



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0903858-2 B1**



\* B R F I O 9 0 3 8 5 8 B 1 \*

**(22) Data do Depósito: 05/05/2009**

**(45) Data de Concessão: 29/09/2020**

**(54) Título:** FIBRA ÓTICA MONOMODO, CAIXA ÓTICA E SISTEMA DE FIBRA ÓTICA

**(51) Int.Cl.:** G02B 6/036.

**(30) Prioridade Unionista:** 06/05/2008 FR 08 02503; 06/11/2008 US 61/112,006; 30/09/2008 US 61/101,337.

**(73) Titular(es):** DRAKA COMTEQ B.V..

**(72) Inventor(es):** LOUIS-ANNE DE MONTMORILLON; SIMON RICHARD; DENIS MOLIN; MARIANNE BIGOT-ASTRUC; PIERRE SILLARD; DAVID BOIVIN.

**(57) Resumo:** FIBRA ÓTICA MONOMODO, CAIXA ÓTICA E SISTEMA DE FIBRA ÓTICA. A presente invenção refere-se a uma fibra ótica monomodo que inclui, do centro para a periferia, um núcleo central, uma casca intermediária, uma depressão e uma casca ótica externa. O núcleo central tem um raio  $r_1$  e uma diferença de índice positiva  $n_1$  com a casca ótica; a casca intermediária tem um raio  $r_2$  e uma diferença de índice positiva  $n_2$  com a casca ótica, em que  $n_2$  é menor do que a diferença de índice  $n_1$  do núcleo. A depressão tem um raio  $r_3$  e uma diferença de índice negativa  $n_3$  com a casca ótica. A fibra ótica tem um diâmetro do campo modal (MFD) entre  $8,6 \times 10^{-9}$  m e  $9,5109 \times 10^{-9}$  m em um comprimento de onda de 1310 nanômetros e para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, a fibra tem perdas por curvatura menores do que  $0,25 \times 10^{-3}$  dB/curva para um raio de curvatura de 15 milímetros. O comprimento de fibra requerido para a atenuação do modo LPI 1 para alcançar 19,3 dB em um comprimento de onda de 1260 nanômetros é menor do que 90 metros. Essa fibra pode ser usada em um ambiente difícil, como caixas óticas miniaturizadas.

## FIBRA ÓTICA MONOMODO, CAIXA ÓTICA E SISTEMA DE FIBRA ÓTICA

### CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se ao campo de transmissões de  
5 fibras óticas e, mais especificamente, a uma fibra tendo perdas por curvatura grandemente reduzidas.

### ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

Para fibras óticas, o perfil do índice de refração é apresentado, em geral, em termos da diferença em valor entre dois pontos no gráfico da  
10 função associando o índice de refração com o raio da fibra. Convencionalmente, a distância  $r$  até o centro da fibra é mostrada ao longo do eixo de  $x$  do perfil. A diferença entre o índice de refração na distância  $r$  e o índice de refração da casca de fibra externo é mostrada ao longo do eixo de  $y$  (figura 2, referências 21 - 24). A casca externa funciona como uma casca ótica e  
15 tem um índice de refração substancialmente constante; essa casca ótica é composta, em geral, de sílica pura, mas também pode conter um ou mais dopantes. O perfil de índice de refração de fibra ótica é referido como um perfil em "degrau", um perfil "trapezoidal ou um perfil "triangular" para gráficos tendo as respectivas formas de um degrau, um trapézio ou um triângulo.  
20 Essas curvas, em geral, são representativas do perfil do índice de refração teórico ou de referência (isto é, perfil estabelecido) da fibra. As restrições de fabricação de fibra podem levar a um perfil ligeiramente diferente na fibra real.

Uma fibra ótica é composta, convencionalmente, de (i) um núcleo ótico, tendo a função de transmitir e, opcionalmente, amplificar um sinal  
25 ótico; e (ii) uma casca ótica, tendo a função de confinar o sinal ótico no núcleo. Com essa finalidade, os índices de refração do núcleo ( $n_c$ ) e da casca ( $n_g$ ) são tais que  $n_c > n_g$ . Como é bem conhecido na técnica, a propagação de um sinal ótico em uma fibra ótica monomodo é interrompida em um modo  
30 fundamental (conhecido como LPO1) com orientação no núcleo e em modos secundários com orientação através de um certo raio no conjunto núcleo - casca.

De modo convencional, fibras de índice degrau, também chamadas fibras SMF ("Fibras monomodo") são usadas como fibras de linha para sistemas de transmissão de fibra ótica. Essas fibras mostram uma dispersão cromática e uma inclinação de dispersão cromática correspondendo a padrões de telecomunicações específicos.

Para as exigências de compatibilidade entre os sistemas óticos de diferentes fabricantes, a International Telecommunication Union (ITU) definiu um padrão com uma norma, referenciada ITU-T G.652, que deve ser satisfeita por uma Standard Single Mode Fiber (SSMF - Fibra monomodo Padrão).

Esse padrão G.652 para fibras de transmissão recomenda *inter alia* uma faixa de 8,6 microns a 9,5 microns para o Mode Field Diameter (MFD - Diâmetro de Campo Modal) em um comprimento de onda de 1310 nanômetros; um máximo de 1260 nanômetros para o comprimento de onda de corte do cabo; uma faixa de 1300 nanômetros a 1324 nanômetros para o comprimento de onda de cancelamento de dispersão (denotado  $\lambda_0$ ); e uma inclinação de dispersão cromática máxima de 0,092 ps/(nm<sup>2</sup>·km) (isto é, ps/nm<sup>2</sup>/km).

O comprimento de onda de corte do cabo é medido, convencionalmente, como o comprimento de onda em que o sinal ótico não é mais de modo único após a propagação através de 22 metros de fibra, tal como definido por Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. Na maioria dos casos, o modo secundário mais resistente às perdas por curvatura é o modo LP<sub>11</sub>. O comprimento de onda de corte do cabo é, portanto, o comprimento de onda além do qual o modo LP<sub>11</sub> é enfraquecido, suficientemente, após propagação através de 22 metros de fibra. O método proposto pelo padrão envolve a consideração de que o sinal ótico é de modo único quando a atenuação do modo LP<sub>11</sub> é maior do que ou igual a 19,3 dB.

Além disso, para uma dada fibra, um chamado valor MAC é definido como a relação do diâmetro do campo modal da fibra em 1550 nanômetros sobre o comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$ . O comprimen-

to de onda de corte é medido, convencionalmente, como o comprimento de onda em que o sinal ótico não é mais de modo único após a propagação através de dois metros de fibra, como definido por Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. O

5 MAC constitui um parâmetro para avaliar os desempenhos da fibra, em particular para descobrir um compromisso entre o diâmetro do campo modal, o comprimento de onda de corte efetivo e as perdas por curvatura.

O pedido de patente europeu Nº 1.845.399 e pedido de patente europeu Nº 1.785.754 ilustram os resultados experimentais do Requerente.

10 Esses pedidos anteriores estabelecem uma relação entre o valor do MAC em um comprimento de onda de 1550 nanômetros e as perdas por curvatura em um comprimento de onda de 1625 nanômetros com um raio de curvatura de 15 milímetros em uma SSMF de fibra de índice degrau padrão. Cada um desses pedidos de patente europeus é aqui incorporado através de referên-

15 cia em sua totalidade. Além disso, cada pedido estabelece que o valor do MAC influencia as perdas por curvatura da fibra e que a redução do MAC reduz essas perdas por curvatura. A redução do diâmetro do campo do modo e/ou aumento do comprimento de onda de corte efetivo reduz o valor de MAC, mas pode levar à não concordância com o padrão G.652, tornando a

20 fibra comercialmente incompatível com alguns sistemas de transmissão.

A redução das perdas por curvatura, ao mesmo tempo em que mantém certos parâmetros de transmissão ótica constitui um desafio para aplicações de fibras destinadas aos sistemas de fibras óticas para o usuário, chamadas FTTH para *Fiber-To-The-Home*.

25 A International Telecommunications Union ITU também definiu padrões referenciados ITU-T G.657A e ITU-T G.657B, que devem ser satisfeitos pelas fibras óticas destinadas às aplicações de FTTH, particularmente em termos de resistência às perdas por curvatura. O padrão G.657A impõe limites sobre os valores para perdas por curvatura, mas busca, acima de tudo, preservar a compatibilidade com o padrão G.652, particularmente em

30 do, preservar a compatibilidade com o padrão G.652, particularmente em termos de diâmetro do campo do modo MFD e dispersão cromática. Por outro lado, o padrão G.657B impõe limites estritos para as perdas por curvatu-

ra, particularmente para (i) perdas por curvatura menores do que 0,003 db/ curva em um comprimento de onda de 1550 nanômetros para um raio de curvatura de 15 milímetros e (ii) perdas por curvatura menores do que 0,01 dB/ curva, em um comprimento de onda de 1625 nanômetros para um raio de curvatura de 15 milímetros.

O pedido de patente europeu Nº 1.845.399 e o pedido de patente europeu Nº 1.785.754 propõem perfis de fibras tendo perdas por curvatura limitadas, correspondendo, em particular, aos critérios dos padrões G.657A e G.657B. Os perfis descritos nesses pedidos de patente europeus, porém, tornam possível obter apenas os limites de perdas por curvatura impostos pelo padrão G.657B.

A patente norte-americana Nº 7.164.835 e a Publicação de Pedido de Patente Nº 2007/0147 756, cada uma das quais é aqui incorporada através de referência em sua totalidade, também descrevem perfis de fibras mostrando perdas por curvatura limitadas. As fibras dessas patentes norte-americanas, contudo, correspondem apenas aos critérios dos padrões G.657A e G.657B, particularmente em termos de diâmetro do campo do modo e dispersão cromática.

No presente, para certas aplicações, a redução das perdas por curvatura é essencial, especialmente quando a fibra é destinada a ser grampeada ou enrolada em uma caixa ótica miniaturizada.

A tecnologia da fibra auxiliada por furo torna possível obter excelentes desempenhos em termos de perdas por curvatura, mas essa tecnologia é complexa e cara para implementar e não pode ser usada para fibras destinadas aos sistemas de FTTH, que são sistemas de baixo custo.

Portanto, existe uma necessidade de uma fibra ótica tendo uma resistência às perdas por curvatura, que seja claramente melhor (por exemplo, uma ordem de dez vezes melhor) do que os limites impostos pelo padrão G.657B. A fibra que satisfaz esse critério também deverá permanecer compatível com o padrão G.652 em termos de perfil de transmissão e, em particular, diâmetro do campo do modo. Esse aperfeiçoamento apreciável de perdas por curvatura pode ser obtido em detrimento de um comprimento de

onda de corte mais alto, desde que (i) o modo de LP11 de ordem diretamente mais alta seja atenuado suficientemente; e (ii) que o comprimento de fibra requerido para a atenuação do modo de LP11 para alcançar 19,3 dB em um comprimento de onda de 1260 nanômetros seja menor do que 90 metros.

## 5 SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Para os fins descritos acima, a invenção inclui uma fibra com um núcleo central, uma casca intermediária e uma depressão. O perfil do índice de refração é otimizado para aperfeiçoar as perdas por curvatura por um fator de dez em relação às restrições impostas pelo padrão G.657B, ao mesmo tempo em que mantém um diâmetro do campo do modo compatível com o padrão G.652 e que assegura uma atenuação suficiente do modo LP11.

