



**República Federativa do Brasil**  
Ministério da Indústria, Comércio Exterior  
e Serviços  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 0418210-3 B1**

**(22) Data do Depósito:** 16/12/2004

**(45) Data de Concessão:** 11/07/2017



**(54) Título:** ENLACE DE FIBRA ÓPTICA, LINHA DE CABO ÓPTICO, E, MÉTODOS PARA OBTER UM ENLACE DE FIBRA ÓPTICA, PARA PRODUZIR UM CABO ÓPTICO, E PARA OBTER UMA LINHA DE CABO ÓPTICO

**(51) Int.Cl.:** G02B 6/10; H04B 10/18

**(30) Prioridade Unionista:** 14/04/2004 EP PCT/EP2004/050521, 30/12/2003 EP PCT/EP03/51118

**(73) Titular(es):** PRYSMIAN CAVI E SISTEMI ENERGIA S.R.L.

**(72) Inventor(es):** ALEXIS DEBUT; FRANCESCO SARTORI; MARTINO TRAVAGNIN

## 5

10

15

25

controlada, de tal maneira a produzir um elemento como filamento que forma a própria fibra óptica. Neste processo tensões assimétricas são tipicamente aplicadas a fibra.

5 Em uma fibra birrefringente os dois componentes TE e TM do modo óptico fundamental inicialmente em fase um com o outro voltam a estar em fase novamente somente depois de um certo comprimento de preparação, comumente conhecido como o “comprimento de batida” ( $L_B$ ). Em outras palavras, o comprimento de batida é o período de repetição de um certo estado de polarização, na admissão que a fibra mantém uma birrefringência constante sobre este comprimento. O outro parâmetro característico de uma  
10 fibra birrefringente é o “comprimento de correlação” ( $L_F$ ) que é definido como a distância sobre a qual a função de auto-correlação da birrefringência é 1/e vezes seu valor máximo.

Na assim chamada “preservação de polarização” de fibras  
15 ópticas, assimetria é deliberadamente introduzida na fibra para gerar birrefringência. Contudo, em fibras ordinárias (isto é, não preservadoras de polarização), birrefringência é prejudicial ao desempenho da fibra.

De fato, quando sinais pulsados são transmitidos em uma fibra óptica, birrefringência é uma causa de dispersão de pulso, uma vez que os  
20 dois componentes de polarização TE e TM viajam em diferentes grupos de taxas, isto é, se tornam dispersos. Este fenômeno, conhecido como dispersão do modo de polarização (PMD), foi amplamente estudado em anos recentes devido à sua importância em sistemas guia de luz amplificada periodicamente.

25 Tipicamente, o fenômeno de PMD conduz a uma limitação da largura da banda de transmissão de sinal e, conseqüentemente, uma degradação do desempenho das fibras ópticas ao longo das quais os sinais anteriormente mencionados são transmitidos. Este fenômeno é portanto indesejável em sistemas de transmissão de sinal ao longo de fibras ópticas,

especialmente naqueles que operam em longas distâncias, nos quais é necessário minimizar qualquer forma de atenuação ou dispersão dos sinais para garantir desempenhos elevados em transmissão e recepção.

O Pedido de Patente UK GB-A-2101762 considera os efeitos sobre PMD de torção de fibra pós-estirada e observa que embora tal torção reduza o PMD que resulta de birrefringência linear intrínseca, ela introduz tensões de torção que geram uma birrefringência circular substancial devido ao efeito foto-elástico. Torcer uma fibra estirada reduz assim a limitação de largura de banda devido a um efeito, ao mesmo tempo que o substitui por um outro. O mesmo pedido de patente propõe assim, girar a pré-forma durante estiramento de modo que torção possa ser efetuada ao mesmo tempo que mantém o material da fibra substancialmente sem tensão. Giro é realizado a uma taxa relativamente elevada, de modo que sua frequência de repetição espacial, ou passo de giro, é pequeno comparado ao comprimento de batida devido à birrefringência intrínseca; como resultado, uma fibra óptica pode ser produzida na qual a contribuição de birrefringência devido a assimetrias de forma e tensão é enormemente reduzida. Tal fibra é denominada fibra “girada” para distingui-la de uma fibra torcida (pós-estirada). De maneira conveniente, a pré-forma é girada a uma taxa substancialmente constante, porém poderia mesmo inverter em direção oscilando de uma torção à direita para uma torção à esquerda.

Na presente descrição a mesma distinção como acima será feita entre “giro” e “torção”. Mais precisamente, os termos “giro” e “torção” são aqui utilizados para identificar dois tipos diferentes de torção da fibra: giro identifica uma torção que é congelada durante estiramento, que é aplicada a uma porção viscosa da fibra e mantida como uma modificação estrutural da fibra ao resfriar; diferentemente, torção identifica uma torção elástica da fibra, que está presente quando um torque é aplicado a uma porção da fibra cujas extremidades são restringidas contra rotação. Em outras

palavras, embora ambos, giro e torção alterem a fibra em forma, de modo que partes anteriormente na mesma linha reta são localizadas em uma curva em espiral, uma fibra torcida irá girar de volta para sua forma original quando suas extremidade são liberadas da restrição de rotação, enquanto uma fibra girada irá manter sua alteração como uma deformação intrínseca e permanente. Devido a giro a fibra sofre uma rotação de seus eixos de polarização. Como resultado, quando pulsos ópticos são transmitidos na fibra óptica eles se propagam alternadamente sobre os eixos de birrefringência lento e rápido, compensando assim o atraso relativo, e reduzindo a dispersão de pulso. Isto é equivalente a ter um índice de refração efetivo local para os pulsos ópticos igual ao índice de refração médio nos dois eixos, a média sendo tomada sobre o comprimento de pulso ao longo da fibra.

Estudos teóricos mostraram que o processo dominante para a redução de PMD em uma fibra girada é a média da anisotropia local da fibra pelo cortejo rápido dos eixos de assimetria ao longo da fibra.

A Patente dos Estados Unidos US 4.504.300, relativa a uma técnica para fazer uma fibra óptica que tem estrutura quirállica, enfrenta desvantagens relacionadas à rotação da pré-forma e propõe em uma nova técnica de giro que consiste em girar a fibra ao invés da pré-forma. Em particular, um dispositivo é divulgado, o qual compreende dispositivo colocado logo abaixo da pré-forma para torcer a fibra durante estiramento da fibra. O dispositivo de torção compreender um arco rotativo que suporta três polias. A fibra torcida é revestida por dispositivo de revestimento, seguido por resfriamento por dispositivo de resfriamento rápido, que facilita congelamento da torção.

A Patente dos Estados Unidos US 5.418.881 propõe arranjar o dispositivo adaptado para aplicar o torque à fibra a jusante da estação de revestimento, de modo a evitar dano à superfície da fibra. Em particular, o torque é aplicado inclinando alternadamente na direção horária e anti-horária

um rolo guia de fibra que tem um eixo de rotação que se estende perpendicularmente ao eixo de estiramento da fibra. Desta maneira, em no mínimo uma porção da fibra o giro impresso à fibra é alternadamente horário e anti-horário. A mesma Patente descreve que aplicar um torque horário e  
5 anti-horário à fibra impede substancialmente a introdução de uma torção elástica na fibra.

A Patente dos Estados Unidos pedido de número US 2001/002374 propõe um novo dispositivo que supera algumas desvantagens da técnica de rolo inclinado e permite ambos, o giro unidirecional e alternado,  
10 mas também descreve que giro alternado deve ser considerado como preferível, uma vez que ele impede a presença de torções residuais, isto é, de uma torção residual nas fibras enroladas sobre o carretel de coleta, tornando assim mais fácil ambas as operações de desenrolamento e instalação da mesma.

Na Patente dos Estados Unidos US 5.943.466 é proposto girar a fibra durante estiramento de acordo com funções de giro que não são substancialmente constantes (no sentido que elas mudam substancialmente como uma função da distância ao longo do comprimento de uma fibra ou como uma função do tempo), não substancialmente senoidais, e têm suficiente  
15 variabilidade (por exemplo, conteúdo harmônico suficiente) para fornecer uma redução substancial em PMD para uma pluralidade de comprimentos de batida.

Verificou-se algumas outras desvantagens da técnica de giro alternado não destacadas anteriormente. Giro alternado pode, por exemplo,  
25 provocar um rendimento mecânico relativamente baixo do dispositivo de giro devido a acelerações e desacelerações contínuas. Além disto, com relação a um giro unidirecional, um giro alternado requer uma amplitude de perfil de pico relativamente elevada para compensar aquelas posições do perfil onde a rotação reduz para mudar de direção e, portanto, para garantir uma taxa de

giro média suficiente. Além de tudo isto, os locais onde a taxa de giro é zero são prejudiciais para a PMD, uma vez que existe um aumento da birrefringência efetiva vista pelo pulso, e assim uma contribuição mais elevada para a PMD.

- 5 O documento por A. Galtarossa e outros “PMD statistical properties of constantly spun fibers” ECOC-IOOC 2003 Proceedings, Vol. 4, Th. 1.7.4, e o documento por A. Galtarossa e outros, “Polarization mode dispersion properties of constantly spun randomly birefringent fibers”, Optics Letters, vol 28 No. 18, September 2003, pp. 1639-1641 relatam o atraso
- 10 induzido em PMD (isto é, o atraso de modo - em ps induzido por PMD ou, de maneira equivalente, o Atraso de Grupo Diferencial de fibra média ou “DGD”) de fibras giradas unidirecionalmente. Pode ser mostrado que enquanto em uma fibra não girada ou uma fibra girada alternadamente o atraso induzido de PMD de aumenta proporcionalmente à raiz quadrada do
- 15 comprimento da fibra, em uma fibra girada unidirecionalmente o atraso induzido de PMD tem uma taxa de aumento mais elevada, e apenas aumenta de maneira assintótica proporcionalmente à raiz quadrada do comprimento. Em particular, o atraso induzido por PMD em uma fibra girada unidirecionalmente aumenta de maneira assintótica na mesma taxa que o
- 20 atraso induzido por PMD de uma fibra não girada que tem o mesmo comprimento de batida  $L_B$  e o mesmo comprimento de correlação  $L_F$ . Vantajosamente, um coeficiente de PMD, daqui em diante indicado com  $PMD_c$ , definido como o DGD de fibra média dividido pela raiz quadrada do comprimento, é introduzido. Para fibras não giradas ou giradas
- 25 alternadamente, este parâmetro é independente do comprimento de fibra.

Em maior detalhe é feita referência à Figura 1, na qual um diagrama teórico da média do DGD quadrado  $\langle \Delta\tau^2 \rangle$  (em ordenada, o unidade  $ps^2$ ) como uma função da distância de propagação (em abscissa, unidade km) é mostrado para uma fibra não girada (curva (a)) com um  $PMD_c$  (constante)

típico (por exemplo,  $0,1 \text{ ps/km}^{1/2}$ ), uma fibra girada alternadamente (curva (b)) com um  $\text{PMD}_c$  (constante) típico (por exemplo,  $0,04 \text{ ps/km}^{1/2}$ ), e uma fibra girada unidirecionalmente (curva (c)) com o mesmo comprimento de batida  $L_B$  e o mesmo comprimento de correlação  $L_F$  que a fibra não girada. A partir do diagrama pode ser apreciado que a inclinação da curva (c), (isto é, a taxa de aumento de  $\langle \Delta\tau^2 \rangle$  não é constante, porém aumenta com a distância de propagação até um valor constante que corresponde à inclinação da curva (a). O comprimento sobre o qual a inclinação muda pode ser indicado como um comprimento transiente. Uma vez que o  $\text{PMD}_c$  é proporcional à raiz quadrada de  $\langle \Delta\tau^2 \rangle$  dividido pela raiz quadrada do comprimento da fibra, é esperado que tal coeficiente aumente com a distância de propagação, isto é, com o comprimento de fibra, diferentemente do  $\text{PMD}_c$  de fibras não giradas e geradas alternadamente, que é constante. Em particular, para fibra girada unidirecionalmente, o aumento do  $\text{PMD}_c$  será mais rápido no transiente inicial antes que a taxa de aumento do  $\text{PMD}_c$  se torne similar àquela da fibra não girada; depois do transitório, o  $\text{PMD}_c$  aumenta muito lentamente alcançando assintoticamente o  $\text{PMD}_c$  da fibra não girada. Como já predito no artigo por Galtarossa e outros, “Optimized Spinning Design for Low PMD Fibers: Na Analytical Approach” Journal of Lightwave Technology Vol. 19, no. 17 Oct. 2001 pp. 1502-1512, o aumento do  $\text{PMD}_c$  inicial é aquele predito no regime determinístico.

Nos artigos acima citados de Galtarossa, é também descrito que a magnitude do período de giro muda o comprimento do regime transiente acima mencionado, e que um comprimento característico transiente  $L_T$  pode ser definido para fibras giradas unidirecionalmente (curva (c) na Figura 1):

$$L_T = L_F \left( 1 + \frac{4L_B^2}{p^2} \right)$$

onde  $p$  é o período de giro,  $L_F$  é o comprimento de correlação,

$L_B$  o comprimento de batida. O comprimento característico transiente  $L_T$  é igual à intersecção do comportamento assintótico linear da curva (c) com o eixo das abcissas. A distância de propagação do comprimento do trecho de fibra requerido para aproximar o regime de comportamento PMD da fibra não girada é avaliado ser de algum os comprimentos característicos transientes.

Admitido que os parâmetros que aparecem na fórmula acima caíam dentro de faixas típicas:  $L_F = 1 \div 20$  m,  $L_B = 5 \div 15$  m; e  $p = 0,1 \div 1$  m, o comprimento característico transiente  $L_T$  pode variar entre 0,1 e 1.800 km, cobrindo quatro ordens de grandeza. Se o comprimento característico transiente  $L_T$  é muito maior do que o comprimento de enlace, o aumento de  $PMD_c$  permanece moderado. Ao contrário, quando o comprimento característico transiente  $L_T$  é comparável a, ou menor do que o comprimento de enlace, o aumento de  $PMD_c$  sobre o enlace se torna significativo e pode ser prejudicial à transmissão de sinal.

Assim, fibras giradas unidirecionalmente com comprimentos característicos de transiente curtos, sofrem de um crescimento do  $PMD_c$  com o comprimento de fibra, o qual anula a vantagem de utilizar uma fibra girada.

Uma outra predição feita no papel citado por A. Galtarossa publicado em Optics Letter é que a distribuição estatística de DGD para fibras giradas unidirecionalmente curtas o suficiente, pode se desviar da distribuição de Maxwell típica apresentada por ambas as fibras giradas e alternadamente giradas.

À vista do estado da arte delineado no que precede, parece que uma solução ótima para o problema de PMD em fibras não existe: fibras não giradas têm de fato um PMD que para diversas aplicações é muito elevado; por outro lado, fibras giradas alternadamente apresentam a série de problemas mencionados anteriormente. Das considerações teóricas acima também surge que fibra girada unidirecionalmente pode ser preferível em relação a fibras não giradas, apenas para comprimentos de fibra relativamente curtos, uma vez

que elas experimentam um crescimento de seu  $PMD_c$  quando o comprimento aumenta, o qual se torna assim praticamente igual àquele de fibras não giradas.

Assim, foi um objetivo da presente invenção prever uma  
5 solução para estes problemas.

Em particular, foi um objetivo da presente invenção fornecer um enlace de fibra óptica e um método de realizá-lo, que apresentem uma limitação significativa do aumento do  $PMD_c$  com o comprimento de fibra.

