

Olivério D. D. Soares
 Professor Catedrático (UP)

Ensaaios de Redes de Fibra Óptica com Instrumentação Básica

1. Introdução

Num sistema de transmissão de informação identificamos três elementos essenciais: o emissor, o receptor e o canal. Estes três elementos deverão ser ensaiados antes da sua interligação, bem como os componentes de interface. Após a montagem, deverá ser possível ensaiar o sistema com identificação da contribuição dos diferentes elementos para o desempenho e limitações do sistema integrado.

No caso de uma rede de fibras ópticas, existe no mercado uma variedade de instrumentação para realização dos ensaios, bem como um acervo normativo extenso, no sentido de orientar e regulamentar os ensaios, por forma a compatibilizar os interesses em jogo e promover a expansão do mercado, sobre uma base de referência tecnologicamente sólida.

Pretende-se neste texto evidenciar que com um medidor de potência óptica (radiómetro para fibras ópticas) e um reflectómetro óptico de retrodispersão ou retro-espalhamento no domínio do tempo (ROR), mais conhecido por OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), é possível ensaiar uma ligação por fibra óptica. O recurso a equipamentos mais sofisticados far-se-á para análise de desempenho e caracterização paramétrica.

Torna-se, assim, necessário conhecer os princípios básicos de funcionamento destes dois instrumentos, para poder antecipar e entender que informações poderão fornecer em termos do ensaio da ligação por fibra óptica.

2. Reflectómetro Óptico de Retrodispersão no Domínio do Tempo (ROR ou OTDR)

2.1. Princípio do OTDR

Numa ligação por fibra óptica, os primeiros ensaios a realizar dizem respeito à continuidade e homogeneidade dos troços de fibra óptica, ao ensaio das interconexões fibra-fibra e dos conectores das fibras aos componentes do sistema. Nestes ensaios, numa ligação de longa distância (WAN – *wide area network*) ou de curta distância (LAN – *local area network*), a utilização de um OTDR é essencial.

O OTDR realiza medições relacionadas com as perdas de potência óptica, designadamente: coeficiente linear de atenuação; atenuação total, variações na uniformidade da atenuação; localização seccional de defeitos.

Um OTDR detecta ao longo da fibra óptica e localiza as modificações nas características de transmissão. Estas modificações recebem a designação de *eventos* ou acontecimentos, sejam eles junções, conectores, defeitos nos cabos de fibras ópticas, curvaturas exageradas, etc.

O OTDR envia um impulso intenso de radiação laser ao longo da fibra e mede a radiação retrodispersa, enviada pelos defeitos microscópicos de estrutura da fibra (dispersão de Rayleigh) e por reflexões (reflexões de Fresnel), originadas nas junções, interfaces dos conectores ou outros acidentes na fibra (fissuras, curvaturas, cortes, etc.).

A dispersão de Rayleigh é originada nas micro-perturbações do índice de refração da fibra, devidas à própria estrutura do material do núcleo e da bainha da fibra óptica. Apesar dos progressos nas técnicas de produção de fibra óptica, não é possível a eliminação completa destas micro-variações, que no limite são intrínsecas à própria natureza amorfa do material.

As reflexões de Fresnel ocorrem nas interfaces, que materializam variações do índice de refração bruscas e descontínuas, isto é, localizadas. Tais variações acontecem na junção de troços de fibras ópticas, num conector, etc.

A velocidade de propagação da radiação na fibra óptica depende do material da fibra. O fabricante do cabo de fibra óptica especifica a velocidade de propagação para as fibras ópticas do cabo. Com o conhecimento desta velocidade, o tempo de propagação pode ser convertido em distância pelo OTDR. O tempo de trânsito é medido pelo relógio interno do OTDR.

2.2. Traço do OTDR

O OTDR apresenta, normalmente, um gráfico da potência óptica relativa em função da distância (Figura 3). Este gráfico é conhecido pela designação de traço do OTDR.

