

Caracterização da dispersão numa rede óptica em operação

M. Matos¹, A. Teixeira, P. André

¹Transgás, Lisboa

Abstract—In this work the dispersion characteristics of random spans in a installed private fiber-optic network are discussed, and some field testing measurements techniques are evaluated.

Resumo—Neste trabalho discute-se a caracterização da dispersão numa rede óptica em operação e avalia-se a técnica de campo mais usada na medição da dispersão (desvio de fase).

Index Terms—Dispersion, mono-mode fibers, “Phase-Shift” measurement technique, and modeling simulations.

Palavras-chave—Dispersão, fibras ópticas monomodo, técnica de medição de desvio de fase e modelos de simulação.

I. INTRODUÇÃO

Vários fenómenos físicos são responsáveis pela degradação de sinais na fibra óptica. Estes mecanismos de degradação podem ser basicamente divididos em duas categorias, lineares (e.g. atenuação e dispersão) e não lineares (e.g. efeito de Kerr).

Alguns parâmetros da fibra, como o índice de refração, manifestam características de dependência com a potência e a frequência do sinal, causando interação entre sinais diferentes quando estes se propagam numa fibra.

Neste trabalho, recorrendo a uma ferramenta de simulação, avalia-se o efeito da dispersão numa rede óptica em operação, constituída por fibras monomodo standard e de dispersão deslocada.

Os resultados obtidos são depois confrontados com medições de campo onde se usou a técnica do desvio de fase e as especificações das recomendações G.653 [1] e G.652 [2], da ITU-T.

II. TEORIA

A dependência do índice de refração, $n(\omega)$, relativamente à frequência óptica, pode ser estabelecida através da aproximação dada pela fórmula de Sellmeier [16]:

$$n^2(\omega) = 1 + \sum_1^m \frac{B_j \omega_j^2}{\omega_j^2 - \omega^2} \quad (1)$$

onde ω_j é a frequência de ressonância e B_j representa a força do oscilador da j -ésima ressonância. Os efeitos da dispersão são incluídos fazendo uma expansão em série de Taylor, em torno da frequência central (ω_0):

$$\beta(\omega) = n(\omega) \frac{\omega}{c} = \beta_0 + \beta_1(\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \beta_2(\omega - \omega_0)^2 + \frac{1}{6} \beta_3(\omega - \omega_0)^3 + \dots \quad (2)$$

onde, $\beta_m = \left. \frac{d^m \beta}{d\omega^m} \right|_{\omega=\omega_0}$ (com $m = 0,1,2,\dots$). β_0 é a constante

de fase da portadora, β_1 é o inverso da velocidade de grupo e os termos de ordem superior são responsáveis pela dispersão. O parâmetro β_2 é o termo responsável pela dispersão da velocidade de grupo (GVD) e β_3 é usualmente designado como coeficiente de dispersão de segunda ordem. Os parâmetros β_1 e β_2 relacionam-se com o índice de refração e suas derivadas do seguinte modo [3],[4]:

$$\beta_1 = \frac{1}{c} \left(n + \omega \frac{dn}{d\omega} \right) = \frac{1}{v_g} \quad (3)$$

e,

$$\beta_2 = \frac{1}{c} \left(2 \frac{dn}{d\omega} + \omega \frac{d^2n}{d\omega^2} \right) \cong \frac{\lambda^3}{2\pi c^2} \frac{d^2n}{d\lambda^2} \quad (4)$$

A dependência da velocidade de grupo (v_g) relativamente a frequência conduz ao alargamento dos impulsos ópticos [3], pelo que um comprimento de onda sujeito a uma dispersão positiva, verá as suas componentes mais longas viajarem mais lentamente que as componentes mais curtas, enquanto que um comprimento de onda sujeito a dispersão negativa, verá as suas componentes mais longas viajarem mais rapidamente que as componentes mais curtas.

Se $\Delta\lambda$ for o intervalo de comprimentos de onda emitido por uma fonte óptica, a dimensão do alargamento temporal (ΔT) de um impulso, numa fibra com comprimento L , é [3],[4]:

$$\Delta T = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{L}{v_g} \right) \Delta\lambda = DL \Delta\lambda \quad (5)$$

onde D (expresso em ps/nm.km) é o parâmetro da dispersão que se relaciona com a GVD do seguinte modo [4]:

$$D = \frac{d\beta_1}{d\lambda} = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad (6)$$

O parâmetro D é definido como a alteração do atraso de um impulso por unidade de comprimento da fibra provocado pela mudança unitária do comprimento de onda:

$$D_\lambda = \frac{1}{L} \frac{d\Delta\tau}{d\lambda} \quad (7)$$

onde $\Delta\tau$ é o atraso relativo de grupo (em ps), L é o comprimento total de fibra a medir (em km), e λ é um comprimento de onda particular (em nm). O atraso relativo de grupo pode ser deduzido a partir do correspondente desvio de fase, ϕ , e da relação $\tau = \phi/(2\pi f)$, onde f representa a frequência de modulação.