Em particular, a superfície do núcleo, bem como a superfície e o volume da depressão, são otimizados para aperfeiçoar as perdas por curvatura, consideravelmente. No contexto da invenção, a superfície do núcleo ou a superfície da depressão não deverão se estender geometricamente, mas deverão corresponder a valores que levam em consideração duas dimensões - o produto do raio e a diferença de índice.

Similarmente, o volume da depressão corresponde a um valor levando em consideração três dimensões - o produto do quadrado do raio e a diferença de índice.

A invenção propõe, mais particularmente, uma fibra ótica monomodo, incluindo, a partir do centro até a periferia, um núcleo central, uma casca intermediária, uma depressão e uma casca ótica externa. O núcleo central tem um raio  $r_1$  e uma diferença de índice positiva  $\Delta n_1$  com a casca ótica externa. A casca intermediária tem um raio  $r_2$  e uma diferença de índice positiva  $\Delta n_2$  com a casca ótica externa. A diferença  $\Delta n_2$  é menor do que a diferença de índice  $\Delta n_1$  do núcleo. A depressão tem um raio  $r_3$  e uma diferença de índice negativa  $\Delta n_3$  com a casca ótica externa. A fibra da presente invenção é ainda caracterizada pelo fato de ter (i) um diâmetro do campo do modo (MFD) entre  $8,6 \mu\text{m}$  e  $9,5 \mu\text{m}$  em um comprimento de onda de 1310 nanômetros; e (ii) perdas por curvatura menores do que  $0,25 \times 10^{-3}$  dB/curva

para um raio de curvatura de 15 milímetros e um comprimento de onda de 1550 nanômetros. O comprimento da fibra requerido para a atenuação do modo LP11 para alcançar 19,3 dB em um comprimento de onda de 1260 nanômetros é menor do que 90 metros.

- 5 De acordo com uma modalidade de uma fibra de acordo com a presente invenção, a superfície integral do núcleo central ( $V_{01}$ ), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

está entre  $20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$

A integral superfície da depressão ( $V_{03}$ ), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

- 10 está entre  $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ .

O integral volume de depressão ( $V_{13}$ ), definida como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

está entre  $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  e  $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

- Em modalidades preferidas, a fibra tem propriedades físicas e parâmetros operacionais com resistência aperfeiçoada às perdas por curvatura. Por exemplo, a fibra tem um comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$  maior do que 1350 nanômetros, o comprimento de onda de corte efetivo sendo medido como o comprimento de onda em que o sinal óptico se torna de modo único após propagação através de dois metros de fibra. A fibra tem, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, as perdas por curvatura menores do que ou iguais a  $7,5 \times 10^{-3}$  dB/curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, perdas por curvatura menores ou iguais a 0,05 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros e perdas por curvatura de menos do que 0,15 dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

- 25 A fibra aqui divulgada também mostra perdas por curvatura reduzidas em comprimentos de onda mais altos. Por exemplo, em um comprimento de onda de 1625 nanômetros, a fibra tem perdas por curvatura menores do que  $1,5 \times 10^{-3}$  dB/ curva para um raio de curvatura de 15 milímetros,

perdas por curvatura menores do que ou igual a  $25 \times 10^{-3}$  dB/ curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,08 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros e perdas por curvatura menores do que 0,25 dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros. Em um comprimento de onda de 1550 nanômetros, a fibra tem perdas por curvatura menores do que ou igual a 0,05 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros.

Em consequência, em uma modalidade preferida, a fibra tem um comprimento de onda de corte entre 1300 nanômetros e 1400 nanômetros, com o comprimento de onda de corte medido como um comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através de 5 metros de fibra. O comprimento de onda de corte é distinguido do comprimento de onda de corte de cabo, medido como o comprimento de onda em que a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB após a propagação através de 22 metros de fibra. A fibra tem um comprimento de onda de corte do cabo entre 1250 nanômetros e 1300 nanômetros.

Uma terceira medição na presente questão é o comprimento de onda de corte teórico medido como o comprimento de onda do qual o modo LP11 é propagado no modo vazante. Em uma modalidade, a fibra tem um comprimento de onda de corte teórico menor do que ou igual a 1250 nanômetros. A fibra tem uma atenuação do modo LP11 maior do que 5 dB após propagação através de 22 metros de fibra em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Os parâmetros operacionais descritos acima resultam de propriedades físicas preferidas da fibra. Em uma modalidade, o núcleo central da fibra tem um raio entre  $3,8 \mu\text{m}$  e  $4,35 \mu\text{m}$ ; a casca intermediária tem um raio entre  $8,5 \mu\text{m}$  e  $9,7 \mu\text{m}$ ; a depressão tem um raio entre  $13,5 \mu\text{m}$  e  $16 \mu\text{m}$ , que pode ser menor do que ou igual a  $15 \mu\text{m}$  e o núcleo central tem uma diferença de índice com a casca ótica externa entre  $5,3 \times 10^{-3}$  e  $5,7 \times 10^{-3}$ .

Conforme notado acima, o perfil do índice de refração de uma fibra é plotado em termos da diferença entre valores de índice de refração em pontos no raio da fibra e na casca ótica externa. A casca intermediária

tem uma diferença de índice com a casca ótica entre  $0,1 \times 10^{-3}$  e  $0,6 \times 10^{-3}$ . A depressão tem uma diferença de índice com a casca ótica entre  $-10,0 \times 10^{-3}$  e  $-5,0 \times 10^{-3}$ . A fibra tem um comprimento de onda de dispersão cromática zero entre 1300 nanômetros e 1324 nanômetros; a fibra tem um valor de  
5 inclinação de dispersão cromática no comprimento de onda de dispersão cromática zero de menos do que  $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ .

A invenção também refere-se a uma caixa ótica recebendo pelo menos uma porção da fibra aqui divulgada. Nessa caixa, a fibra pode ser disposta com um raio de curvatura menor do que 15 milímetros, que podem  
10 ser da ordem de 5 milímetros. A invenção também se refere a um sistema de fibra ótica para a casa do assinante (FTTH) compreendendo pelo menos uma porção de fibra de acordo com a invenção.

O precedente, bem como outras características e vantagens da presente invenção e a maneira em que as mesmas são realizadas, são ainda especificadas dentro da descrição detalhada a seguir e seus desenhos  
15 anexos.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A figura 1 representa um corte transversal de uma fibra monomodo com camadas de casca em respectivos raios que se estendem a partir  
20 do centro.

A figura 2 representa o perfil do índice de refração nominal da fibra monomodo exemplificativa da figura 1 de acordo com a presente invenção.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

25 A fibra 10 da invenção tem um núcleo central 11, uma casca intermediária 12 e uma casca com depressão 13. Para as presentes finalidades e sem limitar o escopo da invenção, casca com depressão significa uma porção radial da fibra 10, tendo um índice de refração menor do que o índice da casca ótica externa 14. Tipicamente, o núcleo central 11, a casca intermediária 12 e a casca com depressão 13 são obtidos por deposição química  
30 a vapor em um tubo de sílica. A casca ótica externa 14 inclui o tubo de sílica e a sobre-casca no tubo. Em modalidades preferidas, a sobre-casca, em ge-

ral, é natural ou sílica dopada, mas também pode ser obtida por qualquer outra técnica de deposição (deposição axial a vapor) ("VAD") ou deposição a vapor externa ("OVD").

5 A figura 2 ilustra um perfil do índice de refração para a fibra de transmissão 10 da figura 1. O perfil da figura 2 é um perfil estabelecido, isto é, representativo do perfil teórico da fibra, mas a fibra realmente obtida após o puxamento da fibra a partir de uma pré-forma pode ter um perfil ligeiramente diferente.

10 De maneira conhecida na técnica por si, uma fibra ótica 10 é obtida através do puxamento da pré-forma. À guisa de exemplo, a pré-forma pode ser um tubo de vidro de qualidade muito alta (sílica pura), que eventualmente faz parte da casca ótica externa 14. A casca ótica externa 14 circunda núcleo central 11 e as cascas internas 12, 13 da fibra 10. Esse tubo pode receber, então, uma sobre-casca para aumentar seu diâmetro antes de  
15 seguir com a operação de puxamento da fibra. Para a produção da pré-forma, o tubo, em geral, é montado horizontalmente e sustentado em ambas as extremidades por barras de vidro em um torno mecânico; então, o tubo é girado e aquecido localmente para o processo de deposição que determina a composição da pré-forma. Essa composição determina as características  
20 óticas da futura fibra.

A fibra inclui um grupo central 11, tendo uma diferença de índice  $\Delta n_1$  com uma casca externa 14 funcionando como uma casca ótica. A fibra 10 ainda inclui uma casca intermediária 12 tendo uma diferença de índice  $\Delta n_2$  com a casca ótica externa 14 e uma casca com depressão 13 tendo  
25 uma diferença de índice  $\Delta n_3$  com a casca ótica externa 14. Os índices de refração no núcleo central 11, da casca intermediária 12 e da depressão 13 são substancialmente constantes por todas as suas respectivas larguras, conforme apresentado na figura 12. A figura 1 ilustra que a largura do núcleo 11 é definida por seu raio  $r_1$  e a largura das cascas por seus respectivos raios  
30 externos  $r_2$  e  $r_3$ . A casca ótica externa é denotada como  $r_4$ .

A fim de definir um perfil de índice de refração estabelecido para uma fibra ótica, o valor de índice da casca ótica externa é, em geral, tomado

como uma referência  $n_1$ . Os valores de índice do núcleo central 11, a casca intermediária 12 e da casca com depressão 13 são, então, apresentados na figura 2 como diferenças de índice  $\Delta n_{1,2,3}$ . De um modo geral, a casca ótica externa 14 é composta de sílica, mas essa casca pode ser dopada para aumentar ou reduzir seu índice de refração, por exemplo, para modificar as características de propagação do sinal.

Cada seção de perfil de fibra mostrado na figura 2 (21 - 24) também pode ser definida com base em integrais que ligam as variações de índice com o raio de cada seção da fibra 10. Desse modo, é possível definir três integrais de superfície para a fibra 10 da invenção, representativas da superfície do núcleo  $V_{01}$ , da superfície da casca intermediária  $V_{02}$  e da superfície da depressão  $V_{03}$ . A expressão "superfície" não deve ser compreendida geometricamente, mas corresponde a um valor levando em consideração duas dimensões. Essas três integrais de superfície podem ser expressas como segue:

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) . dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

$$V_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) . dr \approx (r_2 - r_1) \times \Delta n_2$$

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) . dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3 .$$

Similarmente, é possível definir três integrais de volume para a fibra 10 da invenção, representativas do volume do núcleo  $V_{11}$ , do volume da casca intermediária  $V_{12}$  e do volume da depressão  $V_{13}$ . A expressão "Volume" não deve ser compreendida geometricamente, mas corresponde a um valor que leva em conta três dimensões. Essas três integrais de volume podem ser expressas como segue:

$$V_{11} = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) . r . dr \approx r_1^2 \times \Delta n_1$$

$$V_{12} = 2 \cdot \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) . r . dr \approx (r_2^2 - r_1^2) \times \Delta n_2$$

$$V_{13} = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3 .$$

A Tabela I (abaixo) mostra 30 exemplos de perfis de fibras de acordo com as modalidades preferidas da invenção em comparação com três perfis de fibras SSMF e um perfil de fibra correspondente a padrões G.657A e G.657B (denotado como "BIF" para Bend Insensitive Fiber - Fibra insensível à curvatura). O requerente comercializa uma fibra insensível à curvatura tendo uma boa resistência às perdas por curvatura sob a marca comercial BendBrightXS. Os valores nas tabelas correspondem aos perfis estabelecidos para cada fibra.