Com estes objetivos em mente, verificou-se que o aumento no  
10  $PMD_c$  apresentado por fibras giradas unidirecionalmente pode ser completamente eliminado ou substancialmente reduzido se um enlace de fibra óptica é feito de trechos de fibras giradas unidirecionalmente de comprimentos apropriados com “helicoidalidade” oposta e emendados um ao outro para formar a fibra óptica. Com “helicoidalidade” quer-se significar  
15 aqui a direção de giro da fibra que pode ser ou direita ou esquerda, isto é, horária ou anti- horária.

Portanto, um enlace de fibra óptica de acordo com a presente invenção inclui, no mínimo, um primeiro e um segunda trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em direções opostas e unidos um ao outro.  
20 Preferivelmente o enlace de fibra óptica compreende um primeiro tipo de fibra girada unidirecionalmente em uma primeira direção e um segundo tipo de fibra girada unidirecionalmente na direção oposta, as fibras do primeiro tipo sendo alternadas com as fibras do segundo tipo, isto é, trechos de fibra de “helicoidalidade” oposta são alternados uns com os outros.

25 De acordo com um aspecto da presente invenção, um enlace de fibra óptica é fornecido como descrito no enlace de fibra óptica na reivindicação independente 1 anexa.

Em resumo, o enlace de fibra óptica compreende uma pluralidade de trechos de fibra óptica unidos uns aos outros, dita pluralidade

de trechos de fibra óptica incluindo no mínimo um primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e, no mínimo, um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente, que têm direções de giro reciprocamente opostas.

5                    Para as finalidades da presente invenção, os termos “giro”, “girar”, e “girado”, todos são relativos a uma torção que é congelada durante estiramento que é aplicada a uma porção viscosa da fibra e mantida como uma modificação estrutural da fibra ao esfriar. Em outras palavras, uma fibra girada irá manter esta alteração como uma deformação intrínseca e  
10                    permanente.

                    Também para as finalidades da presente invenção, com “giro unidirecional” quer-se significar um giro que ocorre em uma mesma direção e afastada de possíveis inversões locais, por exemplo, devido a escorregamento de fibra no dispositivo de giro ou no dispositivo de tração. Preferivelmente, o  
15                    giro unidirecional aqui considerado é constante, porém ele também pode derivar da superposição de uma função de giro constante e uma função de giro variável, a função de giro variável tendo preferivelmente pequena amplitude e longo período.

                    Preferivelmente, o primeiro trecho de fibra óptica girado  
20                    unidirecionalmente e o segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente são unidos um ao outro.

                    Em uma configuração preferencial da presente invenção, a pluralidade de trechos de fibra óptica inclui uma pluralidade de primeiros trechos de fibra óptica e uma pluralidade de segundos trechos de fibra óptica,  
25                    os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica sendo trechos de fibras ópticas giradas unidirecionalmente que têm direções de giro reciprocamente opostas. Os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica são alternados uns com os outros no enlace de fibra óptica. O primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e

o segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente podem ter substancialmente um mesmo comprimento de trecho.

Definido um período de giro  $p$ , um comprimento de correlação  $L_F$  e um comprimento de batida  $L_B$  para a fibra, o comprimento do primeiro  
 5 trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e/ou o segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente, é preferivelmente menor do que 10 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$  definido como

$$L_T = L_F \left( 1 + \frac{4L_B^2}{p^2} \right)$$

Mais preferivelmente, dito comprimento de trecho é menor do que 5 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$ .

10 Em uma configuração da presente invenção dito comprimento de trecho é igual a ou menor do que aproximadamente 3 km, preferivelmente igual ou menor do que aproximadamente 1 km.

Em particular, o primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e o segundo trecho de fibra óptica girado  
 15 unidirecionalmente podem ter substancialmente uma mesma taxa de giro.

Preferivelmente o número de primeiros trechos de fibra óptica e segundos trechos de fibra óptica é ímpar.

De acordo com outro aspecto da presente invenção, uma linha de cabo óptico como descrito na reivindicação anexa 10, é fornecido.

20 Resumindo, a linha de cabo óptico inclui uma pluralidade de troncos de cabo óptico unidos uns aos outros. Dita pluralidade de troncos de cabo óptico compreende, no mínimo, um primeiro tronco de cabo óptico e um segundo tronco de cabo óptico, o primeiro tronco de cabo óptico incluindo um primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma primeira  
 25 direção e o segundo tronco de cabo óptico incluindo um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção, os primeiro e segundo trechos de fibra óptica sendo

enlaçados opticamente uns aos outros.

Em particular, o primeiro e o segundo trechos de fibra óptica são unidos um ao outro.

O primeiro e o segundo trechos de fibra óptica podem ter  
5 substancialmente o mesmo comprimento de trecho.

Preferivelmente, o comprimento de trecho do primeiro e/ou do segundo trecho de fibra óptica é menor do que 10 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$  definido acima, mais preferivelmente menor do que 5 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$ . Em particular, o  
10 trecho de fibra é preferivelmente igual a ou menor do que aproximadamente 3 km, mais preferivelmente igual a ou menor do que aproximadamente 1 km.

Em particular, o primeiro e o segundo trechos de fibra óptica podem ter substancialmente uma mesma taxa de giro.

De acordo com uma configuração da presente invenção, a  
15 pluralidade de troncos de cabo óptico inclui uma pluralidade de primeiros trechos de fibra óptica e uma pluralidade de segundos trechos de fibra óptica unidos uns aos outros para formar um enlace de fibra óptica, os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica sendo fibras ópticas giradas unidirecionalmente que têm direções de giro reciprocamente  
20 opostas, e os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica sendo alternados uns com os outros no enlace de fibra óptica.

Em particular, em uma configuração da presente invenção, no mínimo um tronco de fibra óptica de dita pluralidade de troncos de cabos ópticos tem um núcleo óptico que inclui uma pluralidade de trechos de fibra  
25 óptica girados unidirecionalmente que têm uma mesma direção de giro.

Em uma outra configuração da invenção, no mínimo um tronco de cabo óptico de dita pluralidade de troncos de cabos ópticos tem um núcleo óptico que inclui no mínimo dois trechos de fibra óptica girados unidirecionalmente que têm direções de giro opostas.

Preferivelmente o número total de troncos de cabo óptico é ímpar.

De acordo com ainda um outro aspecto da presente invenção, um método de realizar um enlace de fibra óptica como descrito na reivindicação independente anexa 21 do método, é fornecido.

O método compreende:

fornecer, no mínimo, um primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma primeira direção;

fornecer, no mínimo, um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção; e

unir o primeiro trecho e o segundo trecho juntos em uma sua extremidade respectiva.

De acordo com um outro aspecto da presente invenção, um método de produzir um cabo óptico como descrito na reivindicação anexa 22, é fornecido.

O método compreende fornecer uma pluralidade de fibras ópticas a uma linha de fabricação de cabo, na qual dita pluralidade de fibras ópticas compreende, no mínimo, uma primeira fibra óptica que é girada unidirecionalmente em uma primeira direção e, no mínimo, uma segunda fibra óptica que é girada unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção.

De acordo com ainda um outro aspecto da presente invenção, um método de realizar uma linha de cabo óptico como descrito na reivindicação anexa 23, é fornecido.

O método compreende formar uma pluralidade de troncos de cabo óptico, cada um incluindo, no mínimo, um trecho de fibra óptica e unir os troncos de cabo óptico uns aos outros.

A etapa de formar uma pluralidade de troncos de cabo óptico compreende formar, no mínimo, um primeiro tronco que inclui um primeiro

trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma primeira direção e formar, no mínimo, um segundo tronco que inclui um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção; dita união dos troncos de cabo óptico um ao outro incluindo enlaçar  
 5 opticamente o primeiro trecho de fibra óptica a dito segundo trecho de fibra óptica.

Estes e outros aspectos e vantagens da presente invenção serão tornados evidentes pela descrição detalhada a seguir de uma sua configuração fornecida meramente à guisa de exemplo não limitativo, descrição que será  
 10 conduzida fazendo referência aos desenhos anexos, nos quais:

A Figura 1 é um diagrama que mostra a variação predita da média do Atraso de Grupo Diferencial ao quadrado (DGD) em ordenada com a distância de propagação (em abscissa) para: uma fibra não girada (curva (a)), uma fibra girada alternadamente (curva (b)) e uma fibra girada  
 15 unidirecionalmente (curva (c)) com o mesmo comprimento de batida  $L_B$  e o mesmo comprimento de correlação  $L_F$  como a fibra não girada;

A Figura 2 mostra, de maneira esquemática, uma porção de um enlace de fibra óptica de acordo com uma configuração da presente invenção, que compreende trechos de fibra giradas alternadas  
 20 unidirecionalmente, que têm “helicoidalidade” reciprocamente oposta.

As Figuras 3A e 3B mostram diagramas da variação predita do  $PMD_c$  em ordenada (unidade  $ps/km^{1/2}$ ), com a distância de propagação em abscissas (unidade, km) para a fibra da Figura 2 para diversos comprimentos dos trechos de fibra alternada, e para dois valores diferentes do comprimento  
 25 característico de transiente da fibra;

A Figura 4A mostra, em corte transversal, um cabo óptico que contem fibras ópticas de acordo com uma configuração da presente invenção;

A Figura 4B mostra de maneira esquemática, em vista em vista lateral, uma porção de uma linha de cabo óptico de acordo com a presente

invenção;

A Figura 5 é um diagrama que mostra a variação predita com o comprimento de propagação em abcissas (unidade, km) da relação entre a média dos valores DGD ao quadrado para o quadrado dos valores DGD médios em ordenada para uma fibra com os mesmos parâmetros da Figura 3A, com trechos alternados de comprimento de 5 km;

As Figuras 6A até 6F são diagramas que mostram a distribuição estatística dos valores DGD para a mesma fibra da Figura 5 em distâncias de propagação indicadas na Figura 5 com as letras a) até f), respectivamente;

A Figura 7 mostra uma torre de estiramento adaptada para estirar fibras giradas unidirecionalmente;

A Figura 8 ilustra um dispositivo de giro adequado para ser utilizado na torre de estiramento da Figura 7;

A Figura 9 mostra um aparelho de torção adequado para ser utilizado na torre de estiramento da Figura 7;

A Figura 10 ilustra um aparelho de recolocação em carretel;

A Figura 11 mostra um aparelho de torção a ser utilizado na torre de estiramento da Figura 7 em alternativa ao aparelho da Figura 9; e

As Figuras 12 e 13A até 13D são diagramas que mostram os resultados de experiências conduzidas.

Com referência aos desenhos, na Figura 2 uma porção de um enlace de fibra óptica de acordo com uma configuração da presente invenção é mostrado muito esquematicamente.

Por enlace de fibra óptica quer-se significar uma fibra constituída de dois ou mais trechos de fibra óptica unidos um ao outro. O enlace de fibra óptica indicado globalmente como 300 é, por exemplo, do tipo utilizado em cabos de fibra óptica para sistema de comunicação óptica.

O enlace de fibra óptica 300 (cujas porções mostradas na Figura 2

é por exemplo uma porção intermediária ao longo do comprimento global do enlace de fibra óptica) compreende uma pluralidade de segmentos ou trechos de fibra óptica...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ),...de comprimento mais curto, unidos um ao outro em respectivas extremidades livres, para formar um enlace de fibra óptica 300; em jargão, a operação de unir os dois segmentos de fibra óptica juntos é referido como “emendar”; no desenho, os pontos onde os dois trechos de fibra óptica genéricos...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ),..., são emendado juntos e estão indicados esquematicamente por 310.

De acordo com uma configuração da presente invenção, os trechos de fibra óptica...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ),..., são segmentos ou trechos de fibras ópticas giradas unidirecionalmente. Em particular, trechos de fibras ópticas giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade” de giro reciprocamente oposta (direita, ou “helicoidalidade”  $\sigma+$ , e esquerda ou “helicoidalidade”  $\sigma-$ ) são exploradas para formar o enlace de fibra óptica 300, e os trechos de fibra giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade” de giro direita ou  $\sigma+$ , são alternadas com os trechos de fibras giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade” de giro esquerda  $\sigma-$  como delineado esquematicamente no desenho. Preferivelmente, o giro unidirecional dos diferentes trechos de fibra é constante em módulo.

Devido ao fato que emendar juntas fibras com “helicoidalidade” oposta interrompe os transientes do PMD<sub>c</sub> de uma fibra girada unidirecionalmente no sentido do valor da fibra não girada, o crescimento do PMD<sub>c</sub> do enlace de fibra óptica 300 com o comprimento de enlace de fibra discutido na parte introdutórias da presente descrição, pode ser substancialmente reduzido pela provisão descrita acima no enlace de fibra 300 de ambos os tipos de trechos de fibra.

Em princípio, os comprimentos dos trechos de fibra

individuais...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,..., podem ser quaisquer, porém, como será mostrado no que segue, uma escolha cuidadosa de tais comprimentos permite reduzir substancialmente ou mesmo eliminar o efeito de crescimento do  $\text{PMD}_c$  com o comprimento de fibra (pelo que, depois de um certo comprimento, um  $\text{PMD}_c$  praticamente constante é alcançado, mais baixo do que aquele da fibra girada unidirecionalmente com “helicoidalidade” única.

Em particular, se as taxas de giro das fibras ópticas giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade”  $\sigma+$ , têm substancialmente a mesma magnitude (módulo) que as taxas de giro das fibras ópticas giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade”  $\sigma-$ , os melhores resultados em termos de supressão do crescimento de  $\text{PMD}_c$  com o comprimento do enlace de fibra são conseguidos alternando ao longo do enlace de fibra 300, trechos de fibra óptica  $\sigma+$  e  $\sigma-$ , substancialmente de comprimentos iguais. Contudo, se as taxas de giro das fibras ópticas giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade”  $\sigma+$ , têm uma magnitude diferente (módulo) das taxas de giro das fibras ópticas giradas unidirecionalmente com “helicoidalidade”  $\sigma-$ , os comprimentos dos trechos de fibra óptica  $\sigma+$  e  $\sigma-$ , deveriam depender dos valores absolutos das respectivas taxas de giro.

É feita referência agora às Figuras 3A e 3B, que são diagramas da variação predita do  $\text{PMD}_c$  (em ordenada, unidade  $\text{ps/km}^{1/2}$ ) com a distância de propagação (em abcissas, unidade km) para o enlace de fibra 300 para diversos comprimentos dos trechos de fibra alternados...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,..., que constituem o enlace de fibra 300, e para dois valores diferentes do comprimento característico de transiente de fibra  $L_T$ . As curvas foram derivadas de acordo com o ensinamento de Galtarossa e outros, “Polarization mode dispersion properties of constantly spun randomly birefringent fibers”, Optics Letters, vol 28 No. 18, September 2003, pp. 1639-1641, relativo a fibras com uma única direção

de giro.

Em particular, o diagrama da Figura 3A é relativa ao enlace de fibra óptica 300 constituído de trechos de fibra de giro giradas unidirecionalmente alternadas de “helicoidalidade” oposta que tem um período de giro  $p = 0,25$  m, um comprimento de batida  $L_B$  igual a 7 m, um comprimento de correlação  $L_F = 10$  m e, conseqüentemente, um comprimento característico transiente de  $L_T$  igual a 32 km. O diagrama da Figura 3B relaciona, ao contrário, a um enlace de fibra óptica similar 300, porém que tem um período de giro  $p = 0,5$  m assim apresentando um comprimento característico transiente  $L_T = 8$  km. Em ambos os casos a evolução do  $PMD_c$  com a distância de propagação para trechos de fibra alternados...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,..., de comprimento  $L_C$  igual a 5 km, 10 km, 20 km, 40 km, e para um comprimento de trecho infinito (isto é, para uma fibra de “helicoidalidade” única) é mostrada.