A penalidade imposta pela dispersão nos dados a uma taxa de transmissão (B) pode ser estimada usando o critério $B\Delta T < 1$ [4] e, fazendo a transformação da equação (5) esta condição expressa-se na forma:

$$BL|D|\Delta\lambda < 1 \quad (8)$$

A dependência do parâmetro D relativamente ao comprimento de onda é regida pela dependência do índice de refração não linear (\bar{n}) da frequência. Rearranjando a equação (6) esta dependência pode ser expressa da seguinte forma:

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \frac{d}{d\omega} \left(\frac{1}{v_g} \right) = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \left(2 \frac{d\bar{n}}{d\omega} + \omega \frac{d^2\bar{n}}{d\omega^2} \right) \quad (9)$$

Para fibras da norma G.653 [1] a medição do atraso de grupo versus comprimento de onda pode ser determinado a partir da equação [3],[10],[11]:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (10)$$

O parâmetro (D) determina-se derivando a equação (10):

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0) S_0 \quad (11)$$

onde S_0 representa o valor da inclinação da dispersão $S(\lambda) = dD/d\lambda$ no comprimento de onda de dispersão nula.

Uma outra aproximação possível é através da equação de Sellmeier [5][6][7][12], cuja fórmula empírica descreve bem o efeito da dispersão. Nesse modelo a equação quadrática tem a seguinte forma:

$$\tau(\lambda) = A\lambda^2 + B\lambda + C \quad (12)$$

Para fibras da norma G.652 [2], D é especificado colocando limites aos parâmetros da curva de dispersão, na região dos 1310 nm. Assim, o limite de $D(\lambda)$ para qualquer comprimento de onda pode ser definido em termos de um comprimento de onda de dispersão mínima e máxima, $\lambda_{0\min}$ e $\lambda_{0\max}$, respectivamente e o valor máximo do coeficiente de inclinação no ponto de dispersão nula ($S_{0\max}$):

$$\begin{aligned} \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] &\leq D(\lambda) \leq \\ &\leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \end{aligned} \quad (13)$$

III. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA DISPERSÃO COM RECURSO A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Para avaliar a penalidade imposta pela dispersão cromática na propagação dos impulsos no interior de uma fibra óptica monomodo, socorremo-nos de uma ferramenta de simulação o programa VPI Transmission Maker.

Na Fig. 1 mostra-se a montagem usada no simulador para essa avaliação a uma taxa de transmissão de 10 Gb/s. A avaliação é feita programando o simulador com parâmetros da dispersão diferentes; 16 ps/nm.km para fibras monomodo standard (SMF) e 0,1 ps/nm.km para fibras de dispersão deslocada (DSF), mantendo-se constante o valor da atenuação.

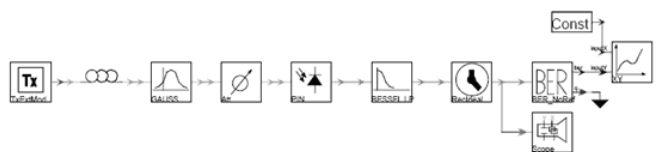


Fig. 1: Diagrama de blocos utilizado para avaliação da penalidade resultante do efeito da dispersão, em sistemas monomodal.

No gráfico da Fig. 2 comparam-se as taxas de erros após detecção, nas duas situações atrás descritas após 130 km de fibra. Assim, e considerando apenas a dispersão como critério e para uma taxa de erros de 10^{-12} , verifica-se que um sinal pode percorrer 115 km numa fibra de dispersão deslocada e 92 km para uma fibra monomodo standard.