A primeira coluna da tabela 1 atribui uma referência para cada exemplo; as três colunas seguintes dão os valores correspondentes dos raios do núcleo 11, da casca intermediária 12 e da depressão 13, respectivamente. As três colunas seguintes dão os valores correspondentes das diferenças de índices com a casca ótica externa 14. Os valores de índice são medidos em um comprimento de onda de 633 nanômetros. A tabela 1 também mostra os valores das integrais de superfície e de volume do núcleo 11, na casca intermediária 12 e da depressão 13, conforme definido acima.

TABELA I

	$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$Dn_1$ [ $10^{-3}$ ]	$Dn_2$ [ $10^{-3}$ ]	$Dn_3$ [ $10^{-3}$ ]	$V_{01}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [ $10^3$ ]	$V_{02}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [ $10^3$ ]	$V_{03}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [ $10^3$ ]	$V_{11}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [ $10^3$ ]	$V_{12}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [ $10^3$ ]	$V_{13}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [ $10^3$ ]
BIF	3,93	9,38	14,72	5,26	0,13	-5,01	20,7	0,7	-26,8	81,1	9,4	-645
SSMF1	4,35	13,92		5,00	-0,20		21,8	-1,9	0,0	94,6	-35,0	0
SSMF2	4,51	13,92		5,00	-0,20		22,5	-1,9	0,0	101,5	-34,7	0
SSMF3	4,55	13,92		5,24	-0,20		23,8	-1,9	0,0	108,4	-34,6	0
Ex1	3,97	9,38	14,25	5,56	0,11	-9,74	22,1	0,6	-47,4	87,7	8,3	-1120
Ex2	3,98	8,65	13,83	5,52	0,21	-9,56	22,0	1,0	-49,5	87,3	12,6	-1113
Ex3	4,01	8,95	14,39	5,38	0,20	-9,27	21,6	1,0	-50,4	86,5	13,1	-1177
Ex4	3,98	8,77	13,79	5,56	0,33	-9,25	22,1	1,6	-46,5	87,9	19,9	-1049
Ex5	3,90	8,70	14,31	5,58	0,44	-7,93	21,8	2,1	-44,5	84,8	26,6	-1024
Ex6	4,03	9,17	14,04	5,45	0,21	-9,62	21,9	1,1	-46,8	88,3	14,0	-1087
Ex7	4,04	8,61	14,39	5,56	0,15	-7,05	22,4	0,7	-40,7	90,5	8,7	-937
Ex8	3,83	8,94	13,92	5,69	0,52	-8,51	21,8	2,6	-42,4	83,7	33,8	-969
Ex9	4,01	8,97	14,39	5,38	0,39	-8,45	21,6	1,9	-45,8	86,4	25,1	-1071
Ex10	3,84	9,30	14,38	5,49	0,48	-9,38	21,1	2,6	-47,7	81,0	34,2	-1129
Ex11	3,82	9,01	13,55	5,67	0,57	-9,63	21,7	2,9	-43,7	82,8	37,7	-986
Ex12	4,03	8,84	14,28	5,30	0,11	-9,52	21,3	0,5	-51,8	85,9	6,6	-1197
Ex13	3,96	8,61	13,86	5,58	0,31	-7,87	22,1	1,4	-41,3	87,6	17,9	-928
Ex14	3,92	8,78	13,84	5,55	0,32	-8,75	21,7	1,5	-44,3	85,2	19,7	-1002
Ex15	3,88	9,09	14,35	5,62	0,34	-7,84	21,8	1,8	-41,2	84,5	23,1	-965

TABELA I continuação

	$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$Dn_1$ [10 <sup>-3</sup> ]	$Dn_2$ [10 <sup>-3</sup> ]	$Dn_3$ [10 <sup>-3</sup> ]	$V_{01}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [10 <sup>1</sup> ]	$V_{02}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [10 <sup>1</sup> ]	$V_{03}$ ( $\mu\text{m}^3$ ) [10 <sup>1</sup> ]	$V_{11}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [10 <sup>1</sup> ]	$V_{12}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [10 <sup>1</sup> ]	$V_{13}$ ( $\mu\text{m}^2$ ) [10 <sup>1</sup> ]
Ex16	4,02	9,65	14,35	5,37	0,14	-9,72	21,6	0,8	-45,7	86,7	10,6	-1097
Ex17	4,01	9,19	14,39	5,32	0,36	-8,74	21,3	1,9	-45,4	85,6	24,9	-1072
Ex18	3,93	9,30	14,48	5,30	0,51	-7,76	20,8	2,7	-40,1	81,7	36,0	-955
Ex19	3,93	9,26	13,53	5,34	0,51	-9,74	21,0	2,7	-41,6	82,3	36,0	-949
Ex20	3,93	9,25	13,53	5,31	0,50	-9,93	20,8	2,7	-42,5	81,9	35,3	-967
Ex21	3,93	9,28	14,47	5,31	0,53	-7,51	20,9	2,8	-39,0	82,0	37,5	-926
Ex22	3,93	8,50	15,00	5,48	0,50	-5,00	21,5	2,3	-32,5	84,6	28,4	-764
Ex23	3,93	9,25	13,65	5,37	0,50	-9,90	21,1	2,7	-43,5	83,0	35,1	-997
Ex24	3,93	8,50	15,50	5,33	0,51	-5,00	21,0	2,3	-35,0	82,4	28,8	-840
Ex25	3,93	9,27	13,65	5,31	0,52	-9,80	20,9	2,8	-42,9	82,1	36,9	-983
Ex26	3,94	8,50	15,00	5,43	0,50	-5,00	21,4	2,3	-32,5	84,3	28,6	-764
Ex27	3,94	9,25	13,54	5,30	0,56	-9,87	20,9	3,0	-42,3	82,3	39,2	-964
Ex28	3,94	9,26	13,50	5,33	0,51	-9,88	21,0	2,7	-41,9	82,8	35,5	-954
Ex29	3,95	9,29	13,91	5,30	0,50	-8,93	20,9	2,7	-41,2	82,6	35,4	-957
Ex30	3,93	8,50	15,50	5,32	0,57	-5,00	20,9	2,6	-35,0	82,1	32,2	-840

A fibra 10 de acordo com a invenção é uma fibra de índice de grau compreendendo núcleo central 11, uma casca intermediária 2 e uma depressão 13. Deve ser notado da tabela 1 que o núcleo central 11 tem um raio  $r_1$  entre  $3,8 \mu\text{m}$  e  $4,35 \mu\text{m}$  e, de preferência, entre  $3,8 \mu\text{m}$  e  $4,05 \mu\text{m}$ , isto é, mais estreito do que o núcleo de uma fibra SSMF. A fibra 10 tem uma diferença de índice  $\Delta n_1$  21 com a casca ótica externa 14 entre  $5,3 \times 10^{-3}$  e  $5,7 \times 10^{-3}$ , isto é, maior do que em uma fibra SSMF. A integral de superfície do núcleo  $V_{01}$  está entre  $20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ , e a integral de volume do núcleo  $V_{11}$  está entre  $81 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  e  $91 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

Deve ser notado também da tabela 1 que a fibra de acordo com a invenção tem uma depressão 13. A depressão 13 tem um grande volume e torna possível limitar grandemente as perdas por curvatura. A tabela 1, mostra assim que a depressão 13 tem um raio  $r_3$  entre  $13,5 \mu\text{m}$  e  $16 \mu\text{m}$  e uma diferença de índice  $\Delta n_3$  23 com a casca ótica externa 14 entre  $-10,0 \times 10^{-3}$  e  $-5,0 \times 10^{-3}$ .

A tabela 1 também mostra que a integral de superfície da depressão  $V_{03}$ , conforme definido acima, está entre  $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e a integral de volume da depressão  $V_{13}$ , conforme definido acima, está entre  $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  e  $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

De acordo com uma modalidade preferida, o raio da casca com depressão  $r_3$  pode estar limitado a  $15 \mu\text{m}$ , a fim de reduzir ainda o custo de produção da fibra (apenas os exemplos 24 e 30) têm uma casca com depressão, com raio maior do que  $15 \mu\text{m}$ . De fato, a depressão 13 pode ser produzido por deposição química a vapor de plasma (PCVD), tornando possível incorporar uma grande quantidade de flúor na sílica para formar cascas com depressões profundas. A parte da fibra 10 que corresponde ao tubo e à deposição PCVD, porém, é a mais cara; portanto, busca-se limitar essa parte tanto quanto possível. Também é possível considerar a produção da depressão 13 através de incorporação de microfuros ou microbolhas em lugar de flúor dopado. O flúor dopado, porém, permanece mais fácil de controlar a produção industrial do que a incorporação de micro-bolhas.

Uma depressão 13, que corresponde aos critérios de superfície

e de volume, definidos acima, torna possível obter um bom compromisso entre perdas por curvatura grandemente reduzidas em relação às fibras existentes e um regime de vazamento suficientemente consistente do modo LP11 em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

5                    Como está claro da Tabela IV, que é discutida em detalhes aqui depois, a fibra de acordo com a invenção tem perdas por curvatura que são dez vezes (10x) menores do que os limites impostos pelo padrão G.657B. Por outro lado, a fibra de acordo com a invenção não está rigorosamente em conformidade como o padrão G.657, em termos de comprimento de onda de corte. Como está claro da tabela III, que também é discutida em detalhes aqui depois, a fibra de acordo com a invenção de um comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$  maior do que 1350 nanômetros um comprimento de onda de corte de cabo  $\lambda_{\text{cc}}$  entre 1250 nanômetros e 1300 nanômetros. Não obstante, a fibra aqui divulgada assegura que modos LP11 de ordem superior são propagados no regime de vazamento de modo de 1260 nanômetros.

15                    Também deve ser notado da tabela 1 que uma modalidade preferida da fibra tem uma casca intermediária 12 entre o núcleo central 11 e a depressão 13. Esta casca intermediária 12 torna possível limitar os efeitos da depressão 13 sobre a propagação do sinal ótico no núcleo. A tabela 1 mostra que a casca intermediária 12 tem um raio  $r_2$  entre 8,5  $\mu\text{m}$  e 9,7  $\mu\text{m}$  e uma diferença de índice  $\Delta n_2$  22 com a casca ótica entre  $0,1 \times 10^{-3}$  e  $0,6 \times 10^{-3}$ . A tabela I mostra que a integral de superfície da casca intermediária  $V_{02}$ , como definido acima, está entre  $0,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $3,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ . A integral de volume da casca intermediária  $V_{12}$ , como definida acima, está entre  $6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  e  $4 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ .

25                    O núcleo central 11 de uma fibra 10 de acordo com a invenção é otimizado, em combinação com a casca intermediária 12 para garantir parâmetros de transmissão ótica na fibra em conformidade com os padrões G.652 e G.657A, particularmente em termos de diâmetro do campo do modo e dispersão cromática. Isso também ajuda a segurar a compatibilidade com as fibras de outros sistemas óticos.

30                    A Tabela II abaixo mostra as características de transmissão ótica

para fibras de acordo com a invenção. A primeira coluna repete as referências da tabela 1. As colunas seguintes proporcionam, para cada perfil de fibra, os valores de diâmetro do campo do modo (MFD) para comprimentos de onda de 1310 nanômetros e 1550 nanômetros, comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDW) e inclinação de dispersão zero (ZDS).