Pode ser apreciado que em ambos os casos, quando trechos de fibra óptica alternados girados unidirecionalmente com “helicoidalidade” oposta, o  $PMD_c$  depois de um transiente alcança um valor substancialmente constante que é mais baixo do que aquele da fibra girada unidirecionalmente de “helicoidalidade” única, e daí da fibra não girada com o mesmo comprimento de batida  $L_B$  de comprimento de correlação  $L_F$ . Assim, o comportamento típico da fibra girada unidirecionalmente de “helicoidalidade” única é substancialmente transformado em um comportamento similar àquele de uma fibra girada alternadamente.

Comparando os dois diagramas, também pode ser apreciado que quanto menor o valor do comprimento característico transiente  $L_T$ , menor o comprimento de trecho  $L_C$  necessário para conseguir o mesmo valor do  $PMD_c$ . Pode ser apreciado por aqueles versados na técnica que um valor  $L_C$  ótimo pode sempre ser avaliado para o comprimento de enlace, o número de trechos máximo permitido é o comprimento característico transiente.

A partir dos dois diagramas das Figuras 3A e 3B também pode ser observado que para um valor do comprimento de batida  $L_B = 7$  m e um valor do comprimento de correlação de fibra  $L_F = 10$  m, um comprimento de trecho  $L_C$  substancialmente igual ao comprimento característico transiente  $L_T$  fornece um  $PMD_c$  de cerca de  $0,4 \text{ ps/km}^{1/2}$ , que é um valor comparável àquele das fibras ópticas giradas alternadamente e comercialmente disponíveis.

Os trechos de fibra óptica...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,..., são tipicamente cabeados e o enlace de fibra óptica 300 descrito anteriormente é, portanto, tipicamente parte de uma linha de cabo óptico. Como mostrado esquematicamente na Figura 4B (o desenho não está em escala), uma linha de cabo óptico 80 compreende, tipicamente, uma pluralidade de troncos de cabo óptico...,  $805_{(k-1)}$ ,  $805_k$ ,  $805_{(k+1)}$ ,  $805_{(k+2)}$ ,  $805_{(k+3)}$ ,  $805_{(k+4)}$ ,  $805_{(k+5)}$ ,  $805_{(k+6)}$ ,..., unidos em série, isto é, concatenados um ao outro. Cada tronco de cabo...,  $805_{(k-1)}$ ,  $805_k$ ,  $805_{(k+1)}$ ,  $805_{(k+2)}$ ,  $805_{(k+3)}$ ,  $805_{(k+4)}$ ,  $805_{(k+5)}$ ,  $805_{(k+6)}$ ,..., inclui um trecho de fibra óptica respectivo...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,...,

Cada tronco de cabo óptico...,  $805_{(k-1)}$ ,  $805_k$ ,  $805_{(k+1)}$ ,  $805_{(k+2)}$ ,  $805_{(k+3)}$ ,  $805_{(k+4)}$ ,  $805_{(k+5)}$ ,  $805_{(k+6)}$ ,..., tem um comprimento típico na faixa de aproximadamente 2 km até aproximadamente 10 km.

Com referência à Figura 4A, uma vista em seção transversal de um cabo óptico ao longo da linha de cabo óptico 80 está mostrada; o cabo óptico compreende tipicamente um núcleo óptico 81 que contém uma pluralidade de fibras ópticas 800.

O núcleo óptico 81 pode ser do tipo “apertado” como aquele ilustrado no desenho, no qual as fibras ópticas 800 são embutidas em uma matriz polimérica colocada ao redor de um elemento de resistência 83, ou do tipo “frouxo”, no qual as fibras 800 são abrigadas soltas dentro de um tubo acumulador único colocado centralizadamente dentro de dito cabo, dentro de

uma pluralidade de tubos acumuladores enfeixados ao redor de um elemento central de resistência. Ao redor do núcleo óptico 81 o cabo óptico 80 é dotado de elementos de reforço 84 e bainhas protetoras 85, 86.

5 No tipo de cabeamento “apertado” o contato entre a fibra e a matriz polimérica impede que a torção impressa às fibras seja liberada. Em cabeamento do tipo “frouxo” a torção impressa à fibra não é liberada para comprimentos de cabo típicos devido ao atrito entre a fibra e o tubo acumulador, possivelmente aprimorada pela presença de um enchimento gelatinoso.

10 Do ponto de vista de fabricação, o enlace de fibra óptica 300 pode ser obtido partindo para produzir dois conjuntos de fibras ópticas giradas unidirecionalmente que têm “helicoidalidade” de giro opostas. Os dois conjuntos de fibras são adequadamente rotulados por exemplo  $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ , de modo a ser capaz de distinguir fibras de um conjunto, daquelas do outro.

15 Conseqüentemente, o primeiro conjunto será dito ter uma “helicoidalidade”  $\sigma^+$  e o segundo conjunto uma “helicoidalidade”  $\sigma^-$ .

Preferivelmente, para facilitar a tarefa de alternar trechos de fibra com “helicoidalidade” de giro reciprocamente opostas, a fibra óptica girada unidirecionalmente com “helicoidalidade”  $\sigma^+$  tem substancialmente a

20 mesma taxa de giro que a fibra óptica girada unidirecionalmente “helicoidalidade”  $\sigma^-$ .

Mais tarde na presente descrição, um aparelho adequado para produzir fibras ópticas giradas unidirecionalmente será descrito em detalhe, sendo projetado que a maneira e os aparelhos por meio dos quais as fibras

25 ópticas giradas unidirecionalmente são obtidas, não são limitativas para a presente invenção.

Uma vez que dois conjuntos de fibra” ( $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ ) com “helicoidalidade” oposta foram produzidos, trechos de comprimentos pré-determinados destas fibras são utilizados em um processo de encadeamento

de um tipo conhecido para produzir um cabo óptico, tal como aquele ilustrado na Figura 4A.

Uma pluralidade de trechos de cabo óptico é assim formada. Estes trechos de cabo óptico são então conectados uns aos outros por meio de técnicas conhecidas para formar uma linha de transmissão de cabo óptico tal como aquela ilustrada na Figura 4B.

De acordo com uma primeira modalidade, cada tronco de cabo óptico pode incluir em seu núcleo óptico um certo número, por exemplo metade do número total de fibras, com uma “helicoidalidade” horária e um certo número, por exemplo metade do número total de fibras, com uma “helicoidalidade” anti-horária. Neste caso, os troncos de cabo óptico podem ser idênticos uns aos outros.

De acordo com uma segunda configuração, cada tronco de cabo óptico pode incluir fibras de um único tipo, isto é, ou de “helicoidalidade” horária ou de “helicoidalidade” anti-horária. Neste caso, troncos de cabo que incluem apenas fibras  $\sigma^+$  e troncos de cabo que incluem apenas fibras  $\sigma^-$  são produzidos.

Então, os troncos de cabo óptico são concatenados uns aos outros para formar a linha de cabo óptico 80. Para unir juntos dois troncos de cabo óptico, um dispositivo de conexão de um tipo conhecido pode ser utilizado, tal como o conjunto de conexão de fibra óptica descrito na Patente dos Estados Unidos US 5.778.131 ou o Oasys®, junta compacta realizada por Pirelli. Na prática as fibras que saem das extremidades dos dois troncos de cabo são abrigadas e encaminhadas no dispositivo de conexão, e então podem ser emendadas extremidade com extremidade por emendador de fusão de um tipo conhecido, tal como o modelo FSM-40S/40S-B por Fujikura.

Os trechos de fibra óptica...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,..., são assim emendados para formar o enlace de fibra óptica 300. Em particular, o enlace de fibra óptica 300 é formado emendando alternadamente

um trecho de fibra...,  $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,...do conjunto de fibra girada direita (esquerda)  $\sigma^+$  ( $\sigma^-$ ), com um trecho de fibra...,  $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ,..., do conjunto de fibra girada esquerda (direita)  $\sigma^-$  ( $\sigma^+$ ).

Escolhendo de maneira adequada a taxa de giro de trechos de  
 5 fibra óptica  $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ , em particular fazendo o comprimento característico transiente  $L_T$  adequadamente mais longo do que o comprimento de tronco de cabo típico, a linha de cabo óptico obtida unindo troncos de cabo óptico que incluem trechos de fibras ópticas de “helicoidalidade” oposta ( $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ ) têm um  $PMD_c$  baixo e substancialmente constante.

10 Se os troncos de cabo óptico incluem trechos de fibra óptica de uma mesma “helicoidalidade” (seja direita, isto é  $\sigma^+$ , ou esquerda, isto é  $\sigma^-$ ), o cabo óptico 80 é preferivelmente feito alternando troncos de cabo que incluem trechos de fibra  $\sigma^+$  com troncos de cabo que incluem trechos de fibra óptica  $\sigma^-$ .

15 Alternativamente, se os troncos de cabo óptico incluem ambos os trechos de fibra óptica  $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ , o cabo óptico é preferivelmente feito unindo os diferentes troncos de cabo de tal maneira que trechos de fibra  $\sigma^+$  são emendados com trechos de fibra  $\sigma^-$ .

Investigou-se as propriedades estatísticas de PMD de um  
 20 enlace de fibra óptica tal como o enlace 300.

É conhecido na técnica que ambas, fibras ópticas não giradas e alternadamente giradas, apresentam uma distribuição estatística Maxwelliana dos valores DGD. A distribuição Maxwelliana é caracterizada por uma relação entre a média do DGD quadrado  $\langle \Delta\tau^2 \rangle$ , e o quadrado do DGD médio  $\langle \Delta\tau \rangle^2$ ,  
 25 igual a

$$r = \frac{\langle \Delta\tau^2 \rangle}{\langle \Delta\tau \rangle^2} = \frac{3\pi}{8} \approx 1.18$$

Na Figura 5 a relação numericamente computada (predita)  $r$  está plotada como uma função do comprimento de propagação. Os parâmetros

de enlace de fibra óptica são os mesmos como para a fibra do diagrama da Figura 3A, com um comprimento de trecho  $L_C$  igual a 5 km. A relação  $r$  apresenta fortes oscilações superpostas a uma subida monotônica no sentido do valor assintótico igual a 1,18. Um valor de  $r$  maior do que 1,18 indica uma dispersão estatística da distribuição dos valores DGD maior do que aquela típica da distribuição Maxwelliana. Por outro lado, um valor de  $r$  menor do que 1,18 indica que os valores DGD estão menos dispersos do que no caso de Maxwell.

As Figura 6A até 6F são diagramas que mostram a distribuição estatística dos valores DGD em pontos a) até f) da Figura 5, respectivamente.

De acordo com estes resultados, um número ímpar de trechos de fibras unidas juntas garante uma distribuição estatística DGD como Gaussiana mais estreita do que aquela Maxwelliana como mostrado nas Figuras 6A-6D, e de maneira correspondente nos pontos marcados (a)-(d) na Figura 5. Aqui e nas Figuras que seguem, as linhas tracejadas indicam o ajuste Maxwelliano e as linhas cheias o ajuste Gaussiano. Contudo, o estreitamento da distribuição abaixo do limite Maxwelliano diminui quando aumenta o número de trechos. Por outro lado, um número par de trechos fornece uma dispersão DGD maior do que e assintoticamente igual à distribuição Maxwelliana, como mostrado nas Figuras 6E e 6F, e correspondentemente nos pontos marcados como (e) e (f) na Figura 5.

A predição do desvio de distribuição estatística DGD, mencionado na parte introdutória da presente descrição, é baseada nas considerações a seguir. As propriedades estatísticas DGD são determinadas pelos três componentes estocásticos distribuídos em Gauss do vetor dispersão de polarização  $\Omega_i$ , com  $i = 1, 2, 3$  de acordo com a fórmula relatada em um documento por A. Galtarossa e outros, Optics Letters, Vol. 28, No. 18, Setembro, 2003:

$$DGD = \sqrt{\Omega_1^2 \Omega_2^2 \Omega_3^2}.$$

O  $PMD_c$  é o valor esperado da distribuição estatística do DGD dividido pela raiz quadrada do comprimento de fibra  $L$ .

Em fibras giradas unidirecionalmente  $\Omega_3^2$  se comporta marcadamente de maneira diferente de  $\Omega_1^2$  e  $\Omega_2^2$ . Para  $z$  pequeno o DGD é  
 5 principalmente determinado pelo componente  $\Omega_3^2$  de modo que tende a obedecer uma distribuição como Gauss. Quando  $z$  aumenta  $\Omega_1^2$  e  $\Omega_2^2$  juntam, os três componentes tendem a adquirir o mesmo peso estatístico e DGD se torna distribuído como Maxwell.

Em fibras unidirecionais o aumento de PMD com  $z$  segue do  
 10 aumento (linear de maneira assintótica) com  $z$  das médias  $\langle \Omega_i^2(z) \rangle$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Verificou-se que alternando trechos de oposta, estas médias podem ser reduzidas substancialmente com relação ao caso de “helicoidalidade” única, e que quanto mais curto o comprimento de trecho mais forte a redução.

No que segue, um aparelho e um método para produzir fibras  
 15 ópticas giradas unidirecionalmente serão descritos em detalhe. É entendido que estes aparelho e método não são limitativos da presente invenção, qualquer outro método e aparelho adaptados para produzir fibras giradas unidirecionalmente sendo adequados.

Com referência à Figura 7, uma torre de estiramento 1  
 20 compreende uma pluralidade de dispositivos que são substancialmente alinhados ao longo de um eixo de estiramento vertical 2 (daí o termo “torre”). A escolha de uma direção vertical para realizar as etapas principais do processo de estiramento surge da necessidade de explorar a força da gravidade, de modo a obter, a partir de uma pré-forma de vidro, material  
 25 derretido a partir do qual uma fibra óptica 4 pode ser estirada.

Em detalhe, a torre 1 compreende um forno 6 para realizar uma fusão controlada de uma porção inferior da pré-forma 3 (também conhecida como pescoço inferior da pré-forma), um dispositivo de alimentação 7 para suportar a pré-forma 3 e alimentá-la para o interior do

forno 6 a partir de cima, um dispositivo de tração 8 em uma extremidade inferior da torre, para tracionar a fibra 4 a partir da pré-forma 3, e um dispositivo de enrolamento 9 para armazenar a fibra 4 sobre um carretel 10.

O forno 6 pode ser de qualquer tipo projetado para produzir uma fusão controlada de uma pré-forma. Exemplos de fornos que podem ser utilizados na torre 1 estão descritos na US 4.969.941 e US 5.114.338.

Preferivelmente, um dispositivo de resfriamento 12, por exemplo, de um tipo que tem uma cavidade de resfriamento projetada para ser atravessada por um escoamento de um gás de resfriamento, é situado abaixo do forno 6 para resfriar a fibra 4 ao deixá-la. O dispositivo de resfriamento 12 é arranjado coaxialmente ao eixo 2, de modo que a fibra 4 que deixa o forno 6 pode atravessá-lo.

A torre 1 também pode ser dotada de dispositivo de monitoramento de tensão 13 (por exemplo, do tipo descrito na Patente dos Estados Unidos US 5.316.562), e um sensor de diâmetro 14 de um tipo conhecido, preferivelmente posicionado entre o forno 6 e o dispositivo de resfriamento 12, para medir a tensão e o diâmetro da fibra 4, respectivamente.