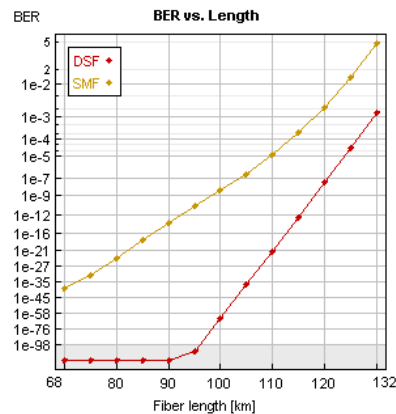


Fig. 2: Penalidade resultante do efeito da dispersão, mantendo-se a atenuação constante ao longo da fibra.

Uma forma prática de avaliar a propagação dos impulsos ópticos é pela visualização do “diagrama de olho” que é um indicador da qualidade de desempenho de um sistema. A recomendação G.957 [9] da ITU-T especifica máscaras para diagramas de olho, das quais a Fig. 3 mostra um exemplo.

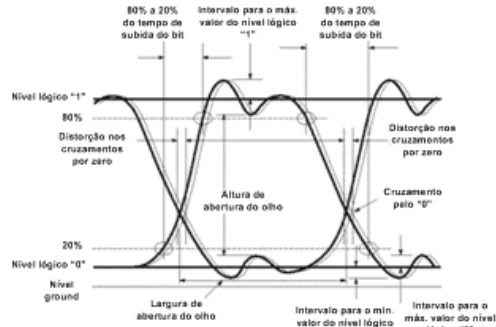


Fig. 3: Diagrama de olho onde se destacam os principais parâmetros extraíveis da sua observação.

A medição do diagrama de olho é feita no domínio do tempo e permite verificar num osciloscópio com resolução adequada, os efeitos da distorção numa dada forma de onda. Um diagrama de olho aberto corresponde a distorção mínima (Fig. 4 a). A distorção do sinal devido ao ruído ou à interferência inter-simbólica resultará num diagrama de olho fechado, Fig. 4 b).

Os diagramas da Fig. 4 mostram representações do diagrama de olho para as taxas de erros de 10^{-12} e de 10^{-3} , relativamente às curvas representadas na Fig. 2.

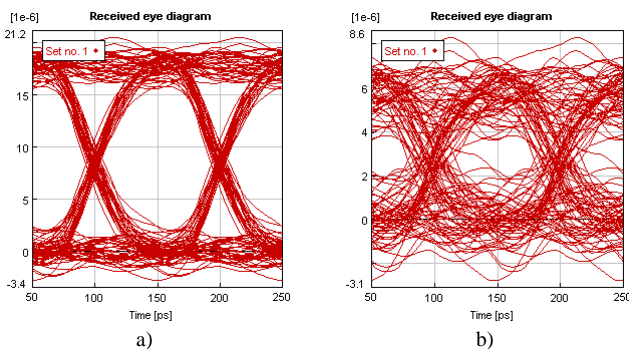


Fig. 4: a) diagrama de olho aberto correspondente a uma taxa de erros de 10^{-12} , b) diagrama de olho fechado correspondente a uma taxa de erros de 10^{-3} .

A recomendação G.691 [8] da ITU-T define para sistemas de comunicação ópticos uma probabilidade de erro não inferior a 10^{-12} .

IV. INTERFACES FÍSICAS DO SISTEMA SDH

Antes de continuarmos a avaliação do efeito da dispersão torna-se necessária uma abordagem sucinta das interfaces do sistema SDH relevantes com os cenários de implementação que mais à frente se discutem. A ITU-T definiu várias interfaces físicas para o sistema SDH (nomeadamente nas recomendações G.691 [8] e G.957 [9]) que se resumem na Tabela I.

TABELA I

Caracterização das aplicações de acordo com as distâncias a vencer

| Aplicação | | Distâncias (km) | |
|-------------------------|----|-----------------|------|
| Categoria | Id | 1310 | 1550 |
| | | (nm) | (nm) |
| Intra-Office | I | < 2 | |
| Short-haul Inter-office | S | 15 | 40 |
| Long-haul Inter-office | L | 40 | 80 |
| Very-Long-haul | V | 60 | 120 |
| Ultra-Long-haul | U | < 160 | |

As aplicações são classificadas em categorias de acordo com as distâncias a vencer. A classificação das interfaces ópticas tendo em consideração as ligações mais longas e para taxas de transmissão de 2,5 e 10 Gb/s (STM-16 e STM-64, respectivamente) são resumidas na Tabela II.