No traço do OTDR observa-se um decaimento da potência óptica ao longo de todo o comprimento da fibra óptica, devido à atenuação normal da fibra óptica e ao efeito sobre a retrodispersão. Mudanças bruscas na potência óptica indicam a presença de eventos ao longo da fibra.

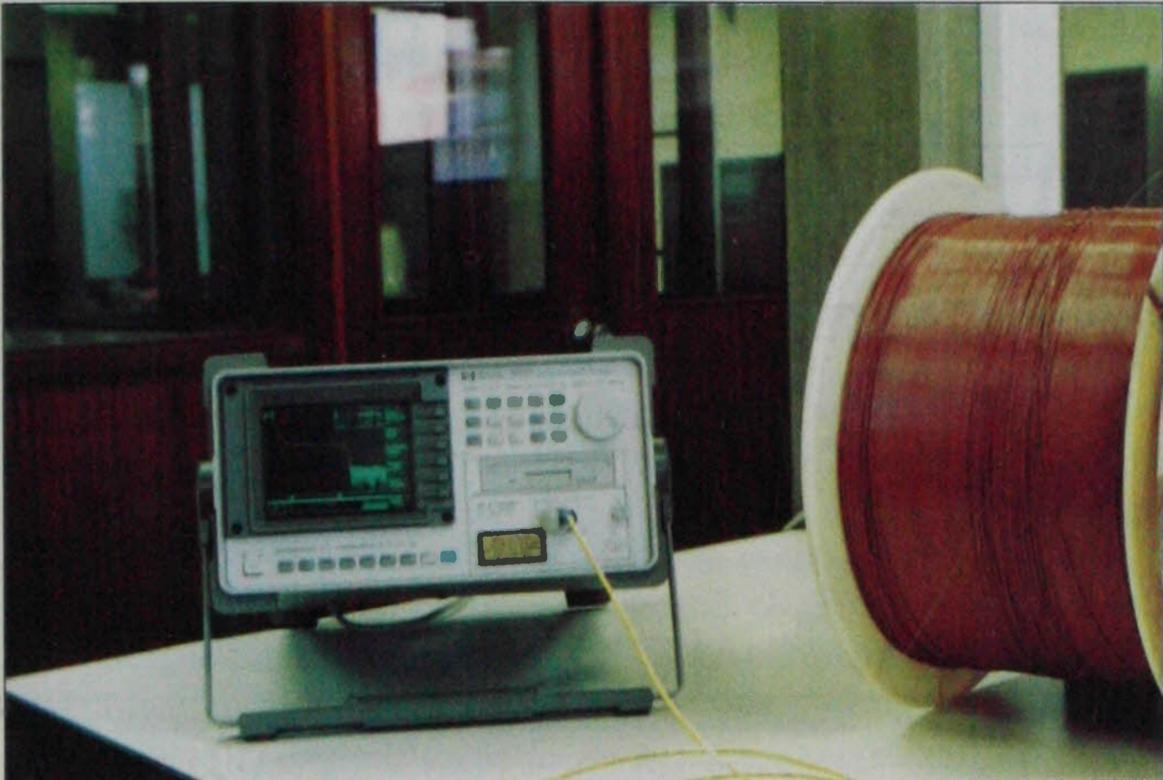


Fig. 1 - OTDR, HP8146A, em uso, no ensaio de uma ligação por fibra óptica. Foto recolhida durante um ensaio EN 188000-303, pelo IEP - Instituto Electrotécnico Português.

(ensaio bidireccional) e considerando o traço médio dos traços obtidos no ensaio.

Outra razão para o ensaio bidireccional provém do facto de que a ligação poderá ter um desempenho distinto, dependente do sentido de propagação. Em situação extrema, o sistema poderá operar satisfatoriamente quando a transmissão é num sentido, e ser insuficiente para a transmissão no sentido inverso.

2.4. Detecção de Eventos a Curta e Longa Distância

O utilizador espera que o OTDR detecte e meça os eventos relativos ao troço de fibra óptica, a curta distância da ligação ao OTDR, bem como os eventos localizados a longa distância.