Preferivelmente a torre 1 ainda compreende um primeiro e um segundo dispositivos de revestimento 15, 16 de um tipo conhecido, posicionados abaixo do dispositivo de resfriamento 12 na direção de estiramento vertical, e projetados para depositar sobre a fibra 4 quando ela atravessa, um primeiro revestimento protetor e, respectivamente, um segundo revestimento protetor. Cada dispositivo de revestimento 15, 16 compreende em particular uma respectiva unidade de aplicação 15a, 16a que é projetada para aplicar sobre a fibra 4 uma quantidade pré-definida de resina, e uma unidade de cura respectiva, 15b, 16b, por exemplo um forno de lâmpada ultravioleta para curar a resina, fornecendo assim um revestimento estável.

O dispositivo de tração 8 pode ser do tipo de polia única ou de polia dupla. Na configuração ilustrada o dispositivo de tração 8 compreende

uma única polia acionada por motor (ou cabrestante) 18 que é projetado para estirar a fibra 4 já revestida, na direção de estiramento vertical. O dispositivo de tração 8 pode ser dotado de um sensor de taxa angular 19, que é projetado para gerar um sinal que indica a taxa angular da polia 18 durante sua  
 5 operação. A taxa de rotação da polia 18 e, portanto, a taxa de estiramento da fibra 4, pode ser variada durante o processo, por exemplo, como uma resposta a uma variação de diâmetro detectada pelo detector 14.

A torre 1 ainda compreende um dispositivo de giro 20, posicionado entre os dispositivos de revestimento 15, 16 e o dispositivo de  
 10 tração 8, para imprimir um giro à fibra 4 ao redor de seu eixo durante estiramento. Para finalidades da presente descrição, o termo “giro” indica a relação (desprezando um fator de multiplicação constante) entre a taxa angular de rotação  $dq/dt$  da fibra óptica (onde  $q$  é um ângulo de rotação da fibra óptica medido em relação a um ponto de referência fixo) e a taxa de  
 15 estiramento. O giro definido desta maneira é medido tipicamente em voltas por minuto.

Em uma configuração possível ilustrada na Figura 8, o dispositivo de giro 20 compreende uma estrutura suporte fixa 21, com um motor de corrente contínua 22 mantido pela estrutura 21, e um elemento  
 20 rotativo 23 mantido pela estrutura 21 e acoplado ao motor 22 através de uma transmissão por correia 24. A transmissão por correia compreende uma primeira polia de acionamento 24a acoplada rigidamente ao motor 22, uma segunda polia de acionamento 24b acoplada rigidamente ao elemento rotativo 23, e uma correia 24c que conecta a primeira polia de acionamento 24a à  
 25 segunda polia de acionamento 24b.

O elemento rotativo 23 tem um eixo de rotação que corresponde ao eixo 2, isto é, ao eixo de movimento da fibra 4 quando entrando e saindo do dispositivo 20. O elemento rotativo 23 compreende uma primeira e uma segunda porções extremas como luva 23a, 23b,

respectivamente superior e inferior, que são acopladas de maneira rotativa à estrutura suporte 21 por meio de respectivos mancais 26 e que permitem passagem da fibra através. A segunda porção extrema 23b é acoplada com a segunda polia de acionamento 24b.

5 O elemento rotativo 23 compreende dois braços 27a, 27b que se estendem a partir da primeira porção extrema 23a até a segunda porção extrema 23b. Os braços 27a, 27b são substancialmente em forma de C com uma região central reta principal paralela ao eixo 2, e são arranjados simetricamente um ao outro com relação ao eixo 2. Um dos dois braços  
10 (aquele indicado com 27b no desenho) carrega uma primeira, uma segunda e uma terceira polia rotativa, montada louca 28a, 28b, 28c de cima para baixo no desenho, substancialmente alinhadas em uma direção paralela ao eixo 2. As três polias 28a, 28b, 28c, têm os eixos correspondentes perpendiculares ao eixo 2, e são dimensionadas de modo que os sulcos guia correspondentes são  
15 substancialmente tangentes ao eixo 2.

Fazendo referência novamente à Figura 7, a torre 1 também pode compreender um dispositivo de controle de tensão 30, conhecido comumente como “dançarino” para ajustar a tensão da fibra 4 a jusante do dispositivo de tração 8. O dispositivo de controle de tensão 30 é projetado  
20 para equilibrar quaisquer variações em tensão da fibra 4 entre a polia 18 e o dispositivo de enrolamento 9. O dispositivo de controle de tensão 30 pode compreender, por exemplo, uma primeira e uma segunda polias 30a, 30b, que são montadas loucas e em uma posição fixa e, uma terceira polia 30c, que é livre de mover verticalmente sob a ação de seu próprio peso e a tensão da  
25 fibra 4. Na prática a polia 30c é levantada caso exista um aumento indesejado na tensão da fibra 4, e abaixada se existe uma diminuição indesejável na tensão da fibra 4, de modo a manter a dita tensão substancialmente constante. A polia 30c pode ser dotada de um sensor de posição vertical (não mostrado) que é projetado para gerar um sinal que indica a posição vertical da polia 30c

e, portanto, indica a tensão da fibra 4.

Uma ou mais polias 31, ou elementos guia de outros tipos, são fornecidos vantajosamente para guiar a fibra 4 a partir do dispositivo de controle de tensão 30 para o dispositivo de enrolamento 9.

5 O dispositivo de enrolamento 9 compreende, na configuração ilustrada, uma primeira, uma segunda, uma terceira e uma quarta polias guia 36a, 36b, 36c, 36d mantidas por um elemento suporte 37 para guiar a fibra 4 sobre o carretel 10. O dispositivo de enrolamento 9 ainda compreende um dispositivo motorizado 33 para ajustar o carretel 10 em rotação ao redor de  
10 seu eixo 34. O dispositivo motorizado 33 também pode ser adequado para dar movimento alternativo ao carretel 10 ao longo do eixo 34, de modo a permitir enrolamento em hélice da fibra 4 sobre ele durante estiramento. Alternativamente, o carretel 10 pode ser fixado axialmente e o elemento suporte 37, juntamente com as polias 36a, 36b, 36c, 36d, pode ser montado  
15 em um deslizador motorizado (não mostrado no desenho) projetado para ter movimento alternativo ao longo de um eixo paralelo ao eixo do carretel 34.

Um aparelho de torção 40 é utilizado vantajosamente para destorcer a fibra, isto é, para remover uma torção elástica indesejada armazenada na fibra 4 quando girada. Esta torção indesejada que tende a gerar  
20 birrefringência circular na fibra é produzida durante giro da fibra devido à presença de uma restrição à rotação da fibra a jusante do ponto de giro.

O aparelho de torção 40 pode ser utilizado no estágio de estiramento, em particular para destorcer a fibra 4 durante seu enrolamento, ou pode ser utilizado em um estágio subsequente, por exemplo, durante  
25 desenrolamento da fibra 4, para sua recolocação em carretel em uma bobina adequada para embarque, como será descrito no que segue.

Na prática, o aparelho de torção 40 aplica expressamente à fibra uma torção (que será chamada “destorção”) em uma direção oposta àquela da torção elástica indesejada que resulta de giro. No que segue, com

“direção oposta à direção de giro”, com referência à direção da destorção, quer-se-á significar a direção oposta à direção da torção que resulta de giro. O aparelho de torção 40 pode, vantajosamente, ser integrado no dispositivo de enrolamento 9 da torre de estiramento 1. Em particular o elemento suporte 37 e as polias 36a, 36b, 36c, 36d podem fazer parte do aparelho de torção 40. Com referência à Figura 9 que ilustra uma possível configuração do aparelho de torção 40, o elemento suporte 37 é um elemento rotativo que tem a forma de um garfo de duas pontas e compreende um fuso oco 41 e um primeiro e um segundo braços 45, 46 que se estendem a partir de uma extremidade 41a do fuso oco 41. O fuso 41 é mantido coaxial ao eixo 34 por meio de uma estrutura fixa 43, e é montado de maneira rotativa sobre ele através de mancais 44. O fuso 41 é acionado por meio de um motor de corrente contínua (não mostrado no desenho) através de uma transmissão por correia (também não mostrada no desenho). Em utilização, o fuso 41 é projetado para ser atravessado pela fibra 4 ao longo do eixo 34.

Os primeiro e segundo braços 45, 46 são simétricos um ao outro com relação ao eixo 34, e têm respectivas primeiras porções 45a, 46a conectadas rigidamente ao fuso 41 e se estendendo para longe do eixo 34, opostas uma a outra, e respectivas porções 45b, 46b paralelas ao eixo 34. As primeiras porções 45a, 46a têm uma extensão radial maior do que o raio do carretel 10 e as segundas porções 45b, 46b têm um comprimento que corresponde substancialmente ao comprimento do carretel 10. O carretel 10 é localizado entre as segundas porções 45b, 46b dos braços 45, 46.

A primeira polia 36 é posicionada na extremidade do fuso 41 voltada para o carretel 10 e projetada para desviar a fibra 4 para o primeiro braço 45. A segunda, a terceira e a quarta polias 36b, 36c e 36d são posicionadas ao longo da segunda porção 45b do primeiro braço 45, e definem um trajeto ondulado para fibra 4 antes dela ser alimentada para o carretel 10. A função da terceira polia 36c que é intermediária entre a segunda

polia 36b e a quarta polia 36d, é evitar que a fibra 4 deslize das polias 36b e 36d e ela pode ser dispensada. O segundo braço 46 tem apenas uma função de equilibrar, e pode carregar três polias idênticas às polias 36b, 36c, 36d para ter a mesma distribuição de pesos que o primeiro braço 45.

- 5 Enquanto as primeira, segunda e terceira polias 36a, 36b e 36c preferivelmente tem os respectivos eixos paralelos um ao outro e perpendiculares ao eixo 34, a quarta polia 36d é preferivelmente inclinada ao redor de um eixo paralelo ao eixo 34 de um tal ângulo que ela se situa em um plano que é tangente à bobina de fibra quando o carretel 10 está metade cheio.
- 10 O aparelho de torção 40 compreende, preferivelmente, um sensor de posição de fibra 48 (por exemplo, um dispositivo modelo Keyence FS-V11P FU-35FA) posicionado entre a quarta polia 36d e o carretel 10, para fornecer um sinal de controle para o movimento axial alternado do carretel 10 (a Figura 9 mostra, por exemplo, duas posições diferentes do carretel 10) ou
- 15 do elemento suporte 37. De fato, como descrito anteriormente, o movimento alternado relativo deve ser fornecido entre o carretel 10 e o elemento suporte 37 para permitir enrolamento em hélice da fibra 4.

A torre de estiramento 1 pode ainda compreender uma unidade de controle (não mostrada no desenho) conectada eletricamente a todos os dispositivos da torre 1 a serem controlados do exterior e para todos os

20 sensores e os detectores presentes ao longo da torre 1.

A torre de estiramento 1 opera como a seguir.

O dispositivo suporte 7 alimenta a pré-forma 3 para o forno, onde uma sua porção inferior (o pescoço inferior) é derretida. A fibra 4

25 estirada a partir do pescoço inferior é puxada para baixo a partir do dispositivo de tração 8 e enrolada sobre o carretel 10 por meio do dispositivo de enrolamento 9. Entre o cabrestante 18 e o carretel 10, o dispositivo de controle de tensão 30 regula a tensão da fibra 4.

Quando a fibra 4 é estirada, os sensores 13 e 14 monitoram a

sua tensão e diâmetro. Tal monitoramento pode ser utilizado para controlar o processo de estiramento, por exemplo, atuando na taxa de tração. Ao deixar o forno 6 a fibra 4 é resfriada pelo dispositivo de resfriamento 12, e é revestida com duas camadas protetoras por meio dos dispositivos de revestimento 15, 16.

A fibra revestida 4 é então submetida a um giro unidirecional e substancialmente constante por meio do dispositivo de giro 20. Isto é obtido ajustando em rotação o elemento rotativo 23 ao redor do eixo 2 a uma taxa constante. Cada volta do elemento rotativo corresponde a uma volta da fibra 4 ao redor de seu eixo.

A taxa de giro é selecionada de tal maneira que os efeitos das imperfeições e irregularidades da fibra 4 são tornados substancialmente uniformes em um comprimento da fibra 4 igual a no mínimo o comprimento de batida típico o mais curto  $L_B$ . Como resultado, quando sinais são transmitidos na fibra, existe uma troca de energia entre os modos de propagação fundamentais e, portanto, uma redução do PMD. Assim é possível reduzir de maneira significativa os efeitos negativos provocados pelas condições de tensão assimétricas e pelas imperfeições de forma intrinsecamente presentes na fibra 4.

Observou-se que quanto mais elevada a taxa de giro melhor os desempenhos da fibra em termos de PMD. Contudo, quanto maior a taxa de giro maior a torção elástica a ser removida. Verificou-se que uma taxa de giro entre 1 e 8 voltas/m permite reduzir o PMD a valores aceitáveis e, ao mesmo tempo, introduz uma quantidade de torção elástica que pode ser removida eficientemente por meio da técnica aqui descrita.

Quando girada, a fibra 4 transmite um torque correspondente a montante e a jusante. A montante o torque é transmitido para o pescoço inferior da pré-forma onde a deformação plástica do vidro derretido absorve o torque e o transforma em uma orientação intrínseca dos eixos de

birrefringência da fibra 4. Esta torção intrínseca é congelada na fibra 4 quando a fibra esfria. A jusante e na ausência de qualquer contramedida, o torque poderia ser transmitido tão longe quanto o carretel 10, onde a fibra 4, uma vez enrolada, poderia manter uma torção elástica residual. Esta torção elástica poderia introduzir, se não controlada, uma birrefringência circular indesejada na fibra 4.

Para controlar a torção residual na fibra enrolada 4, a fibra 4 é destorcida pelo aparelho de torção 40. Na prática, o elemento suporte rotativo 37 é feito girar ao redor do eixo 34 em um sentido oposto ao sentido de giro ou, mais precisamente como descrito anteriormente, em um sentido oposto àquele da torção elástica gerada pelo giro. Cada volta do elemento suporte 37 ao redor do eixo 34 corresponde a uma volta da fibra 4 ao redor de seu eixo. O torque transmitido ao longo da fibra 4 a jusante do dispositivo de giro 20 é então no mínimo reduzida pelo aparelho de torção 40, antes que a fibra seja enrolada sobre o carretel 10.

Em detalhe, a fibra 4 depois de atravessar o fuso 41 é desviada pela primeira polia 36a no sentido do primeiro braço 45, e é aí transportada ao longo da segunda porção 45b com a tensão requerida pelas segunda e terceira polias 36b, 36c e é finalmente alimentada para o carretel 10 por meio da quarta polia 36d, em uma direção substancialmente perpendicular ao eixo 34. Enquanto sendo girado ao redor do eixo 34, o carretel 10 também tem movimento alternativo ao longo do eixo 34, de modo a permitir um enrolamento helicoidal da fibra 4.

O sinal do sensor 48 é utilizado para controlar a velocidade do movimento alternado do carretel 10, de modo que a fibra 4 é sempre feita passar em uma posição predeterminada do sensor 48.

Verificou-se que o PMD da fibra 4 pode ser reduzido a um mínimo imprimindo à fibra, depois que ela tenha sido girada, uma torção que não apenas remove a torção elástica gerada pela ação de giro, mas também

introduz uma torção residual positiva, isto é, uma torção no sentido oposto. Verificou-se que uma torção residual positiva entre 0 e 1,5 voltas/m, preferivelmente entre 0,3 e 1 volta/m, permite reduzir o PMD de fibras giradas em uma ampla faixa de taxas de giro, no mínimo até 8 voltas/m.