No código de aplicação, o primeiro dígito relaciona-se com as características das aplicações em termos das distâncias a vencer (*L* de long-haul, i.e.), o segundo dígito indica o nível hierárquico SDH (16 de 2,5 Gb/s, i.e.) e o último dígito relaciona o tipo de fibra com a janela de transmissão (2 indica o comprimento de onda nominal 1550 nm usando fibra da norma G. 652 [2] e 3 o equivalente usando fibras da norma G.653 [1]).

TABELA II

Codificação das interfaces ópticas baseada no tipo e código de aplicação

| Bit rate | Código | Bit rate | Código |
|----------|--------|----------|--------|
| STM-16 | L-16.3 | STM-64 | L-64.3 |
| | V-16.3 | | V-64.3 |
| | U-16.3 | | |

Na Tabela III resumem-se os valores máximos da dispersão especificados nas recomendações da ITU-T relativamente as aplicações do tipo V, L e U para os ritmos de transmissão de 2,5 e 10 Gb/s.

TABELA III

Valores Máximos da Dispersão Especificados pelas Recomendações da ITU-T

| Código | D_{max} | Código | D_{max} |
|--------|-----------|--------|-----------|
| V-16.3 | 400 | V-16.2 | 2400 |
| U-16.3 | 530 | U-16.2 | 3200 |
| L-64.3 | 260 | L-64.2 | 1600 |
| V-64.3 | 400 | V-64.2 | 2400 |

V. AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DO DESVIO DE FASE

Uma solução para medição da dispersão cromática designa-se de *técnica de desvio de fase* [10]-[14] e consiste na medição do atraso de grupo medido no domínio do tempo,

pela detecção do desvio de fase de um sinal sinusoidal modulado.

O coeficiente da dispersão cromática pode ser medido para comprimentos de onda discretos ou sobre uma gama alargada de comprimentos de onda. A Fig. 5 mostra o diagrama de blocos para avaliação da dispersão cromática pelo método do desvio de fase.

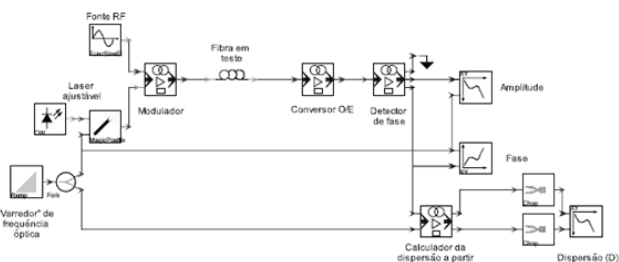


Fig. 5: Montagem para avaliação da técnica de medição do desvio de fase.

A medição da dispersão cromática pelo método do desvio de fase (Fig. 5) requer a modulação em amplitude do sinal da fonte óptica por um outro sinal designado de referência e depois aplicado a fibra em teste. O sinal transmitido na fibra em teste é detectado e a sua fase é comparada com o sinal de referência usado na modulação do sinal de entrada.

A curva do atraso de grupo é construída a partir da acumulação dos desvios no atraso de grupo para o conjunto de intervalos de comprimento de onda de interesse, usando-se as equações (10 e 11). As Fig. 6 e 7 mostram as curvas dos desvios de fase e do parâmetro D feitas em fibras SMF e DSF.

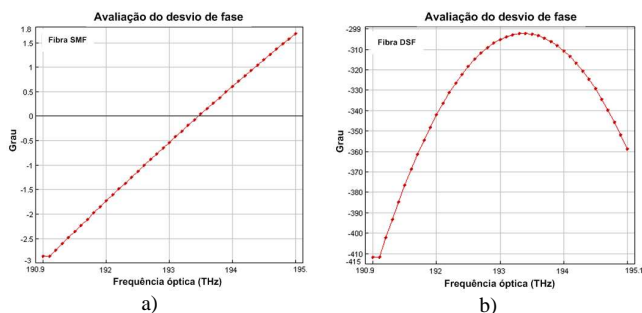


Fig. 6: Curva do desvio de fase obtida na avaliação de D em fibras SMF (a) e em fibras DSF (b), respectivamente.

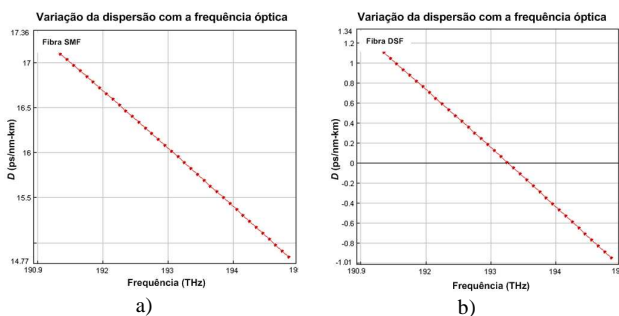


Fig. 7: Coeficiente de dispersão cromática medido no intervalo 1538 a 1570 nm; em fibras SMF (a) e em fibras DSF (b).