Tabela 2

	<b>MFD1310 (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>MFD1550 (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>ZDW (nm)</b>	<b>ZDS <math>\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})</math></b>
BIF	8,80	9,90	1320	0,0878
SSMF1	9,14	10,31	1314	0,0855
SSMF2	9,27	10,39	1309	0,0871
SSMF3	9,18	10,25	1306	0,088
Ex1	8,63	9,62	1314	0,0899
Ex2	8,64	9,56	1308	0,0924
Ex3	8,76	9,71	1310	0,0918
Ex4	8,69	9,63	1309	0,0921
Ex5	8,68	9,66	1313	0,0914
Ex6	8,76	9,73	1310	0,0913
Ex7	8,66	9,58	1307	0,0916
Ex8	8,64	9,65	1317	0,0904
Ex9	8,86	9,84	1311	0,0918
Ex10	8,76	9,81	1319	0,0901
Ex11	8,67	9,68	1317	0,0908
Ex12	8,75	9,69	1308	0,0923
Ex13	8,65	9,59	1310	0,0917
Ex14	8,66	9,62	1312	0,0914
Ex15	8,64	9,65	1317	0,0897
Ex16	8,79	9,81	1314	0,0898
Ex17	8,89	9,90	1312	0,0913
Ex18	8,95	10,01	1317	0,0905
Ex19	8,91	9,94	1315	0,0913
Ex20	8,92	9,95	1315	0,0914
Ex21	8,96	10,02	1317	0,0905
Ex22	8,80	9,81	1314	0,0906
Ex23	8,89	9,91	1315	0,0913
Ex24	8,88	9,91	1314	0,0909
Ex25	8,94	9,97	1315	0,0914
Ex26	8,83	9,84	1313	0,0908
Ex27	8,97	10,00	1314	0,0917
Ex28	8,93	9,95	1314	0,0915
Ex29	8,95	9,99	1315	0,0911
Ex30	8,92	9,95	1314	0,0911

Deve ser notado da tabela 2 que a fibra 10 de acordo com a invenção é compatível com fibras que correspondem aos critérios do padrão G.652. Em particular, a fibra aqui divulgada tem um diâmetro de campo modal MFD na faixa padronizada de valores de 8,6  $\mu\text{m}$  a 9,5  $\mu\text{m}$ , em 1310 nanômetros, um comprimento de onda de dispersão zero entre 1300 nanômetros e 1324 nanômetros e uma inclinação de dispersão erro de menos do que 0,092 ps/(nm<sup>2</sup>·km). Cada um desses valores está de acordo com o padrão G.652.

Por outro lado, conforme mostrado pela Tabela III (abaixo), a fibra tem um comprimento de onda de corte  $\lambda_{\text{ceff}}$  efetivo maior do que 1350 nanômetros. Como discutido acima, o comprimento de onda de corte é medido como sendo o comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através de dois metros de fibra, tal como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-44. Este valor de comprimento de onda de corte efetivo aumentado conduz a um valor de comprimento de onda de corte de cabo  $\lambda_{\text{cc}}$  entre 1250 nanômetros e 1300 nanômetros. O comprimento de onda de corte do cabo é medido como o comprimento de onda no qual o sinal ótico não está mais em modo único após a propagação através de 22 metros de fibra, como definido pelo subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. O sinal ótico é de modo único quando a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB. Os padrões G.652 e G.657 impõem um valor máximo de 1260 nanômetros para o comprimento de onda de corte do cabo.

Uma finalidade dos desenvolvimentos aqui divulgados é produzir fibras que podem ser usadas em todas as larguras de banda de transmissão exploradas por sistemas óticos, isto é, fibras que podem ser usadas em propagação de modo único a partir da largura de banda original (OB), que se estende de 1260 nanômetros até 1360 nanômetros e até a largura de banda ultralonga (UL) além de 1625 nanômetros. Um comprimento de onda de corte baixo torna possível garantir a possibilidade de uso da fibra através de todas as larguras de banda disponíveis.

As simulações da Tabela III (abaixo), porém, mostram que o modo de LP11 de ordem diretamente superior é propagado de acordo com um modo vazante a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros. A fibra aqui divulgada pode, portanto, ser usada em transmissão de modo  
5 único através da largura de banda original (OB: 1260 nanômetros a 1360 nanômetros).

A Tabela III (abaixo) mostra diversos valores de comprimentos de onda de corte para fibras de acordo com a invenção. A primeira coluna da Tabela III repete as referências da Tabela I.

10 A coluna "Corte de Fibra Teórico" proporciona um valor teórico de comprimento de onda de corte, que corresponde ao comprimento de onda de transição entre uma propagação guiada do modo LP11 e uma propagação em modo vazante desse modo LP11. Para trabalhar comprimentos de onda além desse comprimento de onda de corte efetivo, o modo LP11 é  
15 propagado em modo vazante.

A coluna "Corte de Fibra Padrão" corresponde ao comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$  como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44.

20 A coluna "Corte de Fibra de 5m" corresponde ao comprimento de onda de corte medido como o comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após propagação através de 5 metros de fibra em lugar de 2 metros de fibra.

25 A coluna "Corte de Cabo Padrão" corresponde ao comprimento de onda de corte do cabo  $\lambda_{\text{cc}}$  como definido pelo Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44. De acordo com a recomendação do Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44, o comprimento de onda de corte do cabo  $\lambda_{\text{cc}}$  é determinado pelo posicionamento da fibra em dois  
30 laços de 40 milímetros de raio e pela disposição do restante da fibra (isto é, 21,5 metros de fibra) em um mandril com um raio de 140 milímetros.

A coluna "Corte de Cabo Reto" corresponde ao comprimento de onda de corte de cabo pelo posicionamento da fibra em dois laços, cada um

tendo um raio de 40 milímetros e pela disposição do restante da fibra (isto é, 21,5 metros de fibra) virtualmente reta.

5 A coluna "LP11 LL LL @ 1260 nm após 22 mm" indica as fendas por vazamento do modo LP11 após a propagação através de 22 metros da fibra virtualmente reta.

10 A coluna "Comprimento - 19,3 dB LP11 LL @1260 nm" indica o comprimento da fibra requerido para obter perdas por vazamento do modo LP11 igual a 19,3 dB, com a fibra sendo mantida virtualmente reta. Isso indica em que distância a fibra, disposta virtualmente reta, está no modo único dentro do significado dos padrões G.652 e G.657.

TABELA III

	corte de fibra (teoria)	corte de fibra padrão	corte de fibra de 5 m	corte de ca- bo padrão	corte de cabo reto	LP11 LL @1260 nm Depois 22 mm	Comprimento - 19,3 dB LP11 LL@1260 nm
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(dB)	(m)
BIF	1197	1270	1234	1196	1208	180	2
SSMF1	1287	1226	1226	1151	1151	2	212
SSMF2	1334	1267	1267	1188	1188	0	>1000
SSMF3 Ex1	1381	1311	1311	1231	1231	0	>1000
Ex1	1235	1437	1366	1290	1284	9	48
Ex2	1231	1438	1368	1287	1284	9	45
Ex3	1228	1466	1392	1297	1301	7	61
Ex4	1250	1420	1354	1290	1283	6	69
Ex5	1243	1419	1353	1287	1280	10	44
Ex6	1246	1430	1361	1292	1285	8	56
Ex7	1248	1403	1343	1284	1278	8	52
Ex8	1249	1386	1326	1274	1270	11	40
Ex9	1250	1436	1367	1297	1291	5	89
Ex10	1233	1435	1362	1287	1280	10	42
Ex11	1250	1379	1321	1271	1268	10	41
Ex12	1213	1467	1393	1300	1298	9	48
Ex13	1243	1383	1323	1271	1266	16	27
Ex14	1232	1397	1333	1271	1265	16	26
Ex15	1239	1392	1331	1272	1267	15	28
Ex16	1234	1424	1354	1283	1277	11	39
Ex17	1244	1429	1360	1291	1284	9	49
Ex18	1242	1382	1322	1268	1264	18	24

TABELA III

	corte de fibra (teoria)	corte de fibra padrão	corte de fibra de 5 m	corte de ca- bo padrão	corte de cabo reto	LP11 LL @1260 nm Depois 22 mm	Comprimento - 19,3 dB LP11 LL@1260 nm
	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(nm)	(dB)	(m)
Ex19	1243	1360	1304	1257	1258	26	16
Ex20	1238	1362	1305	1256	1255	24	17
Ex21	1247	1376	1319	1267	1266	15	28
Ex22	1249	1351	1302	1259	1262	18	23
Ex23	1246	1378	1319	1268	1264	17	25
Ex24	1235	1373	1317	1264	1260	18	24
Ex25	1243	1371	1313	1263	1260	22	20
Ex26	1247	1350	1300	1257	1260	22	19
Ex27	1248	1367	1310	1263	1263	17	25
Ex28	1245	1362	1306	1259	1259	24	18
Ex29	1244	1371	1314	1264	1260	20	21
Ex30	1240	1375	1319	1267	1263	17	24

É notado da Tabela III que o comprimento de onda de corte efetivo padrão  $\lambda_{ceff}$ , isto é, conforme medido de acordo com as recomendações do Subcommittee 86A da International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-1-44 é maior do que 1350 nm. Similarmente, é notado da

5 Tabela III que o comprimento de onda de corte de cabo padrão  $\lambda_{cc}$ , isto é, conforme medido de acordo com as recomendações do Subcommittee 86A do International Electrotechnical Commission no padrão IEC 60793-44, está entre 1250 nanômetros e 1300 nanômetros, isto é, frequentemente maior do que o limite de 1260 nanômetros, imposto pelos padrões G.652 e G.657.

10 Porém, é observado da Tabela III que o modo LP11 não obstante, é altamente atenuado a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros. De fato, o comprimento de onda de corte "teórico" é menor do que ou igual a 1250 nanômetros. Desse modo, o modo LP11 de ordem superior é propagado em um regime de modo vazante na largura de banda original e

15 apenas o modo fundamental permanece guiado na fibra da invenção como de um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Similarmente, é notado da Tabela III que o comprimento de onda de corte de fibra é reduzido, significativamente, após apenas 5 metros de propagação na fibra. Desse modo, o comprimento de onda de corte, medido

20 como o comprimento de onda em que o sinal ótico não está mais no modo único após a propagação através de 5 metros de fibra, está entre 1300 nanômetros e 1400 nanômetros para uma fibra de acordo com a invenção.

Além disso, a Tabela III mostra claramente que o modo de LP11 já está bem atenuado após 22 metros de propagação. É notado em particu-

25 lar que a atenuação do modo LP11 em uma fibra 10 de acordo com a presente invenção é maior do que a atenuação do modo LP11 em uma fibra SSMF, quando a fibra é disposta virtualmente reta. De fato, em uma fibra SSMF, são as curvaturas que tornam possível atenuar, altamente, o modo LP11. Desse modo, a fibra tem uma atenuação do modo LP11 maior do que

30 5 dB após 22 metros de propagação em fibra reta em um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

Além disso, a Tabela III também mostra que a atenuação de pe-

lo menos 19,3 dB do modo LP11 é obtida de modo relativamente rápido, após menos do que 90 metros, em vez dos 22 metros impostos pelos padrões.

Desse modo, a falha em estar em conformidade, no sentido mais estrito, com os padrões G.652 e G.657 em termos de comprimento de onda de corte é minimizada pelo fato de que o modo LP11 de ordem superior é atenuado suficientemente a partir de um comprimento de onda de 1260 nanômetros de modo a não prejudicar a qualidade da propagação do modo fundamental.