5                    Como descrito anteriormente destorção de fibra pode ser realizada, ao invés de durante o processo de estiramento, em um estágio subsequente ao estiramento, e pode ser associada com a operação de desenrolamento da fibra 4 do carretel 10. Por exemplo, destorção pode ser realizada durante a recolocação em carretel da fibra 4 sobre um carretel de  
10    embarque a ser embarcado para um cliente, ou durante operações de peneiramento. Peneiramento é uma operação de teste realizada em uma fibra óptica para verificar a sua resistência, que compreende aplicar uma tensão longitudinal predeterminada à fibra 4 enquanto ela corre em um trajeto predeterminado usualmente definido por polias.

15                    Como mostrado na Figura 10, o aparelho de torção 40 pode, por exemplo, ser utilizado com a fibra 4 movendo na direção oposta, de modo a realizar destorção de fibra enquanto a fibra 4 é desenrolada. Em particular, a Figura 10 ilustra um conjunto de recolocação em carretel 70, que compreende um dispositivo de desenrolamento 9' para desenrolar a fibra 4 do carretel 10 e  
20    um outro dispositivo de enrolamento 71 que inclui polias guia 73 para reenrolamento da fibra 4 sobre um carretel diferente 74. O dispositivo de desenrolamento 9' corresponde substancialmente ao dispositivo de enrolamento 9, porém opera na direção oposta para desenrolar a fibra 4. Neste caso o aparelho de torção 40 é integrado no dispositivo de desenrolamento 9'  
25    para destorcer a fibra 4 quando ela é desenrolada do carretel 10. O conjunto de recolocação em carretel 70 pode também compreender um dispositivo de peneiramento 72, por exemplo do tipo descrito na US 5.076.104.

A Figura 11 mostra uma configuração diferente do aparelho de torção indicada com o numeral de referencia 50. O aparelho de torção 50

compreende uma estrutura fixa 51 que suporta o carretel 10 ao longo do eixo 34, e um elemento rotativo 52 para torcer a fibra 4 quando ela é enrolada sobre o carretel 10, ou desenrolada dele.

5 O elemento rotativo 52 compreende um primeiro e um segundo fusos 53, 54 suportados pela estrutura 51 de maneira coaxial com o eixo 34, e um elemento arco flexível 55 que conecta os dois fusos 53, 54 sobre o carretel 10 para a passagem da fibra 4.

10 A estrutura fixa 51 compreende dois elementos suporte externos 56, 57 e dois elementos suporte internos 58, 59 substancialmente alinhados um ao outro ao longo do eixo 34. Os elementos suporte externos 56, 57 são cilíndricos e o elemento 57 tem uma passagem interna para a fibra 4 ao longo do eixo 34. O carretel 10 é posicionado entre os elementos suporte internos 58, 59 e ele é suportado com isto. O carretel 10 é conectado a um motor (não mostrado no desenho) por meio de uma transmissão por correia 15 60.

Os fusos 53, 54 são opostos um ao outro em relação ao carretel 10, e são conectados ao mesmo motor diferente daquele do carretel 10 (não mostrado no desenho) através de respectivas transmissões por correia 62, somente uma das quais está ilustrada, de modo que eles podem ser girados a 20 uma mesma velocidade. Cada um dos fusos 53, 54 é posicionado entre um elemento suporte externo correspondente 56, 57 e um elemento suporte interno correspondente 58, 59. O primeiro fuso 53 carrega internamente uma polia 67 tangente ao eixo 34 que permite a passagem da fibra 4 entre o elemento arco 55 e uma outra polia 69 tangente ao eixo 34 carregada pelo 25 elemento suporte interno 58. O segundo fuso 54 carrega internamente uma outra polia 68 tangente ao eixo 34 que permite a passagem da fibra 4 entre o elemento suporte externo 57 e o elemento arco 55. Uma ou mais outras polias são fornecidas para guiar a fibra para, ou a partir do carretel 10.

O elemento arco flexível 55 é preferivelmente feito de trifenil

metano e forma uma ponte sobre o carretel 10 para a passagem da fibra 4 entre os fusos 53, 54. O elemento arco 55 pode ser dotado de parafusos U guia eqüidistantes 61, preferivelmente feitos de cerâmica e adequados para guiar a fibra 4 ao longo do elemento arco 55. Alternativamente, o elemento

5 arco 55 pode ser dotado de um tubo guia (não mostrado no desenho) e que oferece a vantagem de um ajuste mais fácil antes do início do processo, permitindo sopragem da fibra 4 a partir de uma extremidade para a outra do elemento arco 55.

O aparelho 50 é descrito aqui abaixo quando operando para

10 enrolar a fibra sobre o carretel 10. De maneira similar ao aparelho 40, o aparelho 50 pode operar na direção oposta para desenrolar da fibra 4 a partir do carretel 10, por exemplo, no conjunto de recolocação em carretel 70 da Figura 10.

A fibra 4 é recebida através do elemento 57 e uma primeira

15 porção do segundo fuso 54 onde ela é desviada pela polia 68 para o elemento arco 55; a fibra 4 então corre sobre todo o elemento arco 55 e penetra no primeiro fuso 53 onde ela é ainda desviada pela polia 67 no sentido do elemento suporte interno 58 ao longo do eixo 34; então a fibra é ainda desviada pela polia 69 e é finalmente alimentada para o carretel 10.

20 A quantidade de torção a ser aplicada à fibra óptica 4 para obter a quantidade desejada de torção residual, pode ser determinada de acordo com a técnica a seguir. Em uma primeira etapa uma seção de fibra de teste somente submetida a giro é estirada. Esta seção de fibra de teste pode ser obtida, por exemplo, operando a torre de estiramento 1 da Figura 7 com o

25 aparelho de torção 40 desligado, isto é, com o elemento rotativo 37 em uma condição parada por um período de tempo predeterminado. Então, a torção residual acumulada na seção de fibra de teste enrolada sobre o carretel 10 é medida da maneira a seguir.

O carretel 10 é suspenso em um suporte localizado em uma

altura predeterminada, por exemplo 2 m acima do solo. Um comprimento correspondente de fibra é desenrolado do carretel 10 mantendo-o sob uma tensão moderada. A extremidade superior da seção fibra desenrolada é presa à superfície do carretel enquanto a extremidade livre é marcada, por exemplo, com um pequeno pedaço de fita que tem peso desprezível, e é deixada livre para girar. A resolução da medição depende do comprimento da seção de fibra desenrolada. Para um comprimento de fibra de 2 m, o número de voltas pode ser medido com uma resolução de cerca de um quarto de volta sobre 2 m, de modo que uma resolução de cerca de 0,125 voltas/m pode ser obtida. Se uma resolução mais elevada é requerida, uma fibra mais longa pode ser utilizada.

Observou-se que a presença do revestimento de fibra pode ser levada em consideração para uma medição precisa da torção residual devida a giro, uma vez que uma torção residual também é acumulada na fibra sob o revestimento. Conseqüentemente, depois que a torção residual da fibra revestida tenha sido medida da maneira descrita anteriormente, a extremidade livre da fibra revestida é bloqueada e o revestimento é completamente removido utilizando um raspador Miller convencional. A fibra é então deixada livre novamente para girar, e a rotação adicional da fibra é medida com a mesma resolução como acima.

A operação é repetida sobre seções de fibra consecutivas de comprimento predeterminado, por exemplo a cada 2 m, para alcançar um comprimento medido total predeterminado, por exemplo entre 20 e 60 m. O valor médio é utilizado para rotular o valor de torção da fibra.

Depois que a torção residual devida ao giro tenha sido medida, o estiramento da fibra pode ser continuado com o aparelho de torção 40 ligado, a ajustado de maneira adequada para obter a torção residual desejada.

É possível assim obter uma fibra óptica que tem um giro intrínseco unidirecional e uma torção elástica igual a zero em módulo, ou

oposta à dito giro e maior do que zero em módulo.

O giro intrínseco unidirecional pode ser substancialmente constante ou variável. Neste segundo caso a função giro é preferivelmente obtida superpondo uma função substancialmente constante e uma função  
5 periódica, e a torção é aplicada de modo a variar o valor médio da torção residual para o valor desejado. A torção elástica aplicada à fibra é preferivelmente compreendida em módulo entre zero e cerca de 1,5 voltas/m, mais preferivelmente entre cerca de 0,3 e 1 volta/m.

Fibras com ambas “helicoidalidades”, horária e anti-horária  
10 são produzidas pelo processo descrito anteriormente, trocando a direção de rotação do dispositivo de giro e do dispositivo de torção. Uma vez que dois conjuntos de fibras ( $\sigma^+$  e  $\sigma^-$ ) com “helicoidalidade” oposta tenham sido produzidos, trechos de comprimento predeterminado destas fibras são utilizados em um processo de encadeamento de um tipo conhecido para  
15 produzir um cabo óptico como descrito anteriormente.

Embora a presente invenção tenha sido divulgada e descrita por meio de algumas configurações, é evidente para aqueles versados na técnica que diversas modificações às configurações descritas, bem como outras configurações da presente invenção, são possíveis sem se afastar do seu  
20 escopo como definido nas reivindicações anexas.

Por exemplo, embora na configuração da invenção mostrada na Figura 2 uma alternância estrita de trechos de fibra girados unidirecionalmente que têm “helicoidalidade” de giro reciprocamente opostas seja fornecida, isto não deve ser construído como uma limitação da presente  
25 invenção, uma vez que um enlace de fibra óptica pode também ser produzido emendando trechos de fibra óptica girados unidirecionalmente de “helicoidalidade” de giro oposta sem necessariamente respeitar tal alternância estrita.

Além disto, o enlace de fibra óptica pode compreender um ou

mais trechos de fibras ópticas não giradas ou de fibras ópticas giradas alternadamente, e emendadas a fibras giradas unidirecionalmente ou arrançadas entre dois trechos de fibra óptica estirada unidirecionalmente.

#### Resultados experimentais

- 5 Confirmou-se experimentalmente o aumento predito de  $PMD_c$  em fibras giradas unidirecionalmente.

Para fazer isto duas fibras G.652 foram estiradas a uma taxa de giro unidirecional de + 3 voltas/m e -3 voltas/m e completamente destorcidas depois do processo de estiramento para eliminar qualquer torção elástica residual. As fibras foram então enroladas de maneira frouxa ao redor de uma bobina de grande diâmetro e para assegurar que toda a faixa possível de valores DGD é explorada, medições de DGD repetidas foram realizadas, a cada momento perturbando ligeiramente o desenvolvimento da fibra. Em particular, a medida foi realizada de acordo com a técnica Eingenganalysis Matrix Jones utilizando um polarímetro PAT9200 e um laser sintonizável Tunics-Plus. A faixa de comprimentos de onda desde 1530 nm até 1620 nm foi escaneada utilizando um degrau de 10 nm. Até 1200 valores de DGD em um tempo de 1 hora foram assim obtidos. Círculos e quadrados na Figura 12 mostram o  $PMD_c$  medido como uma função de  $z$  para as fibras de + 3 voltas/m e -3 voltas/m, respectivamente: pode ser apreciado que o  $PMD_c$  aumenta com a distância de propagação e converge para um valor assintótico em concordância com as previsões relatadas no documento anteriormente mencionado por A. Galtarossa e outros, "Polarization mode dispersion properties of constantly spun randomly birefringent fibers", Optics Letters, vol 28 No. 18 Setembro 2003.

Também confirmou-se experimentalmente o desvio da distribuição estatística de DGD da distribuição típica de Maxwell que foi sugerida no mesmo documento como afetando trechos curtos de fibras giradas unidirecionalmente. Fazendo referência às Figuras 13A até 13D que mostram

as distribuições de DGD medidas da fibra de + 3 voltas/m da Figura 12 para  $z = 1, 2, 3$  e 4 km respectivamente (nos diagramas as linha cheias e as linhas tracejadas representam, respectivamente, os ajustes de Maxwell e de Gauss, os eixos X e Y representam o DGD (em ps) e as contagens), pode ser

5 apreciado que giro unidirecional pode aliás afetar severamente as estatísticas de DGD. Em particular para valores curtos de  $z$  a distribuição de DGD é bem ajustada por uma curva de Gauss bastante estreita com uma relação R (relação entre o valor esperado e o desvio padrão muito maior do que 2,4 que é o valor da distribuição de Maxwell. Quando  $z$  aumenta, a dispersão dos dados ao

10 redor do valor esperado aumenta (a relação R diminui), e ao mesmo tempo a distribuição se torna mais e mais como de Maxwell.

Confirmou-se experimentalmente a redução de crescimento de PMd alcançável concatenando trechos de fibra de “helicoidalidade” oposta. Triângulos na Figura 12 relatam o  $\text{PMD}_c$  medido experimentalmente em

15 fibras feitas por emenda alternada, trechos longos de 1 quilômetro de fibra girada unidirecionalmente de “helicoidalidade” oposta. Em particular, amostras de 1 quilômetro da anteriormente mencionada G.652 foram emendadas juntas tendo o cuidado de alternar a “helicoidalidade”. Pode ser apreciado que o  $\text{PMD}_c$  estabiliza para um valor de cerca de  $0,03 \text{ ps/km}^{1/2}$ .

20 meio.

O  $\text{PMD}_c$  medido nos pontos de emenda apresenta um comportamento oscilante com  $z$ , com os mínimos e máximos correspondendo a um número par e ímpar de trechos, respectivamente. Como indicado pelos valores da relação R (relatada do lado dos triângulos) a concatenação de um

25 número ímpar de trechos sempre fornece uma dispersão de DGD maior do que a concatenação de um número par. Quando  $z$  aumenta e o  $\text{PMD}_c$  tende a estabilizar, a distribuição de DGD se torna maior e em forma de Maxwell, e o valor de R diminui até 2,4.

Emendando juntos trechos de fibras alternadas de 2 km, o

PMD<sub>c</sub> tende para um valor de cerca de 0,4 ps/km<sup>1/2</sup>, enquanto alternando trechos de 3 km não fornece uma redução de PMD<sub>c</sub> significativa em relação à fibra girada unidirecionalmente. Assim, o comprimento de trecho de fibra igual a ou menor do que 1 quilômetro parece fornecer bons resultados, no

5 mínimo na fibra aqui considerada.

#### Resultados numéricos

Verificou-se numericamente todas estas observações experimentais com um código baseado no modelo de módulo randômico da birrefringência de fibra (RMM) e está explicado em P.K.A Eai e C. R.

10 Manyuk, “Polarization Mode Dispersion, Decorrelation, and Diffusion on Optical Fibers with Randomly Varying Birefringence”, Journal of Lightwave Technology, Vol. 14, No. 2, Fevereiro 1996. A simulação confirmou que a compensação de PMD<sub>c</sub> se mantém para o número arbitrário de trechos alternados, de modo que uma fibra de qualquer comprimento com valor de

15 PMD<sub>c</sub> controlado pode ser fabricada. Mais curto o comprimento de trechos, menor o valor assintótico de PMD<sub>c</sub>.

Na Figura 12 as linhas tracejadas pontilhadas e cheias representam o resultado de simulação numérica de RNM da fibra unidirecional de + 3 voltas/m, fibra unidirecional de -3 voltas/m e enlace

20 “helicoidalidade” alternado concatenado ( $\pm 3$  voltas/m), respectivamente. O ajuste com dados experimentais é muito bom. Os parâmetros de fibras utilizados para as simulações são os seguintes:

para a fibra de +3 voltas/m e para os trechos de + 3 voltas/m no enlace de “helicoidalidade” alternada  $L_B = 4$  m  $L_F = 2,34$  m;

25 para a fibra de -3 voltas/m e para os trechos de - 3 voltas/m no enlace de “helicoidalidade” alternada  $L_B = 5,6$  m  $L_F = 3,45$  m.