VI. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O equipamento de teste usado nas medições de campo foi o S18 (Chromatic Dispersion System) do fabricante York Technology (Fig. 8), permite o rastreio manual do desvio de fase relativo sobre um intervalo de comprimentos de onda seleccionáveis e/ou discretos.



Fig. 8: Equipamento de teste usado na medição da dispersão cromática.

A metodologia de teste usada está conforme os procedimentos das normas; EIA/TIA FOTP-169 [13] e IEC 793-1-C5A [14].

A Fig. 10 mostra a generalização de um circuito óptico entre estações (“A” >>> “N”) onde poderão existir até $N-1$ estações intermédias.

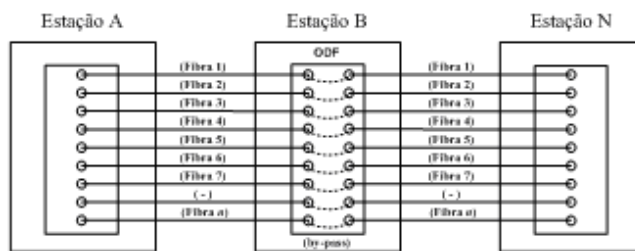


Fig. 9: Ligação típica de circuitos ópticos ponto-a-ponto onde poderão existir até $N-1$ estações intermédias num determinado caminho óptico.

O primeiro exemplo que se apresenta diz respeito a uma medição de campo realizada durante o mês de Janeiro 2006 sobre três troços de fibras ópticas concatenadas que no conjunto formam um caminho óptico com um comprimento total de 14,5 km, entre as designadas estações “A” e “B” e se mostra na Fig. 10.

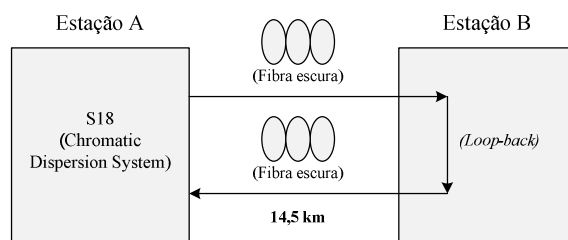


Fig. 10: Caso particular de um caminho óptico, usado na medição de campo em Janeiro de 2006 para avaliação dos parâmetros da dispersão.

O caminho óptico da Fig. 10, tem um comprimento total de 29 km, com “loop” na estação “B” e usa as fibras 1 (para ir) e a fibra 2 (de volta). As três secções concatenadas são constituídas por 32 fibras monomodo de dispersão deslocada, com um índice de refração (IOR) de 1,4718 @ 1.310 nm e de 1,4711 nm @ 1.550 nm.

A medição da dispersão cromática foi realizada nos seguintes intervalos de comprimentos de onda, com espaçamentos de 5 nm:

- Segunda janela óptica; entre 1250 e 1350 nm.
- Na terceira janela óptica; entre 1500 e 1600 nm.

Os dados obtidos na medição estão representados no gráfico da Fig. 11.

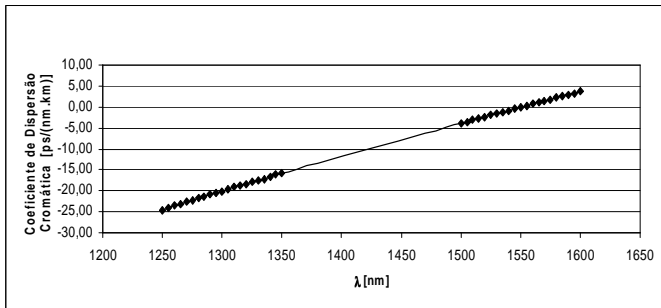


Fig. 11: Perfil da dispersão cromática medido nas fibras 1 e 2 (em loop). Os quadrados a cheio representam valores de comprimento de onda efectivamente medidos, os restantes são obtidos por extrapolação.

Os valores do comprimento de onda de dispersão nula, λ_0 , e da inclinação da dispersão, S_0 , correspondentes a 1550,82 nm e 0,07586 [ps/nm².km] foram lidos directamente no equipamento de medida.