Além disso, o aumento no comprimento de onda de corte efetivo torna possível aumentar o valor do MAC como definido acima e, consequentemente, reduzir as perdas por curvatura.

A Tabela IV (abaixo) relata valores de perdas por curvatura para modalidades preferidas de fibras, conforme aqui divulgado. A primeira coluna da Tabela IV repete as referências da Tabela 1. As quatro colunas seguintes mostram valores de perdas por curvatura PPC para respectivos raios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros e 5 milímetros em um comprimento de onda de 1550 nanômetros. As quatro colunas seguintes dão valores de perdas por curvatura PPC para respectivos raios de curvatura de 15 milímetros, 10 milímetros, 7,5 milímetros e 5 milímetros em um comprimento de onda de 1625 nanômetros.

A última coluna tem um fator de mérito FOM representando a ordem de magnitude do aperfeiçoamento nas perdas por curvatura pelas fibras de acordo com a presente invenção em relação aos limites impostos pelo padrão G.657B. O FOM da Tabela IV é, assim, definido como uma média das relações entre os limites superiores impostos pelo padrão G.657B e as perdas por curvatura nas fibras da invenção para cada raio de curvatura medido.

A Tabela IV relata na primeira linha os valores limites de perdas por curvatura impostos pelo padrão G.657B para cada raio de curvatura e para os comprimentos de onda de 1550 nanômetros e 1625 nanômetros.

TABELA IV

	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	R=7,5mm	R=5mm	FOM
	PPC @1550nm (dB/turn)				PPC @1625nm (dB/turn)						
	G657B	0,003	0,1		0,01	0,2	1				
BIF	1,3E-03	2,9E-02	1,0E-01	3,3E-01	7,0E-03	8,4E-02	2,3E-01	6,3E-01			1,00
SSMF1	1,5E-02	6,0E-01	3,4E+00	1,7E+01	7,5E-02	1,7E+00	6,9E+00	2,7E+01			0,70
SSMF2	6,3E-03	3,6E-01	2,4E+00	1,4E+01	3,4E-02	1,0E+00	5,0E+00	2,3E+01			8,44
SSMF3	9,6E-04	1,1E-01	1,0E+00	8,9E+00	6,5E-03	3,6E-01	2,5E+00	1,4E+01			5,21
Ex1	4,3E-05	2,0E-03	9,7E-03	3,6E-02	3,3E-04	7,3E-03	2,5E-02	7,0E-02			2,45
Ex2	4,4E-05	2,0E-03	9,2E-03	3,5E-02	3,4E-04	7,2E-03	2,4E-02	7,1E-02			0,04
Ex3	6,4E-05	2,2E-03	9,0E-03	3,2E-02	4,4E-04	7,6E-03	2,3E-02	6,4E-02			0,04
Ex4	3,6E-05	2,0E-03	1,1E-02	4,5E-02	2,9E-04	7,6E-03	2,8E-02	8,8E-02			0,04
Ex5	4,7E-05	2,4E-03	1,2E-02	4,6E-02	3,6E-04	8,6E-03	3,1E-02	9,2E-02			0,04
Ex6	5,3E-05	2,4E-03	1,2E-02	4,4E-02	3,9E-04	8,6E-03	3,0E-02	8,4E-02			0,04
Ex7	4,2E-05	2,4E-03	1,3E-02	5,1E-02	3,4E-04	8,9E-03	3,3E-02	1,0E-01			0,04
Ex8	4,5E-05	2,6E-03	1,5E-02	6,3E-02	3,6E-04	9,9E-03	3,8E-02	1,2E-01			0,05
Ex9	6,9E-05	2,8E-03	1,3E-02	4,8E-02	4,8E-04	9,7E-03	3,2E-02	9,1E-02			0,05
Ex10	8,3E-05	3,0E-03	1,3E-02	4,7E-02	5,6E-04	1,0E-02	3,2E-02	8,8E-02			0,06
Ex11	4,9E-05	2,9E-03	1,6E-02	7,1E-02	3,9E-04	1,1E-02	4,2E-02	1,3E-01			0,05
Ex12	9,1E-05	2,6E-03	9,5E-03	3,0E-02	6,1E-04	8,6E-03	2,3E-02	6,1E-02			0,06
Ex13	5,4E-05	2,9E-03	1,6E-02	6,5E-02	4,3E-04	1,1E-02	4,1E-02	1,3E-01			0,05
Ex14	6,6E-05	3,0E-03	1,5E-02	5,6E-02	5,0E-04	1,1E-02	3,8E-02	1,1E-01			0,05
Ex15	6,2E-05	3,1E-03	1,5E-02	6,3E-02	4,7E-04	1,1E-02	3,9E-02	1,2E-01			0,06
Ex16	9,8E-05	3,5E-03	1,4E-02	5,3E-02	6,5E-04	1,2E-02	3,5E-02	1,0E-01			0,07
Ex17	1,0E-04	3,6E-03	1,5E-02	5,6E-02	6,7E-04	1,2E-02	3,7E-02	1,0E-01			0,07
Ex18	2,2E-04	6,9E-03	2,7E-02	1,0E-01	1,3E-03	2,1E-02	6,4E-02	1,8E-01			0,13
Ex19	2,0E-04	7,1E-03	3,1E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,2E-02	2,1E-01			0,12

TABELA IV continuação

	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	R=15mm	R=10mm	R=7,5mm	R=5mm	FOM
	PPC @1550nm (dB/turn)				PPC @1625nm (dB/turn)				
Ex20	2,2E-04	7,4E-03	3,1E-02	1,1E-01	1,4E-03	2,4E-02	7,2E-02	2,1E-01	0,14
Ex21	2,1E-04	7,1E-03	2,9E-02	1,1E-01	1,3E-03	2,2E-02	6,9E-02	2,0E-01	0,13
Ex22	1,4E-04	6,5E-03	3,1E-02	1,3E-01	1,0E-03	2,2E-02	7,7E-02	2,4E-01	0,11
Ex23	1,4E-04	5,4E-03	2,4E-02	9,0E-02	9,2E-04	1,8E-02	5,8E-02	1,7E-01	0,09
Ex24	2,3E-04	7,3E-03	2,8E-02	1,0E-01	1,4E-03	2,3E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,14
Ex25	2,0E-04	6,8E-03	2,9E-02	1,0E-01	1,2E-03	2,2E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,12
Ex26	1,7E-04	7,4E-03	3,4E-02	1,3E-01	1,2E-03	2,4E-02	8,2E-02	2,5E-01	0,12
Ex27	2,0E-04	7,1E-03	3,0E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,1E-02	2,1E-01	0,12
Ex28	1,9E-04	7,0E-03	3,0E-02	1,1E-01	1,2E-03	2,3E-02	7,2E-02	2,1E-01	0,12
Ex29	2,0E-04	7,0E-03	2,9E-02	1,0E-01	1,3E-03	2,2E-02	6,8E-02	2,0E-01	0,13
Ex30	2,3E-04	7,4E-03	2,9E-02	1,1E-01	1,4E-03	2,3E-02	7,0E-02	2,1E-01	0,14

É notado da Tabela IV que as perdas por curvatura das fibras correspondentes ao perfil de acordo com a invenção são claramente menores do que os limites impostos pelo padrão G.657B.

Desse modo, a fibra divulgada acima tem, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, perdas por curvatura menores do que  $0,25 \times 10^{-3}$  dB/ curva para um raio de curvatura de 15 milímetros, quando comparado com um limite de  $3 \times 10^{-3}$  dB/ curva, imposto pelo padrão G.657B. A fibra ainda tem perdas por curvatura menores do que ou iguais a  $7,5 \times 10^{-3}$  dB/ vez para um raio de curvatura de 10 milímetros, quando comparado com um limite de 0,1 dB/curva, imposto pelo padrão G.657B. As perdas por curvatura são menores do que ou iguais a 0,05 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros, como contra um limite de 0,5 dB/ curva imposto pelo padrão G.657B e perdas por curvatura menores do que 0,15 dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

As perdas por curvatura em um comprimento de onda de 1550 nanômetros em uma fibra de acordo com a invenção têm sido aperfeiçoadas por um fator maior do que 10X em relação aos limites do padrão G.657B.

Similarmente, a fibra de acordo com a invenção mostra, para um comprimento de onda de 1625 nanômetros, perdas por curvatura menores do que  $1,5 \times 10^{-3}$  dB/ curva, quando comparado com um limite de  $10 \times 10^{-3}$  dB/ curva, imposto pelo padrão G.657B. As perdas por curvatura são menores do que ou iguais a  $25 \times 10^{-3}$  dB/ curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, quando comparado com um limite de 0,2 dB/ curva, imposto pelo padrão G.657B. A fibra mostra perdas por curvatura menores ou iguais a 0,08 dB/ curva para um raio de curvatura de 7,5 milímetros, comparado com um limite de 1 dB/ curva, imposto pelo padrão G.657B e perdas por curvatura menores do que 0,25 dB/ curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

As perdas por curvatura em um comprimento de onda de 1625 nanômetros em uma fibra de acordo com a invenção foram aperfeiçoadas por um fator de 10 em relação aos limites do padrão G.657B. Deve ser notado que, dentro da estrutura de uma produção industrial de pré-formas de fibra ótica, os testes de conformidade, vis-à-vis com os padrões, são realiza-

dos levando-se em consideração apenas cifras significativas indicadas no padrão. Desse modo, quando o padrão G.657B impõe o valor limite de 0,01 dB/ curva em um comprimento de onda de 1625 nanômetros para um raio de curvatura de 15 milímetros, o fabricante tolerará perdas por curvatura osci-

5 lando até 0,014 dB/ curva nesse comprimento de onda para esse raio de curvatura. As perdas por curvatura menores do que  $1,5 \times 10^{-3}$  dB/ curva para um raio de curvatura de 15 milímetros em um comprimento de onda de 1625 nanômetros (isto é, a fibra de acordo com a presente invenção) são, portanto, pelo menos dez vezes melhores do que os limites impostos pelo padrão.

10 A coluna FOM da Tabela IV mostra que as fibras da invenção, claramente, aperfeiçoaram as perdas por curvatura relativas às fibras de BIF existentes, que correspondem às exigências do padrão G.657B.

As fibras aqui divulgadas são bem adequadas a um uso em sistemas óticos instalados na casa do assinante, do tipo FTTH, em que a fibra

15 é submetida a tensões de curvatura significativas devido à miniaturização da caixa ótica ou a manutenção da fibra no lugar com grampos. A fibra pode ser colocada em caixas óticas particularmente compactas. De fato, a fibra ótica pode ser disposta com um raio de curvatura de menos do que 15 milímetros, por exemplo, um raio de curvatura de cerca de 5 milímetros. A fibra permanece compatível com as fibras de sistemas existentes, em particular em termos de diâmetro do campo do modo para bom acoplamento de fibra com fibra. O aumento no comprimento de onda de corte não é prejudicial devido a uma atenuação significativa do modo LP11 de um comprimento de onda de 1260 nanômetros.

20

25 Conforme apresentado no Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 60/986.737, para uma *Microbend-Resistant Optical Fiber* (Overton) e Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 61/041.484, para uma *Microbend-Resistant Optical Fiber* (Overton), cada um dos quais é aqui incorporado através de referência em sua totalidade, emparelhando uma fibra de vidro

30 insensível à curvatura (por exemplo, fibras de vidro monomodo da Draka Comteq, disponíveis sob a marca de comércio e indústria BendBright<sup>XS®</sup>) e uma casca primário tendo módulo muito baixo (por exemplo, produto de acri-

lato de uretano curável por UV de DSM Desotech's, fornecido sob a marca de comércio e indústria DeSolite<sup>®</sup> DP 1011) obtêm-se fibras óticas tendo perdas excepcionalmente baixas (por exemplo, reduções em sensibilidade à microcurvatura de pelo menos 10X, quando comparado com uma fibra monomodo, empregando um sistema de casca convencional). Em consequência, ainda está dentro do escopo da presente invenção empregar os cascas divulgados no Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 60/986.737 e Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 61/041.484 com a fibra ótica monomodo da presente invenção.