## REIVINDICAÇÕES

1. Enlace de fibra óptica (300) que compreende uma pluralidade de trechos de fibra óptica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_k$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) unidos um ao outro, caracterizado pelo fato de

5                    dita pluralidade de trechos de fibra óptica incluir no mínimo um primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ) e no mínimo um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) que tem direções de giro reciprocamente opostas,

10                    em que o no mínimo um primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente é obtido a partir de no mínimo uma primeira fibra óptica girada unidirecionalmente, o no mínimo um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente é obtido a partir de no mínimo uma segunda fibra óptica girada unidirecionalmente, a primeira e segunda fibra óptica girada  
15 unidirecionalmente sendo fibras óticas distintas e tendo helicoidalidade reciprocamente oposta.

2. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e o segundo trecho de fibra óptica girado  
20 unidirecionalmente, serem unidos um ao outro.

3. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dita pluralidade de trechos de fibra óptica incluir uma pluralidade de primeiros trechos de fibra óptica e uma pluralidade de segundos trechos de fibra óptica, com os primeiros trechos de fibra óptica e os  
25 segundos trechos de fibra óptica sendo trechos de fibras óticas giradas unidirecionalmente que têm direções de giro reciprocamente opostas, e no qual os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica serem alternados um com o outro no enlace de fibra óptica.

4. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 1,

caracterizado pelo fato de o primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e o segundo trecho de fibra óptica girado de unidirecionalmente terem substancialmente o mesmo comprimento de trecho.

5. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de cada um de ditos primeiro e segundo trechos de fibra óptica girados unidirecionalmente terem um comprimento de trecho, um período de giro  $p$ , um comprimento de correlação  $L_F$  e um comprimento de batida  $L_B$  e dito comprimento de trecho ser menor do que 10 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$  definido como

$$L_T = L_F \left( 1 + \frac{4L_B^2}{p^2} \right)$$

6. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 4 ou 5, caracterizado pelo fato de dito comprimento de trecho ser igual a ou menor do que aproximadamente 3 km.

7. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de dito comprimento de trecho ser igual a ou menor do que aproximadamente 1 quilômetro.

8. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de o primeiro trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente e o segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente terem substancialmente a mesma taxa de giro.

9. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de o número dos primeiros trechos de fibra óptica e segundos trechos de fibra óptica ser ímpar.

10. Linha de cabo óptico (80) que compreende no mínimo um enlace de fibra ótica como definido na reivindicação 1, em que a linha de cabo ótico (80) inclui uma pluralidade de troncos de cabo ótico ( $805_{(k-1)}$ ,  $805_k$ ,  $805_{(k+1)}$ ,  $805_{(k+2)}$ ,  $805_{(k+3)}$ ,  $805_{(k+4)}$ ) unidos um ao outro, caracterizada pelo fato de dita pluralidade de troncos de cabo ótico compreender no mínimo um

primeiro tronco de cabo óptico e um segundo tronco de cabo óptico, o primeiro tronco de cabo óptico incluindo um primeiro trecho de fibra óptica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ) girado unidirecionalmente em uma primeira direção, e o segundo tronco de cabo óptico incluindo um segundo trecho de fibra óptica ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ), girado unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção, o primeiro e o segundo trechos de fibra óptica sendo enlaçados opticamente um ao outro.

11. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de os primeiro e segundo trechos de fibra óptica serem unidos um ao outro.

12. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de os primeiro e segundo trechos de fibra óptica terem substancialmente um mesmo comprimento de trecho.

13. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de cada um de ditos primeiro e segundo trechos de fibra óptica terem um comprimento de trecho, um período de giro  $p$ , um comprimento de correlação  $L_F$  e um comprimento de batida  $L_B$ , e dito comprimento de trecho ser menor do que cerca de 10 vezes o comprimento característico transiente  $L_T$  definido como

$$L_T = L_F \left( 1 + \frac{4L_B^2}{p^2} \right)$$

14. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 12 ou 13, caracterizado pelo fato de dito comprimento de trecho ser igual a ou menor do que aproximadamente 3 km.

15. Enlace de fibra óptica de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de dito comprimento de trecho ser igual a ou menor do que aproximadamente 1 km.

16. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de os primeiro e segundo trechos de fibra óptica terem

substancialmente a mesma taxa de giro.

17. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de a pluralidade de troncos de cabo óptico incluir uma pluralidade de primeiros trechos de fibra óptica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ) e uma pluralidade de segundos trechos de fibra óptica ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) unidos um ao outro para formar um enlace de fibra óptica (800), os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica sendo fibras ópticas giradas unidirecionalmente, que têm direções de giro reciprocamente opostas, e no qual os primeiros trechos de fibra óptica e os segundos trechos de fibra óptica são alternados um com o outro no enlace de fibra óptica.

18. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de no mínimo um tronco de cabo óptico de dita pluralidade de troncos de cabo óptico ter um núcleo óptico que inclui uma pluralidade de trechos de fibra óptica girados unidirecionalmente que têm uma mesma direção de giro.

19. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de no mínimo um tronco de cabo óptico de dita pluralidade de troncos de cabo óptico ter um núcleo óptico que inclui no mínimo dois trechos de fibra óptica girados unidirecionalmente que têm direções de giro opostas.

20. Linha de cabo óptico de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de o número total de troncos de cabo óptico ser ímpar.

21. Método para obter um enlace de fibra óptica (300) como definido na reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender:

25 fornecer no mínimo um primeiro trecho de fibra óptica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ), obtido a partir de no mínimo uma primeira fibra ótica girada unidirecionalmente, girado unidirecionalmente em uma primeira direção;

fornecer no mínimo um segundo trecho de fibra óptica ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ), obtido a partir de no mínimo uma segunda fibra

ótica girada unidirecionalmente, girado unidirecionalmente em uma segunda direção, em que a segunda fibra ótica é distinta da primeira fibra ótica e a segunda fibra ótica é oposta à primeira direção; e

unir o primeiro trecho e o segundo trecho juntos em uma sua respectiva extremidade.

22. Método para produzir um cabo óptico compreendendo um enlace de fibra ótica como definido na reivindicação 1, caracterizado pelo fato de compreender fornecer uma pluralidade de fibras óticas a uma linha de fabricação de cabo, no qual dita pluralidade de fibras óticas compreende no  
10 mínimo uma primeira fibra ótica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ) que é girada unidirecionalmente em uma primeira direção, e no mínimo uma segunda fibra ótica ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) que é girada unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção.

23. Método para obter uma linha de cabo óptico como  
15 definido na reivindicação 10, que compreende:

formar uma pluralidade de troncos de cabo óptico ( $805_k$ , ...  $805_{(k+4)}$ ), cada um incluindo no mínimo um trecho de fibra ótica ( $305_{(k-1)}$ , ... $305_{(k+6)}$ ); e

unir os troncos de cabo óptico um ao outro;

20 caracterizado pelo fato de

a etapa de formar uma pluralidade de troncos de cabo óptico compreender formar no mínimo um primeiro tronco que inclui um primeiro trecho de fibra ótica ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ ,  $305_{(k+5)}$ ) girado o unidirecionalmente em uma primeira direção, e formar no mínimo um  
25 segundo tronco que inclui um segundo trecho de fibra ótica ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) girado unidirecionalmente em uma segunda direção oposta à primeira direção, e pelo fato de dita união de troncos de cabo óptico um ao outro incluir enlaçar opticamente o primeiro trecho de fibra ótica a dito segundo trecho de fibra ótica.

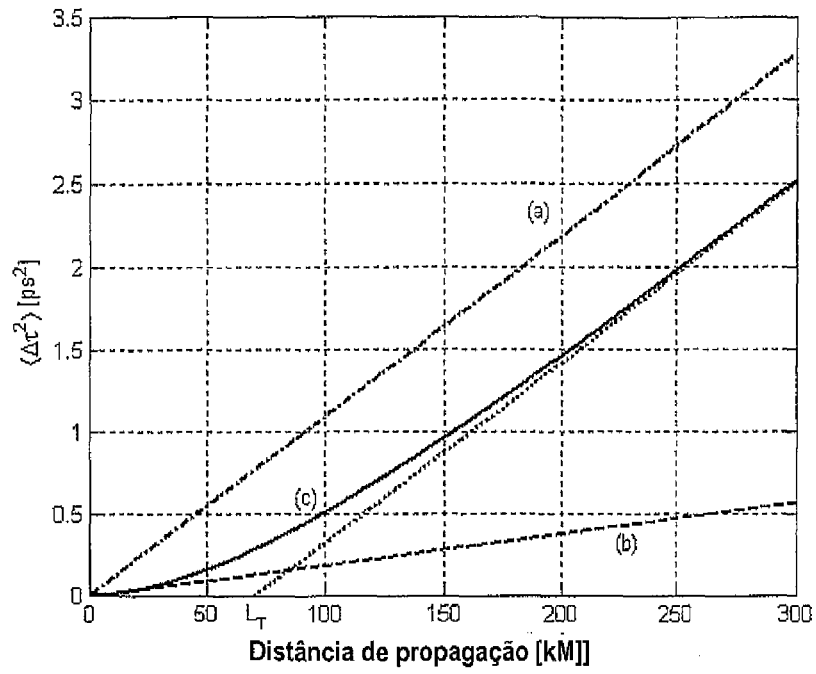


FIG. 1

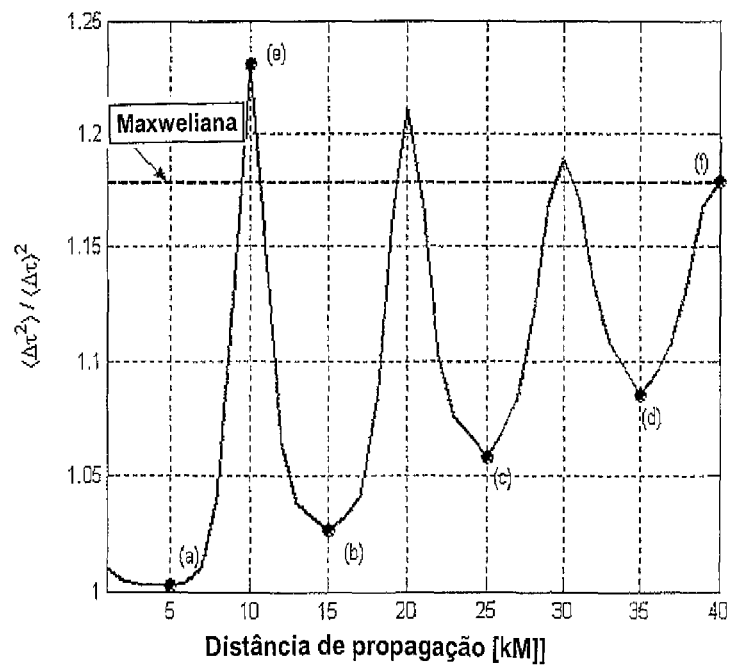


FIG. 5

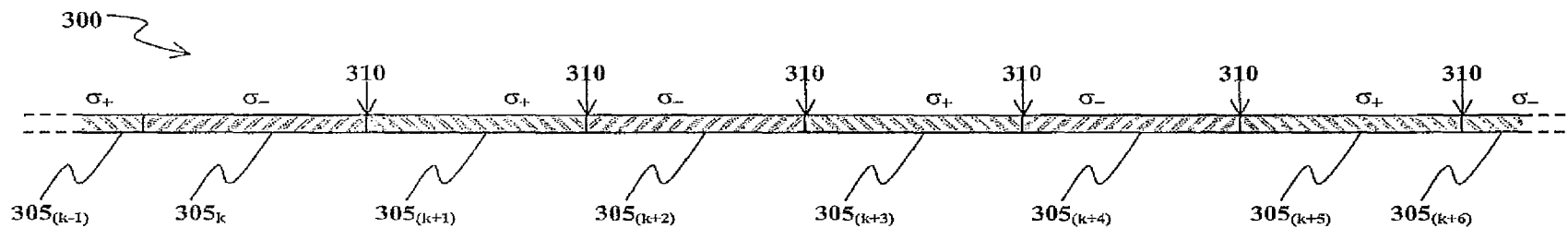


FIG. 2

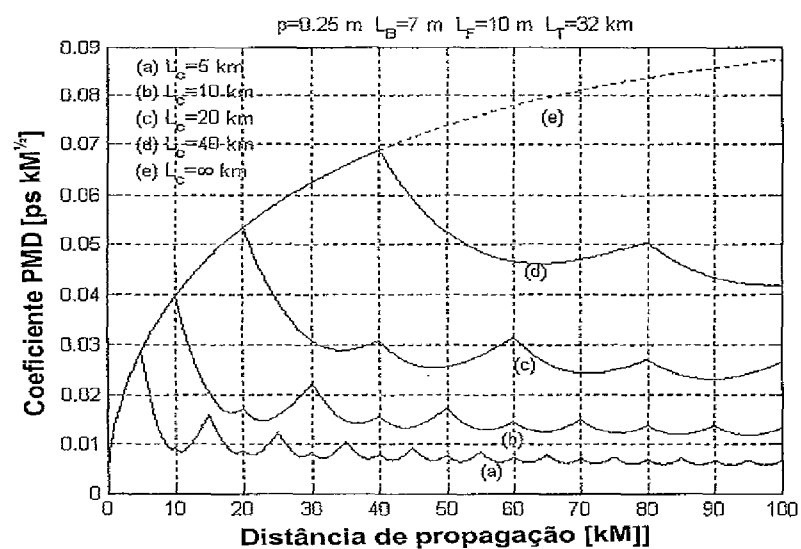


FIG. 3A

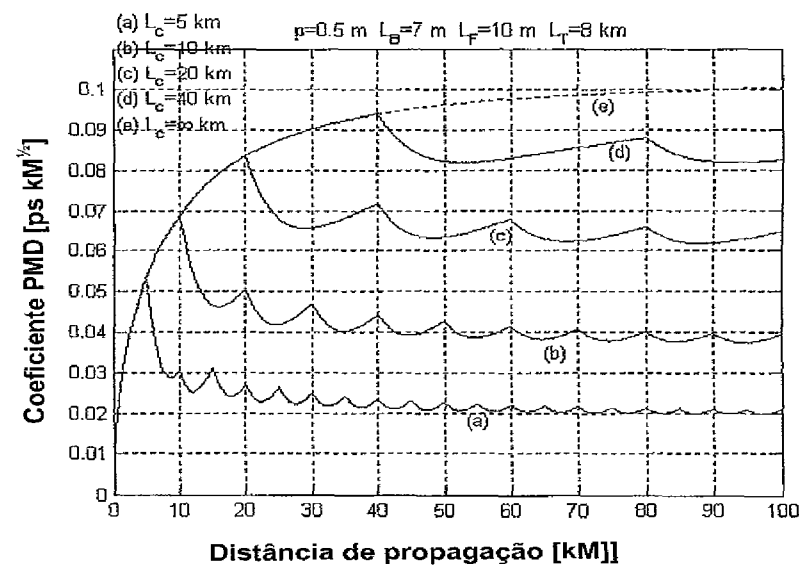


FIG. 3B

FIG. 4A

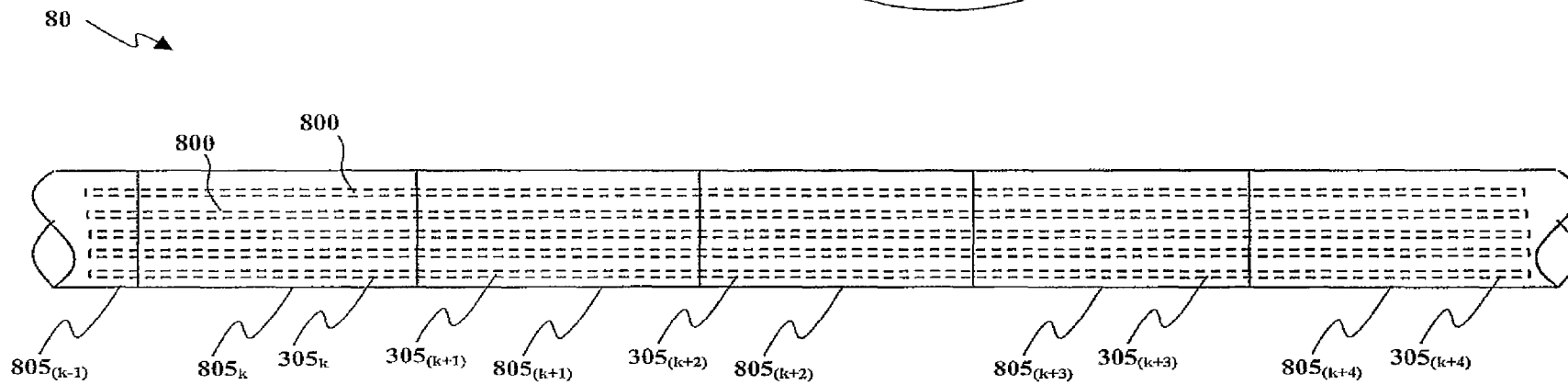
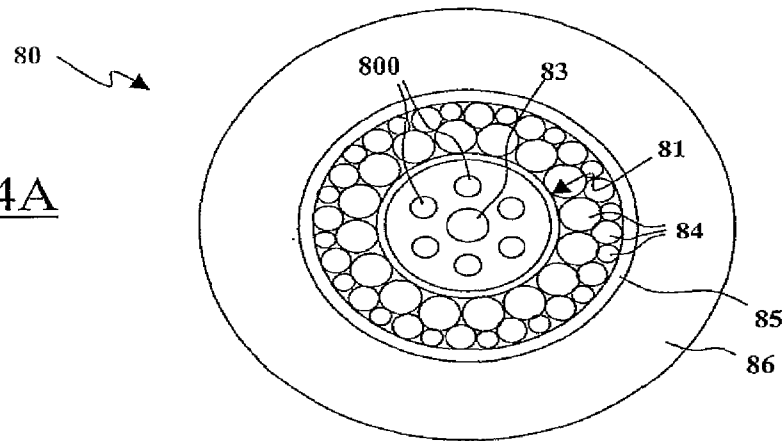


