Holland Publishing Co., pp. 485-500, 1970.

- [30] SNYDER, A. W. - Coupled Mode Theory for Optical Fibers, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 62, nº 11, Nov. 1972.
- [31] MCINTYRE, P. D. and SNYDER, A. W. - Power transfer between optical fibers, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 63, nº 12, Dec. 1973.
- [32] MCINTYRE, P. D. and SNYDER, A. W. - Power transfer between nonparallel and tapered optical fibers, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 64, pp. 285-288, Mar. 1974.
- [33] GLOGE, B - Weakly Guiding Fibers, *Applied Optics* vol 10: 2252-2258, Oct., 1971.
- [34] NODA, J., OKAMOTO, K. and SASAKI, Y. - Polarization-maintaining fibers and their application, *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-4, 1071-1089, 1986.
- [35] CHEN, C. L. - An analysis of high birefringence fibers, *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-5, 53-69, 1987.
- [36] DA SILVA, A .C.; BESCH, G. V. L. e OLIVEIRA, J. E. B. - O Giroscópio a Fibra Óptica, In. *II Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Anais*, ITA, Outubro, 1996.
- [37] ANDREEV, A. T., PANAJOTOV, K. P. and ZAFIROVA, B. S. - Polished fiber-optic coupler with intermediate planar waveguiding layer - Part I, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 10, 882-887, July, 1992.
- [38] MATEUS, C. F. R., *et al.* - Análise de acopladores direcionais a fibra óptica, In. *II Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação, Anais*, ITA, Outubro, 1996.
- [39] VASCONCELOS NETTO, L. C. *et al.* - Processo para fabricação de meio-acopladores em fibras ópticas de 80 μm de diâmetro, *Revista de Física Aplicada e Instrumentação*, vol. 12, 18-21, Março, 1997.

Carlos F. R. Mateus é Capitão Aviador da Força Aérea Brasileira. Graduiu-se Oficial Aviador pela Academia da Força Aérea, em 1987, Engenheiro Eletrônico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA, em 1996, e Mestre em Ciência também pelo ITA, em 1997. Atualmente é pesquisador no Instituto de Estudos Avançados do Centro Técnico Aeroespacial e

suas áreas de interesse concentram-se em óptica guiada, dispositivos passivos a fibra óptica, sensores a fibra óptica e fibras ópticas birrefringentes e dispositivos optoeletrônicos.

e-mail: mateus@ieav.cta.br

André C. da Silva recebeu o título de Doctor of Philosophy, Electrical Engineering, pelo Departamento de Engenharia Elétrica e Computação da *University of Colorado at Boulder*, em 1994. Mestre em Engenharia Eletrônica e Engenheiro de Eletrônica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em 1988 e 1984 respectivamente. Integrante do Quadro de Oficiais Engenheiros da Aeronáutica, exerce a função de Pesquisador no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Centro Técnico Aeroespacial desde 1984. É chefe da Subdivisão de Sensores a Fibra Óptica do IEAv. Suas áreas de interesse incluem: materiais, dispositivos e sistemas optoeletrônicos, óptica, fibras ópticas, sensores a fibra óptica, e processamento de sinais.

José Edimar Barbosa Oliveira recebeu o título de Doctor of Philosophy em 1986 pelo Departamento de Engenharia Elétrica da McGill University, Canadá. Mestre em Engenharia Eletrônica pelo Departamento de Circuitos e Microondas do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos e é Engenheiro Elétrico (opção Eletrônica) pela Universidade de Brasília. É professor do Instituto Tecnológico de Aeronáutica desde março de 1977, onde atualmente exerce função de Professor Titular. Tem ministrado diversos cursos em nível de graduação e de pós-graduação nas áreas de microondas e telecomunicações. Nos últimos vinte anos tem atuado intensamente na pesquisa de dispositivo para interação acusticoóptica e eletroóptica para fins de instrumentação e de telecomunicações. O professor Edimar orientou diversas teses em nível de mestrado e doutorado e possui inúmeras publicações em periódicos e congressos nacionais e internacionais.

Endereço para contato: ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica – IEE – Divisão de Engenharia Eletrônica – IEEM – Departamento de Microondas e Optoeletrônica

Tel (012)347.5879 – Fax (012)347.5878

e-mail: edimar@ita.cta.br.