Para a detecção de eventos a curta distância, o OTDR injectará impulsos curtos, da ordem de alguns nano-segundos (1 ns equivale a cerca de 0,3 m de fibra óptica). A detecção a longa distância (dezenas de quilómetros) necessita de impulsos longos, em geral, da ordem dos μ s, para que chegue ao OTDR suficiente radiação retrodispersa.

A caracterização do troço de fibra ao longo de todo o seu comprimento vai requerer ensaios múltiplos, variando a largura do impulso interrogador do OTDR. Os OTDRs mais modernos dispõem de um processo automático de mudança da largura do impulso para detecção a curta e longa distância sobre o troço de fibra óptica.

Existem limitações de resolução espacial para o OTDR, no sentido do espaçamento mínimo, para

Pela análise do traço no OTDR, podemos identificar onde, ao longo da fibra óptica, se localizam os defeitos ou problemas do cabo de fibras ópticas. A radiação retro-reflectida ou retrodispersa, conhecida como assinatura retrodispersa (*backscatter signature*), permite inferir do tipo de problema, quer seja uma fissura na fibra óptica do cabo quer se trate de uma inter-conexão defeituosa.

O registo do traço permite estabelecer comparações com traços de referência. As comparações permitem analisar discrepâncias, ou acompanhar a evolução, assinalando as degradações e eventualmente as respectivas localizações, que requeiram acções de manutenção.

2.3 Erros na Interpretação do Traço do OTDR

A interpretação do traço do OTDR nem sempre é evidente e pode por vezes conduzir a erros na análise dos eventos ou nas determinações quantitativas.

A extracção da informação a partir do traço requer experiência e sobretudo consciência das incertezas e limitações que lhe são inerentes.

A tentativa de determinar as perdas totais de potência óptica num troço da ligação por fibra óptica, tomando a pendente do traço obtido com um OTDR, poderá conduzir a um valor erróneo; basta que ocorram variações no coeficiente de retrodispersão da fibra óptica, repercutindo-se na exactidão da medição de perdas. As variações podem mesmo conduzir a que o OTDR meça perdas com sentido positivo numa junção, isto é, perdas positivas que implicariam um ganho de potência para a radiação do impulso, emitido pelo OTDR, quando este passa através da junção. A fibra óptica é um componente passivo, que só poderá atenuar a radiação e nunca a amplificar.

A eliminação de alguns destes tipos de erros na interpretação do traço pode ser obtida efectuando o ensaio nos dois sentidos de propagação, injectando o impulso, sequencialmente, nos dois extremos do troço de fibra óptica