FIG. 4B

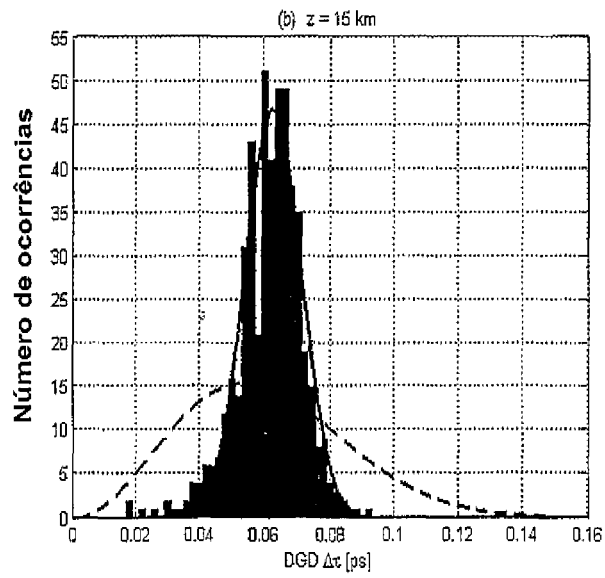
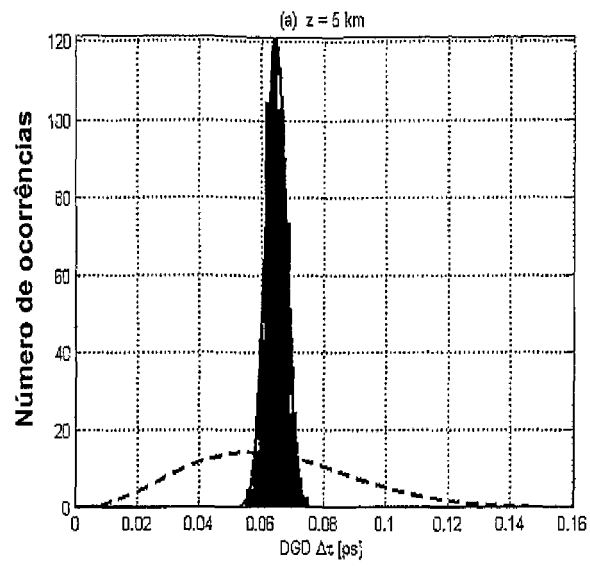
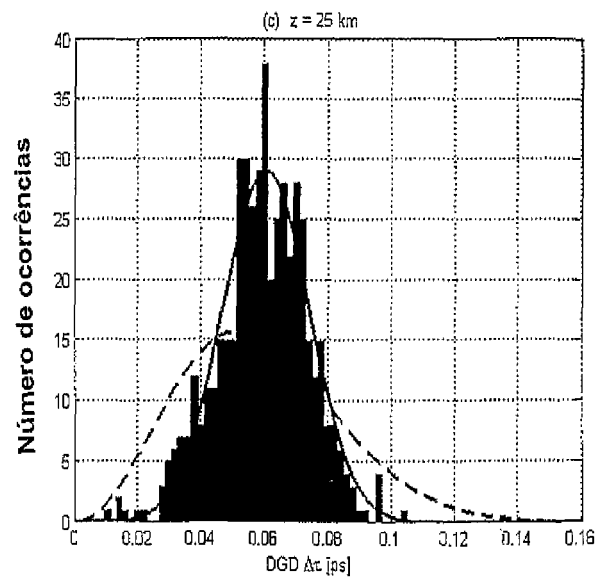
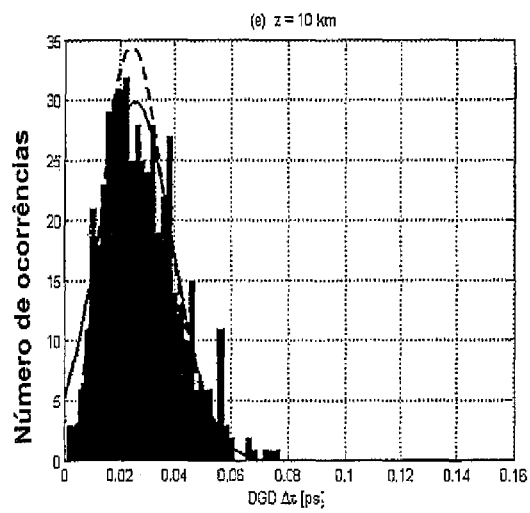
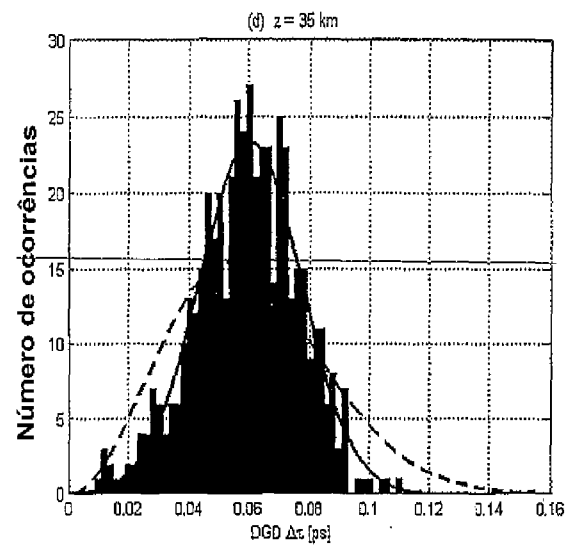
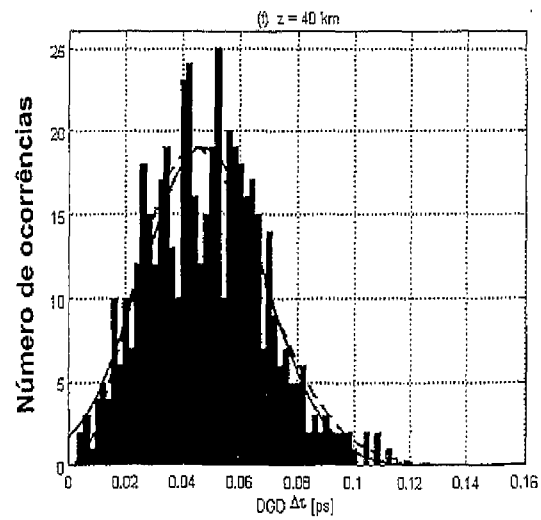
FIG. 6AFIG. 6BFIG. 6C

FIG. 6DFIG. 6EFIG. 6F

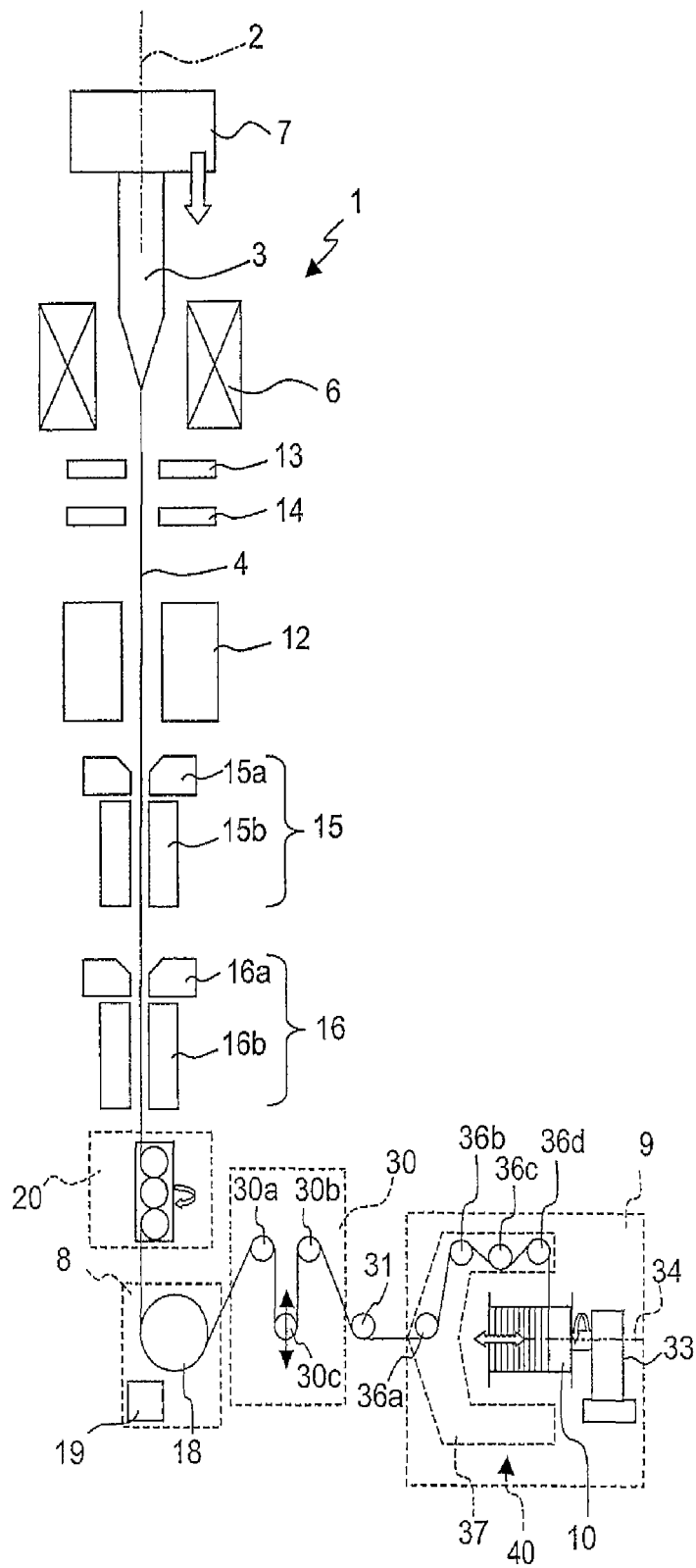
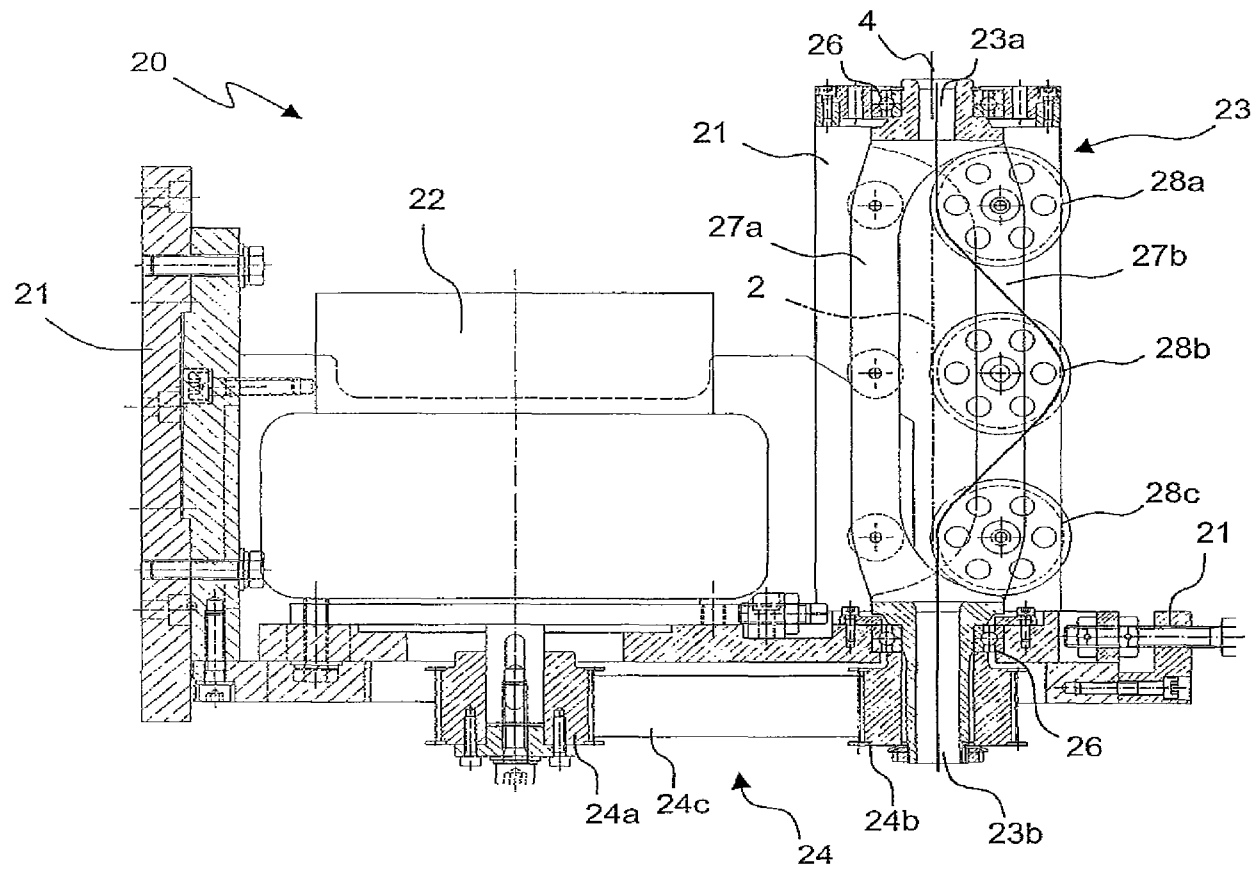
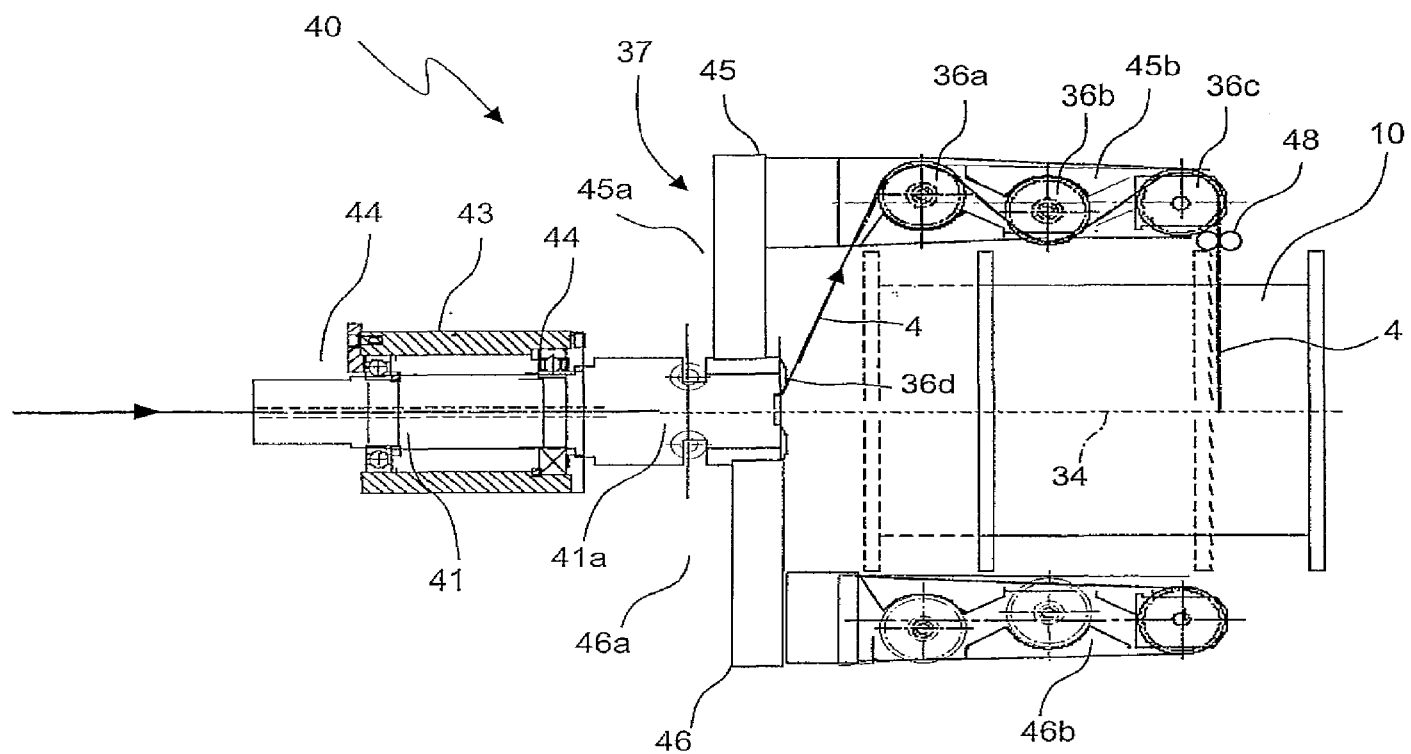