10 Com relação a isso, a microcurvatura pode ser analisada de acordo com o teste do tambor de lixa de diâmetro fixo do IEC (isto é, papel de lixa de grau 4 microns, Método B, IEC TR62221), que proporciona uma situação de tensão de microcurvatura, que afeta fibras monomodo, mesmo em temperatura ambiente. O relatório técnico e procedimentos de teste padrão de sensibilidade à microcurvatura TR62221 do IEC (por exemplo, IEC TR62221, Método B. (tambor de papel de lixa de diâmetro fixo) e Método D (fundo de cesta)) são aqui incorporados através de referência em sua totalidade.

O presente pedido ainda incorpora inteiramente através de referência as patentes comumente atribuídas, pedidos de patente e publicações de pedidos de patente a seguir, cada um dos quais discute as fibras óticas: patente norte-americana N° 4.838.643 para *Single Mode Bend Insensitive Fiber for Use in Fiber Optic Guidance Applications* (Hodges e outros); Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 2007/ 0127878 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 11/ 556.895 relacionado para uma *Single Mode Optical Fiber* (de Montmorillon e outros); Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos N° US 2007/0280615 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 11/ 697.994 relacionado para *Single-Mode Optical Fiber* (de Montmorillon e outros); patente norte-americana N° 7.356.234 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 11/743.365 relacionado para *Chromatic Dispersion Compensating Fiber* (de Montmorillon e outros); Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos N° US

2008/0152288 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 11/999.333 relacionado para uma *Optical Fiber* (Flammer e colaboradores.); e Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 61/ 101.337 para uma *Single Mode Optical Fiber* (de Montmorillon e outros).

5 A fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ainda incluir uma ou mais camadas de casca (por exemplo, uma casca primário e uma casca secundário). Pelo menos uma das camadas de casca - tipicamente a casca secundário - pode ser colorido e/ou possuir outras marcações para ajudar a identificar fibras individuais. De modo alternativo, uma camada  
10 de tinta terciária pode circundar os cascas primário e secundário.

A fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ser empregada em várias estruturas, tais como aquelas estruturas exemplificativas aqui divulgadas depois.

Por exemplo, uma ou mais das presentes fibras óticas podem  
15 ser encerradas no interior de um tubo de proteção. Por exemplo, a fibra ótica pode ser colocada ou em um tubo de proteção de fibra única solta ou em um tubo de proteção de fibras múltiplas soltas. Com relação a este último, fibras óticas múltiplas podem ser enfeixadas ou torcidas dentro de um tubo de proteção ou outra estrutura. Com relação a isso, dentro de um tubo de proteção,  
20 fibras múltiplas soltas, sub-feixes de fibras podem ser separados com um aglutinante (por exemplo, cada subfeixe de fibras é envolvido em um aglutinante. Além disso, tubo para facilitar conectorização ("fan-out tube") pode ser instalado na terminação desses tubos de proteção com folga, para terminar, diretamente, fibras óticas protegida, soltas, com os conectores instala-  
25 dos no campo.

Em outras modalidades, o tubo de proteção pode circundar, apertadamente, a casca de fibra ótica mais externo (isto é, fibra protegida apertada), ou de outro modo, circundar a casca de fibra ótica mais externo ou camada de tinta para proporcionar uma folga radial exemplificativa de entre  
30 cerca de 50 e 100 microns (isto é, uma fibra armazenada semiapertada).

Com relação à fibra protegida, apertada, anterior, a proteção pode ser formado por revestindo-se a fibra ótica com uma composição curável

(por exemplo, um material curável por UV) ou um material termoplástico. O diâmetro externo dos tubos de proteção, apertados, independente de se o tubo de proteção é formado de um material curável ou não curável, tipicamente, é menor do que cerca de 1.000 microns (por exemplo, cerca de 500 microns ou cerca de 900 microns).

Com relação à última fibra protegida, semiapertada, um lubrificante pode ser incluído entre a fibra ótica e o tubo de proteção (por exemplo, para proporcionar uma camada de deslizamento).

Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, um tubo de proteção exemplificativo encerrando fibras óticas como aqui divulgado pode ser formado de poliolefinas (por exemplo, polietileno ou polipropileno), incluindo poliolefinas fluoradas, poliésteres (por exemplo, tereftalato de polibutileno), poliamidas (por exemplo, náilon), bem como outros materiais poliméricos e combinações. Em geral, um tubo de proteção pode ser formado de uma ou mais camadas. As camadas podem ser homogêneas ou incluir misturas ou combinações. Em geral, um tubo de proteção pode ser formado de uma ou mais camadas. As camadas podem ser homogêneas ou incluir misturas ou combinações de vários materiais dentro de cada camada.

Neste contexto, o tubo de proteção pode ser extrudado (por exemplo, um material polimérico extrudado) ou pultruído (por exemplo, um plástico reforçado com fibra pultruído. À guisa de exemplo, o tubo de proteção pode incluir um material para proporcionar alta temperatura e resistência química (por exemplo, um material aromático ou material de polissulfona).

Embora tubos de proteção, tipicamente, tenham uma seção transversal circular, tubos de proteção, alternativamente, podem ter uma forma irregular ou não circular (por exemplo, uma seção transversal oval ou trapezoidal).

De modo alternativo, uma ou mais das presentes fibras óticas podem ser, simplesmente, circundadas por uma capa protetora externa ou encapsuladas dentro de um tubo de metal selado. Em ambas as estruturas, nenhum tubo de proteção é requerido, necessariamente.

Fibras óticas múltiplas, conforme aqui divulgado podem ser in-

tercaladas, encapsuladas e/ou bordas ligadas para formar uma fita de fibras óticas. As fitas de fibras óticas podem ser divisíveis em subunidades (por exemplo, uma fita de doze fibras que é dividida em subunidades de seis fibras. Além disso, uma pluralidade dessas fitas de fibras óticas pode ser a-

5 gregada para formar uma pilha de fitas, que pode ter vários tamanhos e formas.

Por exemplo, é possível formar uma pilha de fitas retangulares ou uma pilha de fitas em que as fitas de fibras óticas superior e inferior têm menos fibras óticas do que aquelas no sentido do centro da pilha. Essa

10 construção pode ser útil para aumentar a densidade de elementos óticos (por exemplo, fibras óticas) dentro do tubo de proteção e/ou cabo.

Em geral, é desejável aumentar o preenchimento dos elementos de transmissão em tubos de proteção ou cabos, sujeito a outras restrições (por exemplo, atenuação de cabo ou de médio alcance). Os próprios ele-

15 mentos óticos podem ser projetados para densidade de empacotamento aumentada. Por exemplo, a fibra ótica pode possuir propriedades modificadas, tais como perfil de índice de refração melhorado, dimensões de núcleo ou de casca ou espessura e/ou módulo de casca primário, para aperfeiçoar características de microcurvatura e macro-curvatura.

À guisa de exemplo, uma pilha de fitas retangulares pode ser formada com ou sem uma torção central (isto é, uma "torção primária"). Aqueles tendo uma habilidade comum na técnica apreciarão que uma pilha de fitas é fabricada, tipicamente, com torção rotacional para permitir que o tubo ou cabo se curve, sem colocar tensão mecânica excessiva sobre as fibras

20 durante enrolamento, instalação e uso. Em uma variação estrutural, uma pilha de fitas retangulares torcidas (ou não torcidas) pode ser ainda formada em uma configuração semelhante a uma bobina (por exemplo, uma hélice) ou uma configuração semelhante à onda (por exemplo, uma senóide). Em outras palavras, a pilha de fitas pode possuir deformações "secundárias"

25 regulares.

30

Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, essas fitas de fibras óticas podem ser posicionadas dentro de um

tubo de proteção ou outra estrutura circundante, tal como um cabo de livre tubos de proteção. Sujeito a certas restrições (por exemplo, atenuação), é desejável aumentar a densidade de elementos, tais como fibras óticas ou fitas de fibras óticas dentro de tubos de proteção e/ou cabos de fibras óticas.

5                   Uma pluralidade de tubos de proteção contendo fibras óticas (por exemplo, fibras soltas ou em fita) pode ser posicionada externamente adjacente a torcida em torno de um elemento de resistência central. Essa formação torcida pode ser realizada em uma direção, helicoidalmente, conhecida como formação torcida "S" ou "Z" ou formação torcida Reverse Oscillated Lay, conhecida como formação torcida "S - Z". A formação torcida em torno do elemento de resistência central reduz a tensão de fibra ótica, quando a tensão do cabo ocorre durante instalação e uso.

10                   Aqueles tendo habilidade comum na técnica compreenderão o benefício da minimização da tensão da fibra para tensão de tração do cabo e tensão de longitudinal do cabo, durante condições de instalação ou de operação.

15                   Com relação à tensão de tração do cabo, que pode ocorrer durante instalação, o cabo se tornará mais longo enquanto as fibras óticas podem migrar para mais perto, para o eixo neutro do cabo, a fim de reduzir, se não eliminar, a tensão que está sendo retransmitida para as fibras óticas. Com relação à tensão compressiva longitudinal, que pode ocorrer em baixas temperaturas de operação, devido ao encolhimento dos componentes do cabo, as fibras óticas migrarão para mais longe do eixo neutro do cabo a fim de reduzir, se não eliminar, a tensão compressiva sendo transferida para as

20                   fibras óticas.

25                   Em uma variação, duas ou camadas substancialmente concêntricas de tubos de proteção podem ser posicionados em torno de um membro de resistência. Em uma outra variação, múltiplos elementos de formação de fios (por exemplo, múltiplos tubos de proteção formados torcidos em torno de um elemento de resistência) podem ser formados torcidos em torno um do outro ou em torno de um elemento de resistência central primário.

30                   De modo alternativo, uma pluralidade de tubos de proteção con-

tendo fibras óticas (por exemplo, fibras soltas ou em fitas) pode ser simplesmente colocada externamente adjacente ao elemento de resistência central (isto é, os tubos de proteção não são formados torcidos intencionalmente ou dispostos em torno do elemento de resistência central de maneira particular e se estendem substancialmente paralelos ao elemento de resistência central).

Ainda de modo alternativo, as presentes fibras óticas podem ser posicionadas com um tubo de proteção central (isto é, o cabo de tubo de proteção central tem um tubo de proteção central em lugar de um elemento de resistência central). Esse cabo de tubo de proteção central pode posicionar elementos de resistência noutros locais. Por exemplo, elementos de resistência metálicos ou não metálicos (por exemplo, GRP) podem ser posicionados dentro da própria capa do cabo e/ou uma ou mais camadas de fios de alta resistência (por exemplo, fios de aramida ou não aramida) podem ser posicionados paralelos ou enrolados (por exemplo, contra-helicoidalmente) em torno do tubo de proteção central (isto é, dentro do espaço interior do cabo). Igualmente, elementos de resistência podem ser incluídos dentro do invólucro de tubo de proteção.