A recomendação G.653 [1] especifica os seguintes valores máximos para fibras ópticas cabladas:

- Dispersão cromática [em ps/nm.km]; -25 @1310 nm e 2.7 @1550 nm.
- Inclinação de dispersão nula, S_0 , [em ps/nm².km] $\leq 0,085$.
- Comprimento de onda de dispersão nula [em nm] ≥ 1535 e ≤ 1565 .
- Comprimento de onda corte para fibra cablada ≤ 1260 nm.

Confrontando os valores obtidos na medição com as especificações da rec. G.653 da ITU-T, verifica-se que para os intervalos de comprimentos de onda considerados a fibra óptica em teste cumpre com os requisitos especificados.

Na Tabela IV comparam-se os valores actuais com os valores da dispersão medidos anteriormente, em 1996, após instalação dos cabos. Essa comparação restringe-se aos dados disponíveis; coeficiente de dispersão cromática (D) nos comprimentos de onda discretos de 1310 e 1550 nm, e aos valores de λ_0 , e de S_0 .

TABELA IV

Comparação dos valores medidos na rede óptica em 1996 e os medidos em Janeiro de 2006

| # | Un. | λ [nm] | Valores medidos | |
|-------------|------------------------|-------------------|-----------------|----------|
| | | | 2006 | 1996 |
| D | ps/km.nm | 13 | -19,15 | -19,11 |
| D | ps/km.nm | 15 | 0,06 | -0,02 |
| λ_0 | nm | | 1.550,8 | 1.550,21 |
| S_0 | ps/nm ² .km | | 0,07586 | 0,07476 |

Analisando os valores da Tabela IV verifica-se que as fibras não evidenciam sinais de envelhecimento, muito embora seja de assinalar valores discrepantes entre medições.

Avaliando agora o efeito acumulado da dispersão na rede óptica com a concatenação de mais cabos e em face dos dados disponíveis nas medições realizadas em 1996, é possível inferir da possibilidade de implementação das hierarquias STM-N. Este novo caminho óptico criado com a concatenação de mais fibras cabladas designa-se de “A”>>>“F”. Na Tabela V mostra-se a média dos valores da dispersão cromática medidos há 10 anos @1550 nm.

TABELA V

Valores médios do Coeficiente de Dispersão e valor da Dispersão acumulada medidos em 1996

| Ligaçã o | D [ps/nm.k m] | L (km) | Dispersão acumulada [ps/nm] |
|---------------|-----------------------|--------------|-----------------------------------|
| A>>>B | -0,14 | 9,74 | -10,12 |
| B>>>D | -0,05 | 12,68 | -3,69 |
| D>>>E | -0,06 | 16,85 | -4,39 |
| E>>>F | -0,03 | 14,50 | -2,20 |
| TOTAIS | | 53,76 | -20,40 |

A técnica do desvio de fase obriga a um comprimento mínimo de fibra (≥ 2 km) para que as medições sejam significativas. Em face disso e dada a distância muito curta entre as estações “B” e “C” (cerca de 200 metros), foi feito “by-pass” às fibras nesta última.

Os valores da coluna da dispersão acumulada da Tabela V são obtidos assumindo-se uma variação linear com a distância. Ao fim dos 53,76 km o valor acumulado da dispersão cromática é de -20,4 ps/nm e por fim para uma ligação completa “A”>>>“F”>>>“A” (com “loop” na estação “F”), e com um comprimento total de 108 km, o valor da dispersão acumulada será de -41 ps/nm (em média).

Comparando os valores de dispersão cromática medidos na rede óptica e as especificações das recomendações G.957 [9] e G.691 [8] da ITU-T (apresentadas na Tabela III) verifica-se que a rede óptica cumpre com os requisitos dessas especificações, podendo ser assumido que, considerando apenas o critério da dispersão, é possível a implementação da aplicação V-64.3.

De seguida faz-se a avaliação de um caminho óptico onde as fibras instaladas são do tipo monomodo standard. As medições de campo foram realizadas após instalação dos cabos de fibras ópticas em Junho de 2004. Esta parte da rede óptica agora avaliada dista da anterior cerca de 60 km, relativamente às estações mais próximas. O caminho óptico tem um comprimento total de 78,1 km como mostra a Fig. 12.