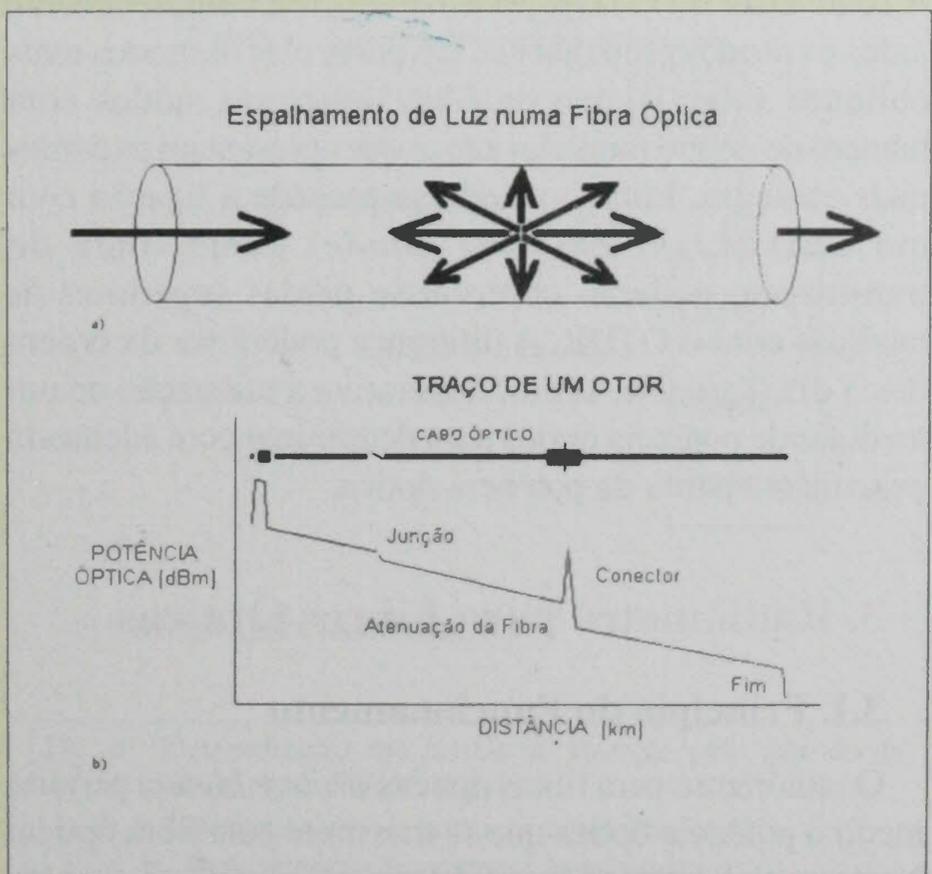


Fig. 2 - a) Princípio de funcionamento do OTDR, tendo por base as medidas de retroespalhamento do impulso de ensaio; b) Localização de eventos num traço do OTDR.

detecção de reflexões com localizações próximas. É que a radiação reflectida pode saturar o detector do OTDR, tornando-o cego durante um intervalo de tempo, necessário à reposição do ponto de funcionamento do detector. Durante este tempo de saturação e reposição, o OTDR não detecta qualquer outra reflexão. Convertendo este tempo de "cegueira" para distância, significa que ao OTDR se associa uma distância morta de eventos (*event dead zone*). Distâncias mortas de eventos da ordem de 1 m são frequentes, de modo que o OTDR não discrimina reflexões separadas por tais distâncias.

O OTDR apresenta também uma distância morta de atenuação (*attenuation dead zone*), que corresponde ao tempo que

o detector necessita para recuperar de variações de $\pm 0,5$ dB no nível de potência de funcionamento. Transpondo o tempo em distância, para eventos localizados além desta distância morta de atenuação a partir da reflexão, o OTDR pode medir com aceitável exactidão a amplitude da reflexão sequente. Um OTDR poderá apresentar uma distância morta de atenuação da ordem dos 15 m. Depois de cada reflexão, situar-se-á uma distância morta de eventos e outra de atenuação.

Para fibras ópticas monomodais, existe uma certa predição dos resultados a observar com o OTDR, devido ao facto de que a propagação na fibra óptica monomodal não depende das condições de excitação modal. A propagação também não é, no essencial, afectada pela variação das condições físicas e mecânicas nas fibras ópticas e no cabo. Contudo, no ensaio de fibras ópticas multimodais, podem ocorrer erros no ensaio com o OTDR. A fonte laser do OTDR pode não excitar completamente todos os modos propagáveis, em particular os modos mais oblíquos sobre o eixo da fibra óptica ou modos com número de ordem mais elevado, e que apresentam as perdas mais elevadas. Então, quando se procede à ligação com um LED (*Light Emitting Diode*) como fonte do transmissor, poderão observar-se perdas superiores às medidas com o OTDR. A diferença poderá ser da ordem dos 3 dB. Torna-se, assim, imperativa a utilização de um medidor de potência óptica para determinar com adequada exactidão a perda de potência óptica.