Em outras modalidades, as fibras óticas podem ser colocadas dentro de um cabo de núcleo fendido. Em um cabo de núcleo fendido, as fibras óticas, individualmente, ou como uma fita de fibras, podem ser colocadas dentro de ranhuras helicoidais pré-formadas (isto é, canais) na superfície de um elemento de resistência central, assim, formando uma unidade de núcleo fendido. A unidade de núcleo fendida pode ser encerrada por um tubo de proteção. Uma ou mais dessas unidades de núcleo fendidos podem ser colocadas dentro de um cabo de núcleo fendido. Por exemplo, uma pluralidade de unidades de núcleo fendido pode ser formadas em fio, helicoidalmente, em torno de um elemento de resistência central.

De modo alternativo, as fibras óticas podem ser formadas em fio em um desenho de cabo de maxitubo, pelo que as fibras óticas são formadas em fios em torno de si mesmas, dentro de um grande tubo de proteção de multifibras soltas, em lugar de em torno de um elemento de resistência

central. Em outras palavras, o grande tubo de proteção de multifibras soltas é posicionado centralmente dentro do cabo de maxitubo. Por exemplo, esses cabos de maxi-tubo podem ser empregados em fios óticos de aterramento (OPGW).

5                   Em outra modalidade de cabeamento, múltiplos tubos de proteção podem ser formados torcidos em torno de si mesmos, sem a presença de um elemento central. Esses tubos de proteção formados torcidos podem ser circundados por um tubo protetor. O tubo protetor pode servir como o invólucro externo do cabo de fibra ótica ou pode ser ainda circundado por  
10                   uma capa externa. O tubo protetor pode circundar, apertada ou frouxamente, os tubos de proteção torcidos.

                    Como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, elementos adicionais podem ser incluídos dentro de um núcleo de cabo. Por exemplo, cabos de cobre ou outros elementos de transmissão ativos  
15                   podem ser formados em fios ou de outro modo enfeixados dentro da capa do cabo. Elementos passivos também podem ser colocados dentro do núcleo de cabo, como entre as paredes interiores dos tubos de proteção e as fibras óticas encerradas. Alternativamente e à guisa de exemplo, elementos passivos podem ser colocados fora dos tubos de proteção entre as res-  
20                   pectivas paredes exteriores dos tubos de proteção e a parede interior da camisa de cabo ou dentro do espaço interior de um cabo livre de tubo de proteção.

                    Por exemplo, fios, não trançados, tecidos (por exemplo, fitas), espumas ou outros materiais contendo material que pode inchar com água  
25                   e/ou revestidos com materiais que podem inchar com água (por exemplo, incluindo polímeros superabsorventes (SAPs), tais como pó de SAP), podem ser empregados para proporcionar bloqueio de água e/ou acoplar as fibras óticas ao tubo de proteção circundante e/ou camisa de cabo (por exemplo, via adesão, atrito e/ou compressão). Elementos que podem inchar com água  
30                   exemplificativos são divulgados na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos, comumente cedido, N° US 2007/0019915 A1 e seu Pedido de Patente dos Estados Unidos N° 11/424,112, relacionado, for uma *Water-*

*Swellable Tape, Adhesive-Backed for Coupling When Used Inside a Buffer Tube* (Overton e colaboradores), cada um dos quais é aqui incorporado através de referência em sua totalidade.

Além disso, um adesivo (por exemplo, um adesivo fundido a quente ou adesivo curável, tal como um acrilato de silicone, reticulado, através de exposição à radiação actínica) pode ser proporcionado em um ou mais elementos passivos (por exemplo, material que pode inchar com água) para ligar os elementos ao tubo de proteção. Um material adesivo também pode ser usado para ligar os elementos ao tubo de proteção. Um material adesivo também pode ser usado para ligar o elemento que pode inchar com água às fibras óticas dentro do tubo de proteção. Disposições exemplificativas desses elementos são divulgadas na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº US 2008/0145010 A1, comumente cedido, para um *Gel-Free Buffer Tube with Adhesively Coupled Optical Element* (Overton e outros), que é aqui incorporada através de referência em sua totalidade.

Os tubos de proteção (ou cabos livres de tubos de proteção) também podem conter uma composição tixotrópica (por exemplo, graxa ou géis semelhantes à graxa) entre as fibras óticas e as paredes interiores dos tubos de proteção. Por exemplo, encher do espaço livre no interior de um tubo de proteção com bloqueio de água, graxa de enchimento com base em petróleo ajuda a bloquear o ingresso de água. Ainda, a graxa de enchimento tixotrópica, mecanicamente (isto é, viscosamente) acopla as fibras óticas ao tubo de proteção circundante.

Essas graxas de enchimento tixotrópicas são relativamente pesadas e desalinhadas, assim, impedindo a conexão e operações de emendas. Desse modo, as presentes fibras óticas podem ser desenvolvidas em estruturas de cabos secos (isto é, tubos de proteção isentos de graxa).

Estruturas de tubos de proteção exemplificativas que estão livres de graxas de enchimento tixotrópicas são divulgadas no Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 12/146.588, comumente cedido, para uma *Coupling Composition for Optical Fiber Cables*, filed June 26, 2008, (Parris e outros), que é aqui incorporado através de referência em sua totalidade. Esses tubos

de proteção empregam composições de acoplamento formadas a partir de uma combinação de polímeros elastoméricos de alto peso molecular (por exemplo, cerca de 35 por cento em peso ou menos) e óleos (por exemplo, cerca de 65 por cento em peso ou mais) que fluem em baixas temperaturas.

- 5 Ao contrário de graxas de enchimento tixotrópicas, a composição de acoplamento (por exemplo, empregada como gel coesivo ou espuma), tipicamente, é seca e, portanto, menos desalinhada durante a emenda.

Como será compreendido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, um cabo encerrando fibras óticas, como aqui divulgado, pode ter  
10 uma capa formada de vários materiais em vários desenhos. O encapamento do cabo pode ser formado de materiais poliméricos, tais como, por exemplo, polietileno, polipropileno, cloreto de polivinila (PVC), poliamidas (por exemplo, náilon), poliéster (por exemplo, PBT), plásticos fluorados (por exemplo, perfluoroetileno propileno, fluoreto de polivinila ou difluoreto de polivinilideno)  
15 e acetato de etileno vinila. Os materiais de capa e/ou tubos de proteção também podem conter outros aditivos, tais como agentes de nucleação, retardantes de chamas, retardantes de fumaça, antioxidantes, absorvedores de UV e/ou plastificadores.

A capa do cabo pode ser uma camisa simples formada de um  
20 material dielétrico (por exemplo, polímeros não condutores), com ou sem componentes estruturais suplementares que podem ser usados para aperfeiçoar a proteção (por exemplo, de roedores) e resistência proporcionada pela capa do cabo. Por exemplo, uma ou mais camadas de fita metálica (por exemplo, aço) junto com uma ou mais camisas dielétricas podem formar a  
25 capa do cabo. Hastes de reforço metálicas ou de fibras de vidro (por exemplo, GRP) também podem ser incorporadas na capa. Além disso, fios de aramida, fibra de vidro ou fios de poliéster podem ser empregados sob os vários materiais de capa (por exemplo, entre a capa de cabo e o núcleo de cabo) e/ou cordas de abertura podem ser posicionadas, por exemplo, dentro  
30 da capa de cabo.

Semelhante a tubos de proteção, as capas dos cabos de fibra ótica tipicamente possuem uma seção transversal circular, mas as capas

dos cabos podem alternativamente possuir uma seção transversal com uma forma oval, trapezoidal ou achatada).

5 À guisa de exemplo, a fibra ótica de acordo com a presente invenção pode ser incorporada em cabos de fibra de derivação, tais como aqueles empregados para aplicações *Multiple Dwelling Unit* (MDU). Nessas aplicações, a camisa de cabo deve exibir resistência ao esmagamento, resistência à abrasão, resistência à perfuração, estabilidade térmica e resistência ao fogo, conforme requerido pelos códigos de construção. Um material exemplificativo para essas camisas de cabos é poliuretano retardante de chama, termicamente estável (PUR), que protege, mecanicamente, as fibras óticas, e ainda é suficientemente flexível para facilitar as instalações de MDU. De modo alternativo, uma capa de poliolefina ou cloreto de polivinila retardante de chama pode ser usada.

15 Em geral e como será conhecido por aqueles tendo habilidade comum na técnica, um elemento de resistência está, tipicamente, na forma de uma haste ou fios ou fibras trançados/helicoidalmente enrolados, embora outras configurações estejam, dentro do conhecimento daqueles tendo habilidade comum na técnica.

20 Cabos de fibras óticas contendo fibras óticas como divulgado podem ser empregados de modo variado, incluindo-se como cabos de derivação, cabos de distribuição, cabos alimentadores, cabos tronco e cabos de ponta expostas "stubcables", cada um dos quais pode ter exigências operacionais variadas (por exemplo, faixa de temperatura, resistência ao esmagamento, resistência à UV e raio de curvatura mínimo).

25 Esses cabos de fibras óticas podem ser instalados dentro de dutos, microdutos, plenums ou tubos ascendentes. À guisa de exemplo, um cabo de fibra ótica pode ser instalado em duto ou microduto existente por puxamento ou soprimento (por exemplo, usando ar comprimido). Um método de instalação de cabo exemplificativo é divulgado na Publicação de Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 2007/0263960, comumente cedido, para um *Communication Cable Assembly and Installation Method* (Lock e colaboradores) e Pedido de Patente dos Estados Unidos Nº 12/200,095 para

30

um *Modified Pre-Ferrulized Communication Cable Assembly and Installation Method*, depositado em 28 de agosto de 2008, (Griffioen e colaboradores), cada um dos quais é incorporado através de referência em sua totalidade.

Conforme observado, tubos de proteção contendo fibras óticas  
5 (por exemplo, fibras soltas ou em fitas) podem ser formadas em fios (por exemplo, em torno de um elemento de resistência central. Em tais configurações, uma capa protetora externa de cabo de fibras óticas pode ter uma superfície externa texturizada que varia periodicamente no sentido longitudinal ao longo do cabo de maneira que replica a forma em fios dos tubos de pro-  
10 teção subjacentes. O perfil texturizado da capa externa protetora pode aperfeiçoar o desempenho de sopramento do cabo de fibra ótica. A superfície texturizada reduz a superfície de contato entre o cabo e o duto ou microduto e aumenta o atrito entre o meio de sopramento (por exemplo, ar) e o cabo. A capa externa protetora pode ser feita de um material de baixo coeficiente de  
15 atrito, que pode facilitar a instalação por sopro. Além disso, a capa externa protetora pode ser dotada de um lubrificante para ainda facilitar a instalação por sopro.

Em geral, para obter desempenho satisfatório de sopramento a longa distância (por exemplo, entre cerca de 0,914 a 1,524 km (3.000 a  
20 5.000 pés) ou mais), o diâmetro externo de cabo de um cabo de fibras óticas deverá ser de não mais do que cerca de setenta a oitenta por cento do diâmetro interno dos dutos ou microdutos.

Ar comprimido também pode ser usado para instalar fibras óticas de acordo com a presente invenção em um sistema de fibras sopradas a ar.  
25 Em um sistema de fibras sopradas a ar, uma rede de cabos ou microdutos não preenchidos é instalada antes da instalação de fibras óticas. As fibras óticas podem ser sopradas, subsequentemente, nos cabos instalados, conforme necessário para suportar as exigências de variação da rede.