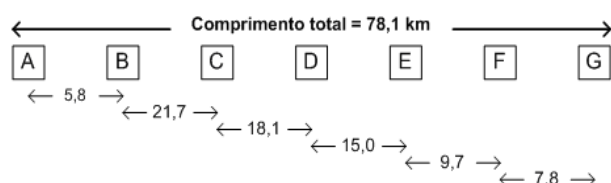


Fig. 12: Secção completa da rede óptica composta por fibra monomodo standard onde foi avaliada a dispersão cromática em Junho de 2004.

Os diversos cabos compõem-se de 24 fibras monomodo standard, com um índice de refração (IOR) de 1,4675 @1310 nm e de 1,4681 @1550 nm.

Por questões de ordem prática, na implementação das medições de campo, o caminho óptico foi seccionado em quatro partes; de “C” para “A”, de “C” para “D”, de “E” para “F” e de “F” para “G”. As medições foram realizadas fazendo pares em fibras adjacentes. Nas estações intermédias foi feito “by-pass” as fibras.

A medição da dispersão cromática foi realizada nos seguintes intervalos de comprimentos de onda, com espaçamentos de 5 nm:

- Segunda janela óptica; entre 1250 e 1350 nm.
- Na terceira janela óptica; entre 1500 e 1600 nm.

Os dados mais significativos estão resumidos na Tabela VI, unicamente para o par 1-2, por razões de simplificação da análise. A Tabela VI mostra os valores medidos para a dispersão, o comprimento de onda de dispersão nula ($\lambda_0, 1310$) e a inclinação da dispersão no ponto de dispersão nula ($S_0, 1310$). A distância apresentada na Tabela VI corresponde ao dobro do comprimento da ligação, uma vez que as medições foram realizadas com as fibras em “loop”.

TABELA VI

Valores de dispersão medidos na rede óptica em Junho de 2006

| Ligação | D [ps/nm.k m] | λ_0 [nm] | S_0 [ps/nm2.k m] | Dist. (km) | D Acumulad o [ps/nm] |
|---------|-----------------------|------------------|--------------------------|---------------|------------------------------|
| C>>>A | 16,49 | 1314,1 3 | 86,70 | 55,00 | 906,95 |
| C>>>D | 16,54 | 1313,6 6 | 86,20 | 36,20 | 598,75 |
| E>>>D | 16,53 | 1313,6 6 | 85,60 | 30,00 | 495,90 |
| E>>>G | 16,62 | 1312,9 4 | 86,37 | 35,00 | 581,70 |
| Média | 16,55 | 1313,6 0 | 86,22 | | |
| TOTAIS | | | | 156,2 0 | 2583,30 |

O valor da dispersão acumulada, 2583 ps/nm, apresentado na Tabela VI, foi obtido assumindo-se uma variação linear com a distância. Para a ligação “A”>>>”G”, que corresponde a metade do comprimento, esse valor é de 1292 ps/nm.

A rec. G.652 [2] especifica os seguintes valores máximos para fibras cabladas:

- Inclinação de dispersão nula, $S_{0max}, \leq 0,093$ [em ps/nm².km].
- Comprimento de onda de dispersão nula ≥ 1300 e ≤ 1324 [em nm].
- Comprimento de onda corte para fibras ópticas cabladas ≤ 1260 nm.

Confrontando os valores medidos na rede óptica com as especificações da rec. G.652 [2] verifica-se que nos intervalos de comprimentos de onda considerados a fibra

óptica em teste cumpre com os requisitos especificados nessa recomendação.

A rec. G.652 especifica ainda que, quando as fibras monomodo standard são usadas na 3ª janela, a dispersão pode ser caracterizada num intervalo de comprimentos de onda em torno dos 1550 nm, como função de uma relação linear com o comprimento de onda. Essa relação pode ser descrita em termos de um coeficiente de dispersão típico e de um coeficiente de inclinação da dispersão @1550 nm. Esses valores juntamente com o comprimento da ligação podem ser usadas como valores típicos no dimensionamento de caminhos ópticos, da seguinte forma: $D_{link}(\lambda) = L_{link}[D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)]$, em ps/nm [2].

Comparando agora os valores de dispersão cromática medidos na rede óptica e as especificações das recomendações G.957 [9] e G.691 [8] da ITU-T (resumidas na Tabela III) verifica-se que a rede óptica constituída por fibras monomodo standard cumpre com as especificações dessas recomendações da ITU-T, usando uma forma de compensação da dispersão, adequada.

Em face dos resultados obtidos na medição e das especificações da rec. G652 pode ser assumido que, e apenas face ao critério da dispersão, é possível a implementação da aplicação L-64.2 na rede óptica constituída por fibras SMF, no caminho óptico entre as estações “A”>>>”G”, com um comprimento total de 78,1 km e um valor de dispersão médio (acumulado) de 1292 ps/nm.