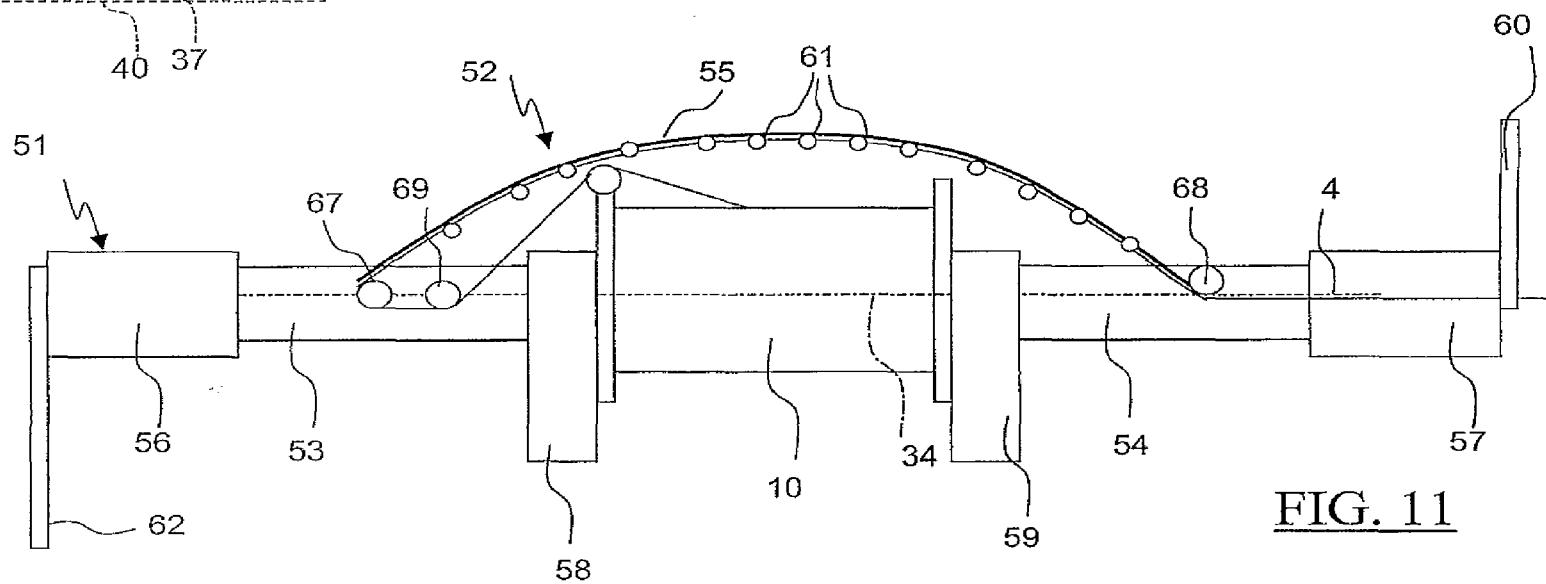
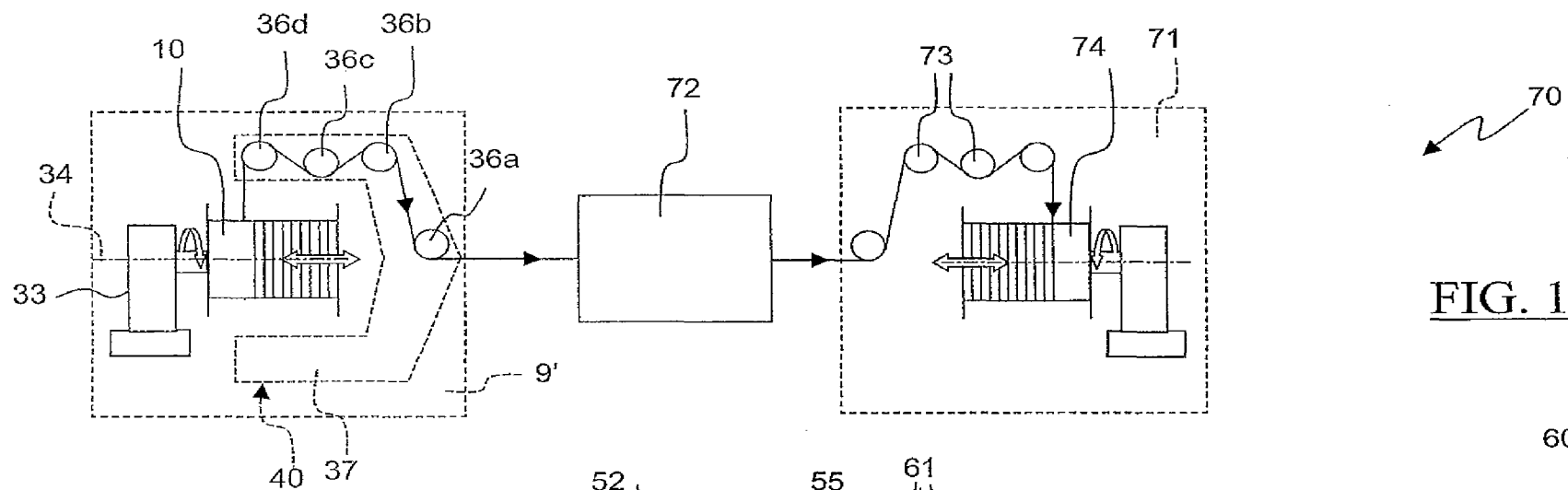
FIG. 7



**FIG. 8**



**FIG. 9**



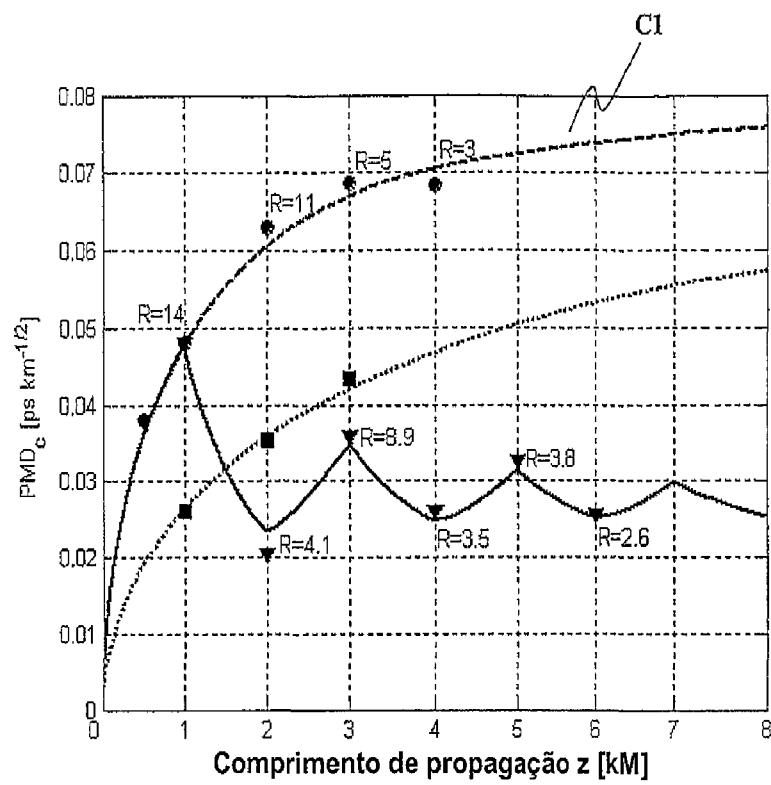


FIG. 12

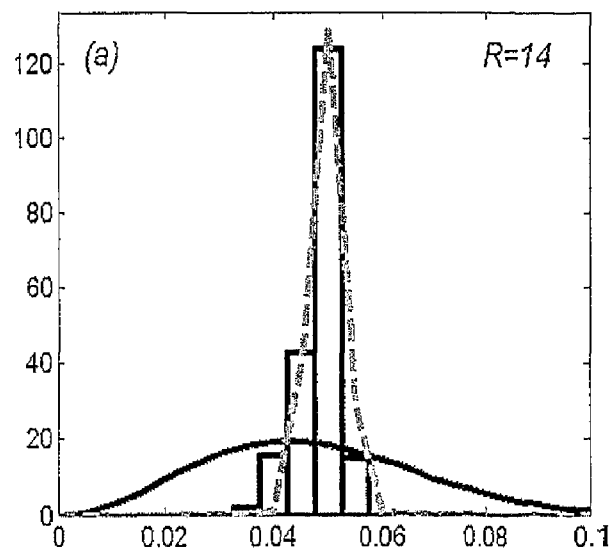


FIG. 13A

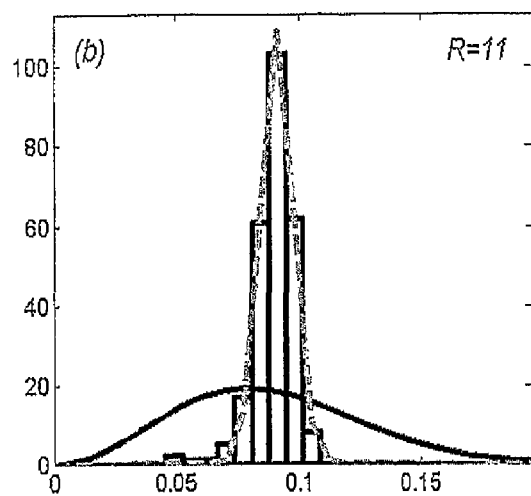


FIG. 13B

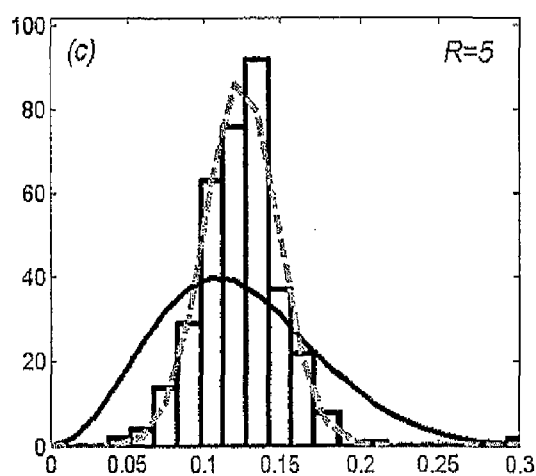
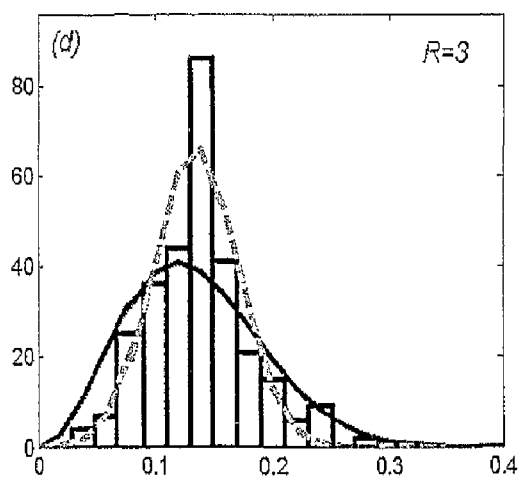


FIG. 13C

FIG. 13D



RESUMO

“ENLACE DE FIBRA ÓPTICA, LINHA DE CABO ÓPTICO, E, MÉTODOS PARA OBTER UM ENLACE DE FIBRA ÓPTICA, PARA PRODUZIR UM CABO ÓPTICO, E PARA OBTER UMA LINHA DE

5 CABO ÓPTICO”

Um enlace de fibra óptica (300) compreende uma pluralidade de trechos de fibra óptica ( $305_{(k-1)}$ , ...,  $305_{(k+6)}$ ) ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ , ...,  $305_{(k+5)}$ ) unidos um com o outro, a pluralidade dos trechos de fibra óptica incluindo no mínimo um primeiro trecho de fibra óptica girado

10 unidirecionalmente ( $305_{(k-1)}$ ,  $305_{(k+1)}$ ,  $305_{(k+3)}$ , ...,  $305_{(k+5)}$ ) e no mínimo um segundo trecho de fibra óptica girado unidirecionalmente ( $305_k$ ,  $305_{(k+2)}$ ,  $305_{(k+4)}$ ,  $305_{(k+6)}$ ) que tem direções de giro ou reciprocamente opostas.