Além disso, os cabos de fibras óticas podem ser enterrados diretamente na terra ou, como um cabo aéreo, suspenso de um poste ou coluna.  
30 Um cabo aéreo pode ser autos-suportado ou preso ou amarrado a um suporte (por exemplo, fio mensageiro ou outro cabo). Cabos de fibras óticas aé-

reos exemplificativos incluem fios terra suspensos (PGW), cabos de auto-sustentação todo dielétrico (ADSS), cabos de amarrar todo dielétrico (AD-Lash) e cabos de figura oito, todos os quais são bem compreendidos por aqueles tendo habilidade na técnica. Os cabos da figura 8 e outros desenhos  
5 podem ser enterrados diretamente ou instalados em dutos e, opcionalmente, podem incluir um elemento de tonalidade, tal como um fio metálico, de modo que possam ser encontrados com um detector de metais.

Além disso, embora as fibras óticas possam ser ainda protegidas por uma capa de cabo externa, a própria fibra ótica pode ser ainda reforçada  
10 de modo que a fibra ótica pode ser incluída dentro de um cabo de penetração, que permite o roteamento individual de fibras óticas individuais.

Para empregar as fibras óticas presentes de maneira eficiente em um sistema de transmissão, são necessárias conexões em vários pontos da rede. As conexões de fibras óticas são tipicamente realizadas por emendas por fusão, emendas mecânicas ou conectores mecânicas.  
15

As extremidades correspondentes de conectores podem ser instaladas nas extremidades de fibras no campo (por exemplo, na localização da rede) ou em uma fábrica antes da instalação na rede. As extremidades dos conectores são correspondidas no campo, a fim de conectar as fibras  
20 juntas ou conectar as fibras aos componentes passivos ou ativos. Por exemplo, certos conjuntos de cabos de fibras óticas (por exemplo, conjuntos de bifurcação) podem se separar e transportar fibras óticas individuais a partir de um cabo de múltiplas fibras óticas aos conectores de maneira protetora.

O emprego desses cabos de fibras óticas pode incluir equipamento suplementar. Por exemplo, um amplificador pode ser incluído para  
25 aperfeiçoar sinais óticos. Módulos de compensação de dispersão podem ser instalados para reduzir os efeitos da dispersão cromática e da dispersão do modo de polarização. Caixas de emenda, pedestais e quadros de distribuição, que podem ser protegidos por um envoltório podem igualmente ser incluídos.  
30 Elementos adicionais incluem, por exemplo, chaves de terminais remotos, unidades de rede ótica, separadores óticos e chaves de centrais telefônicas.

Um cabo contendo fibras óticas de acordo com a presente invenção pode ser empregado para uso em um sistema de comunicação (por exemplo, rede ou telecomunicações). Um sistema de comunicações pode incluir arquitetura de cabos de fibras óticas, tais como *fiber-to-the-node* (FTTN - fibra até o nó), *fiber-to-the-telecommunications enclosure* (FTTE - Fibra para envoltório de telecomunicações), *fiber-to-the-curb* (FTTC - fibra até a calçada), *fiber-to-the-building* (FTTB - fibra até a construção), e *fiber-to-the-home* (FTTH - fibra até a casa), bem como arquitetura de longa distância ou de metro.

10 Além disso, fibras óticas de acordo com a presente invenção podem ser usadas em outras aplicações, incluindo, sem limitação, sensores de fibras óticas ou aplicações em iluminação (por exemplo, iluminação artificial).

15 No relatório e nas figuras, modalidades típicas da invenção foram divulgadas. A presente invenção não está limitada a essas modalidades exemplificativas. A menos que de outro modo observado, termos específicos foram usados em um sentido geral e descritivo e não para fins de limitação.

## REIVINDICAÇÕES

1. Fibra ótica monomodo tendo perdas por curvatura reduzidas com um perfil do índice de refração conforme medido em raios que se estendem do centro da fibra em direção a uma casca ótica externa, a fibra caracterizada por compreender:

um núcleo central tendo um raio  $r_1$  e uma diferença de índice positiva  $\Delta n_1$  com a casca ótica;

uma casca intermediária tendo um raio  $r_2$  e uma diferença de índice positiva  $\Delta n_2$  com a casca ótica menor do que a diferença de índice  $\Delta n_1$  do núcleo, em que  $\Delta n_2$  está entre  $0,1 \times 10^{-3}$  e  $0,6 \times 10^{-3}$ ;

uma depressão tendo um raio  $r_3$  e uma diferença de índice negativa  $\Delta n_3$  com a casca ótica;

em que a integral superfície da depressão ( $V_{03}$ ), definida como

$$V_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r).dr \approx (r_3 - r_2) \times \Delta n_3$$

está entre  $-55,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $-30,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e em que a integral volume da depressão ( $V_{13}$ ), definida como

$$V_{13} = 2 \cdot \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r).r.dr \approx (r_3^2 - r_2^2) \times \Delta n_3$$

está entre  $-1200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  e  $-750 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

em que a fibra tem um diâmetro de campo do modal (MFD) entre  $8,6 \mu\text{m}$  e  $9,5 \mu\text{m}$  em um comprimento de onda de  $1310 \text{ nanômetros}$ ; e, para um comprimento de onda de  $1550 \text{ nanômetros}$ , perdas por curvatura menores do que  $0,25 \times 10^{-3} \text{ dB/curva}$  para um raio de curvatura de  $15 \text{ milímetros}$ , e para um comprimento de onda de  $1550 \text{ nanômetros}$ , perdas por curvatura menores do que  $0,15 \text{ dB/curva}$  para um raio de curvatura de  $5 \text{ milímetros}$ ; e

em que, para um comprimento de onda de  $1260 \text{ nm}$ , o modo LP11 da fibra é atenuado para  $19,3 \text{ dB}$  em um comprimento menor do que  $90 \text{ metros}$ .

2. Fibra, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por:

a integral de superfície do núcleo central ( $V_{01}$ ), definida como

$$V_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r).dr \approx r_1 \times \Delta n_1$$

estar entre  $20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  e  $23,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ .

3. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda um comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$  maior do que 1350 nanômetros, o comprimento de onda de corte efetivo  $\lambda_{\text{ceff}}$  sendo medido como sendo o comprimento de onda no qual o sinal ótico se torna monomodo após a propagação através de dois metros de fibra.

4. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda, para um comprimento de onda de 1550 nanômetros, perdas por curvatura de menos do que ou igual a  $7,5 \times 10^{-3}$  dB/curva para um raio de curvatura de 10 milímetros.

5. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda, para um comprimento de onda de 1625 nanômetros, perdas por curvatura de menos do que ou igual a  $25 \times 10^{-3}$  dB/curva para um raio de curvatura de 10 milímetros, de preferência, para um comprimento de onda de 1625 nanômetros, perdas por curvatura menores do que 0,25 dB/curva para um raio de curvatura de 5 milímetros.

6. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda um comprimento de onda de corte do cabo entre 1250 nanômetros e 1300 nanômetros, o comprimento de onda de corte do cabo sendo o comprimento de onda além do qual a atenuação do modo LP11 é maior do que ou igual a 19,3 dB, após a propagação através de 22 metros de fibra.

7. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda um comprimento de onda de corte teórico menor do que ou igual a 1250 nanômetros, o comprimento de onda de corte teórico sendo o comprimento de onda do qual o modo de LP11 é propagado no modo vazante.

8. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo núcleo central ter um raio ( $r_1$ ) entre  $3,8 \mu\text{m}$  e  $4,35 \mu\text{m}$  e/ou em que o núcleo central tem uma diferença de índice ( $\Delta n_1$ ) com a casca ótica entre  $5,3 \times 10^{-3}$  e  $5,7 \times 10^{-3}$ .

9. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pela casca intermediária ter um raio ( $r_2$ ) compreendido entre  $8,5 \mu\text{m}$  e  $9,7 \mu\text{m}$ .

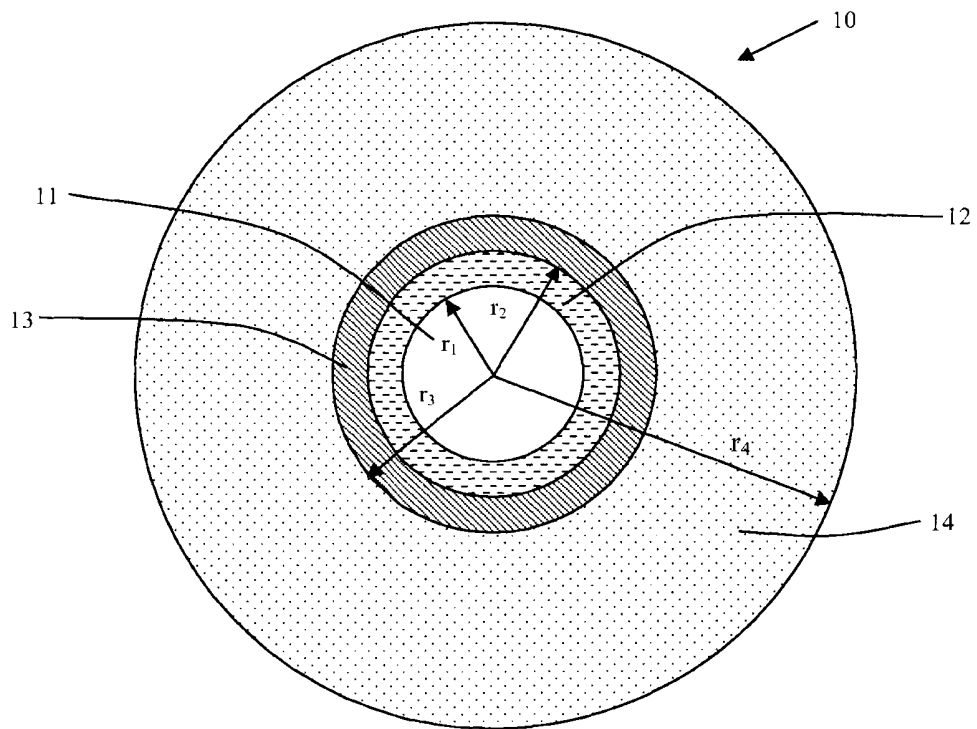
5 10. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pela depressão ter um raio ( $r_3$ ) entre  $13,5 \mu\text{m}$  e  $16 \mu\text{m}$ , de preferência, a depressão tem um raio ( $r_3$ ) igual ou menor do que  $15 \mu\text{m}$ , e/ou um comprimento de onda de corte teórico, e/ou a depressão ter uma diferença de índice ( $\Delta n_3$ ), com a casca ótica compreendida entre  $-10,0 \times 10^{-3}$  e  $-5,0 \times 10^{-3}$ .

10 11. Fibra, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada por compreender ainda um comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDW) entre  $1300 \text{ nanômetros}$  e  $1324 \text{ nanômetros}$  e/ou ainda compreendendo um valor de inclinação de dispersão cromática zero no comprimento de onda de dispersão cromática zero (ZDS) menor do que  $0,092 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ .

15 12. Caixa ótica recebendo pelo menos uma porção da fibra ótica, conforme definida em qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizada pela fibra ter um raio de curvatura menor do que  $15 \text{ milímetros}$ , de preferência, em que a fibra tem um raio de curvatura de cerca de  $5 \text{ milímetros}$ .

20 13. Sistema de fibra ótica para a residência do assinante (FTTH), caracterizada por compreender pelo menos uma porção da fibra ótica, conforme definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 11.

FIG. 1



10 – Fibra

11 – Núcleo Central

12 – Revestimento intermediário

13 – Revestimento comprimido

14 – Revestimento óptico externo (índice de refração  $n_g$ )

FIG. 2