VII. CONCLUSÕES

Neste trabalho explicaram-se os efeitos da dispersão e, o seu comportamento, inferindo a sua dependência do comprimento de onda. Fibras SMF e DSF foram caracterizadas, pela técnica de medição do desvio de fase.

Apresentaram-se ainda os valores medidos na rede óptica e confrontaram-se com as principais especificações das recomendações da ITU-T (G.652, G.653, G.957 e G.691) para posterior avaliação da potencialidade da rede óptica na implementação de sistemas hierárquicos, STM-N.

Num primeiro caso apresentaram-se dados actuais da dispersão medidos em troços constituídos por fibras monomodo de dispersão deslocada e compararam-se esses valores com os anteriores medidos nos mesmos troços em 1996 quando da instalação da rede óptica. Da análise dos dados disponíveis, verifica-se que a fibra óptica instalada não exhibe vestígios de envelhecimento.

De seguida, pela concatenação de mais troços de fibras e em face dos dados recolhidos na rede óptica em 1996, avaliou-se a possibilidade da implementação dos níveis hierárquicos STM-N (aplicações, L-16.3 e L-64.3) conforme as recomendações da ITU-T (G.957 e G. 691) e conclui-se ser possível a implementação da aplicação L-64.3 num caminho óptico com um comprimento total de 108 km.

Por ultimo foi caracterizado um caminho óptico com cerca de 78 km constituído pela concatenação de n cabos de fibras ópticas monomodo standard e avaliou-se a dispersão cromática nessa parte da rede óptica. A viabilidade da implementação das aplicações L-16.2 e L.64.2, foi igualmente verificada tendo-se concluído existir essa

possibilidade, usando-se compensação da dispersão, conforme especificam as recomendações da ITU-T.

Estas medições de consistência realizadas em partes diferentes da rede óptica em operação e a manutenção dos dados recolhidos na altura da instalação constituem as bases de um processo que se designa de cadastro da rede óptica, que se constitui como ferramenta de gestão de fundamental importância, na operação, manutenção e “upgrade” de um sistema de comunicações.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of ITU), “Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre cable”, Recomendação G.653, 1997.
- [2] ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of ITU), “Characteristics of a single-mode optical fibre cable”, Recomendação G.652, 2000.
- [3] Gerd Keiser, “Optical Fiber Communications”, 3rd ed., McGraw-Hill Higher Education, USA (2000).
- [4] Govind P. Agrawal, “Fiber-Optic Communication Systems”, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York (2002).
- [5] A. Jones, “Historical Sketch of the Electrical Telegraph”, Putman, Nova Iorque, 1852 em G. P. Agrawal, “Fiber-Optic Communication Systems”, John Wiley & Sons, Inc., New York (1992).
- [6] K. C. Kao e G. A. Hockham, “Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies”, Proceedings IEEE, vol. 113, nº 7, pp. 1151-1158, 1996.
- [7] R. Ramaswami e K.N. Sivaraja, “Optical Networks: A Practical Perspective”, 2ª Edição, São Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [8] ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of ITU), “Optical interfaces for single channel STM-64, STM-256 systems and other systems with optical amplifiers”, Recomendação G.691, 1998.
- [9] ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of ITU), “Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy”, Recomendação G.957, 1999.
- [10] Dennis Derickson, “Fiber Optic Test and Measurement”, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey (1998).
- [11] ITU-T, “Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres”, Recomendação G.650, Abril, 1997.
- [12] S. J. Fielding & R. P. Dave, “Experience with Field Measurements of Optical Fiber Bandwidth and Development of an Automated Method”, Digest, 1981.
- [13] Telecommunications Industry Association (TIA), “Chromatic dispersion measurement of singlemode optical fibers by the phase shift method”, EIA/TIA FOTP-169, 1992.
- [14] International Electrotechnical Commission (IEC), “Measurement methods and test procedures - Chromatic dispersion”, IEC 793-1-C5A, 1992. Actualmente com a referência IEC 60793-1-42 - Ed. 1.0 , Método A, 2001.
- [15] Dennis Derickson, “Fiber Optic Test and Measurement”, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, pp.482-486, 1998.
- [16] T. G. Giallorenzi, “Optical communication research and technology”, *Fiber Optics*, Proc. IEEE 66(7), pp. 744-780, 1978.