3. Radiómetro para Fibras Ópticas

3.1. Princípio do Funcionamento

O radiómetro para fibras ópticas (*Power Meter*) permite medir a potência óptica que se transmite pela fibra óptica. No essencial, trata-se de um detector, tipicamente um sensor semiconductor com base no germânio (ou InGaAs), que converte um sinal óptico em sinal eléctrico. A maioria dos

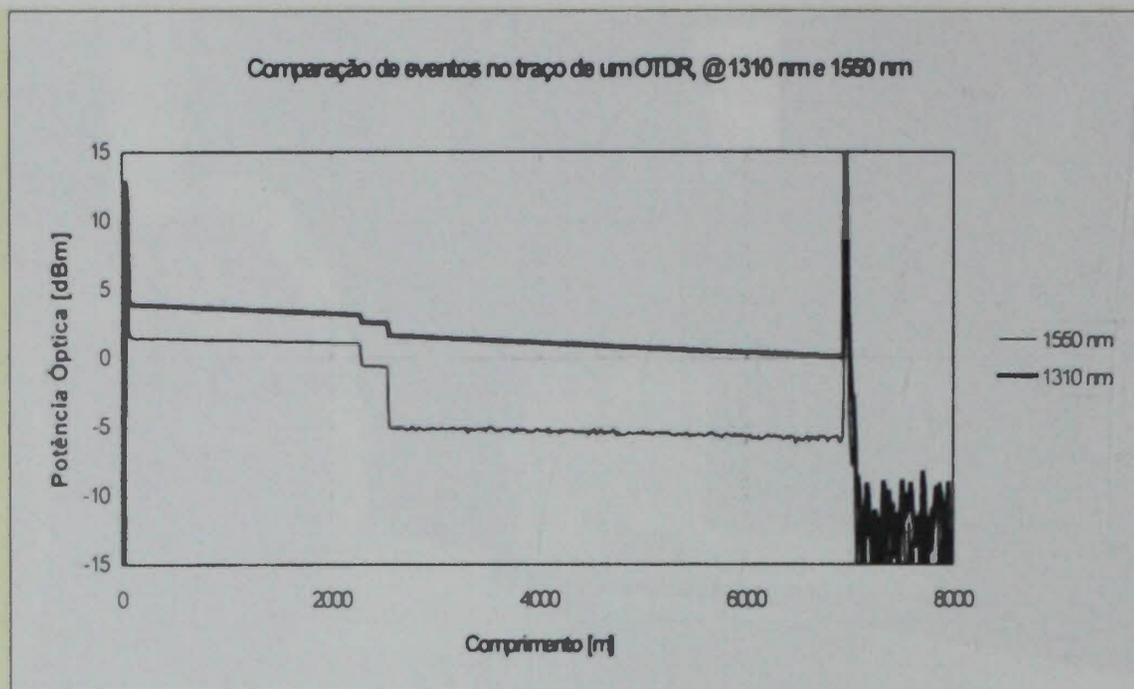


Fig. 3 - Traço do OTDR mostrando as dificuldades de interpretação de eventos: existe uma diferença no traço a 1550 nm, em relação ao traço a 1310 nm; devido à presença de macro curvaturas produzidas pela tensão aplicada no cabo.

detectores apresenta elevada eficiência de conversão (eficiência quântica de cerca de 80%) para os comprimentos de onda de 850 nm, 1310 nm, 1550 nm, os usados nas comunicações por fibra óptica.

O radiómetro deverá estar calibrado, podendo a incerteza da leitura ser da ordem dos $\pm 5\%$ ou $\pm 0,2$ dB. Pode mesmo acontecer que o mostrador digital do radiómetro, pelo número de dígitos, possa fazer intuir que o instrumento poderá ter uma incerteza menor.

O radiómetro para fibras ópticas é visto hoje como o análogo do multímetro digital para o orbe das fibras ópticas. O radiómetro permite verificar se existem problemas num dos sistemas da rede de fibras ópticas. Permite diagnosticar e localizar rapidamente potenciais problemas.

Se, por exemplo, um sistema apresentar uma deterioração das condições de funcionamento que se prende com a potência óptica do sinal, tornar-se-á necessário identificar qual dos elementos origina a falha: o transmissor, a fibra ou o receptor. Usando um radiómetro e medindo a potência à entrada do receptor, identificar-se-á onde se encontra a origem do problema.

3.2. Ensaio do Transmissor e da Fibra Óptica

O primeiro ensaio incidirá na medição da potência do sinal óptico proveniente do transmissor. Selecciona-se a escala do radiómetro adequada ao nível de potência esperado para o sinal óptico e liga-se o transmissor ao radiómetro com um cordão de fibra óptica. O cordão de fibra óptica minimiza os efeitos modais (equalização de excitação modal), tal como a fibra óptica entre o transmissor e receptor. Se a detecção se realizar por acoplamento directo ao transmissor não produzirá uma medição exacta da potência, que será efectivamente transmitida pela fibra óptica. No caso extremo de fibras ópticas multimodais, a estabilidade das medições vai requerer um comprimento mínimo da ordem da dezena de metros (para garantir o equilíbrio inter-modal).

Deve-se garantir que o transmissor funcione no seu modo normal conforme a sua aplicação prevê. Os sistemas de comunicações usam sinais modulados. O radiómetro medirá a potência média e não a potência de pico. Se a potência satisfizer as especificações, não representa um problema.

A medição seguinte refere-se à potência óptica do sinal que sai da fibra óptica e vai para o receptor. Se o transmissor funcionar bem, deverá ser usado para injectar potência óptica na fibra óptica. Desliga-se o radiómetro óptico para ligar o troço da fibra óptica e, na extremidade livre, liga-se o radiómetro. Se a queda de potência se encontra dentro das especificações para o sistema de comunicações, a fibra óptica não acrescenta problemas e haverá que ensaiar o receptor. Se a queda de potência estiver acima das especificações, o cabo de fibras ópticas poderá ter problemas e é então necessário recorrer a um conjunto de ensaios.

Naturalmente que os ensaios de nível de potência óptica não são suficientes para caracterizar o desempenho do transmissor. Haverá, pelo menos, além da determinação da potência média, que realizar ensaios da razão de extinção, de erro na taxa de transmissão de bits e de conformidade com as especificações da norma de transmissão, quer em termos de hierarquia (SDH – *synchronous digital hierarchy*) quer no que concerne à rede (SONET – *synchronous optical network*).

3.3. Determinação da Atenuação pela Fibra Óptica

O radiómetro para fibras ópticas não é só um instrumento de diagnóstico, mas também um medidor de potência óptica absoluta e grandezas derivadas como a atenuação.

Com o radiómetro, podem medir-se as perdas de potência óptica. Para medir as perdas na fibra óptica, pode-se usar a montagem da Figura 4a. Com um cordão de fibra óptica de elevada qualidade, liga-se uma fonte de ensaio (*Laser Source*) ao radiómetro e mede-se a potência óptica, dita potência óptica de referência.

O tipo e qualidade do cordão de fibra óptica deve ser concordante com o da fibra óptica, bem como com o dos conectores.

A fibra óptica é agora intercalada entre o cordão de fibra óptica-fonte e o radiómetro (Figura 4b). A potência óptica agora medida apresenta um decréscimo resultante da inserção da fibra óptica. Por isso, este método é conhecido como método de inserção para determinação de perdas. A medida de potência poderá ser expressa em decibels obtidos com potência de referência igual a 1 mW (dB_m) e as variações em decibels obtidos com a potência de referência convencional (dB). Se a fibra óptica motivar uma perda demasiado elevada, o receptor não detectará o sinal enviado pelo transmissor de forma adequada.

4. Cômputo das Perdas

As perdas medidas deverão ser comparadas com os valores previstos no cômputo ou balanço das perdas para a ligação por fibra óptica. Os valores do cômputo das perdas são os valores previstos no projecto da ligação. Os valores medidos não deverão exceder tais valores.

Quando os valores do projecto não são fornecidos, é possível fazer uma estimativa de tais valores. Começamos por determinar as perdas na fibra óptica. Considerando o coeficiente de atenuação indicado pelo produtor do cabo, multiplicamo-lo pelo comprimento do troço de fibra óptica. Como indicação genérica, temos:

- a) para fibra óptica multimodal: 3,5 dB km⁻¹ a 850 nm; 1,5 dB km⁻¹ a 1310 nm.

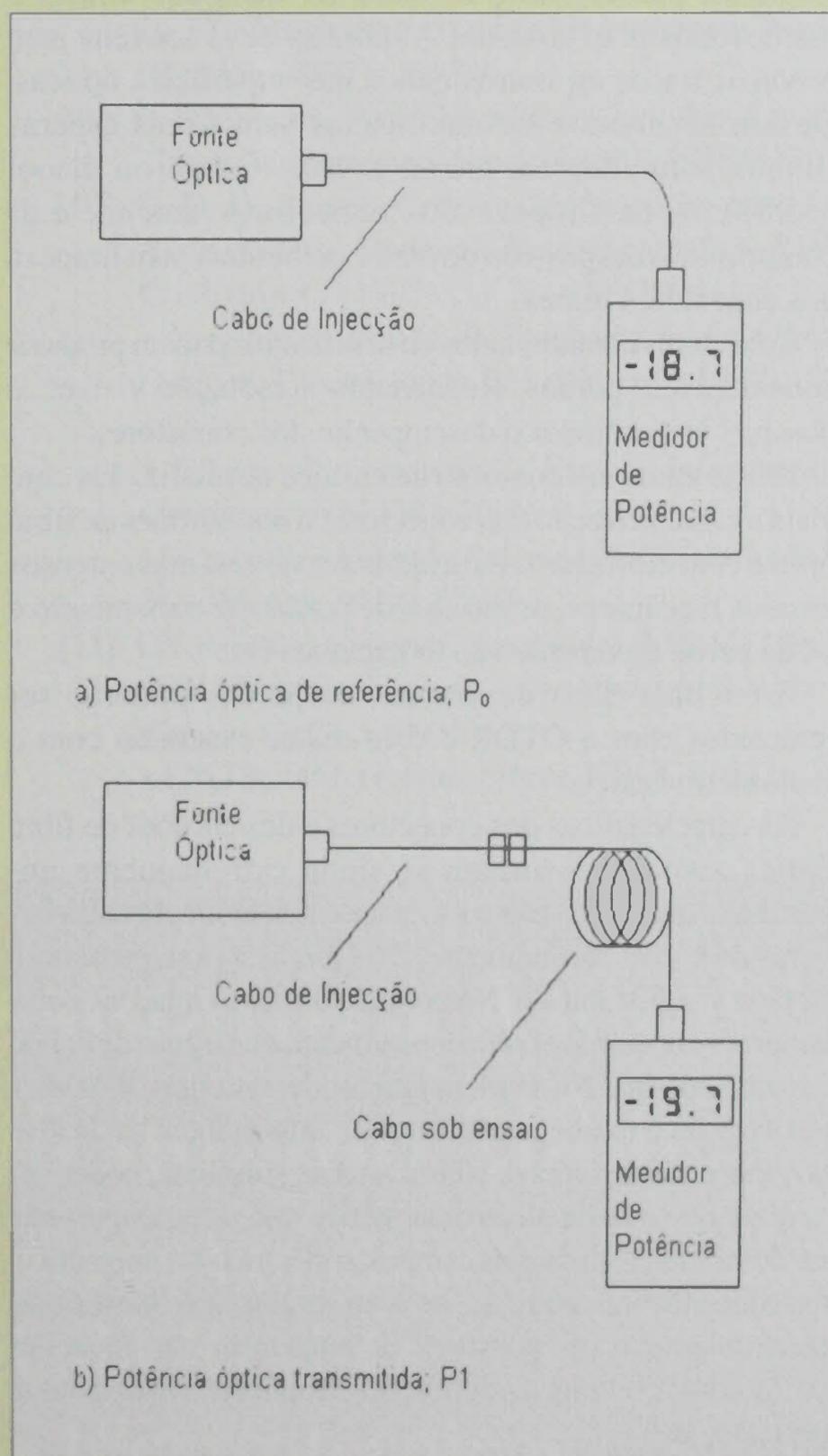


Fig. 4 - Determinação das perdas de inserção pelo método de medição EN 188 000-302.

- a) Determinação da potência de referência.
- b) Determinação da potência transmitida.

A perda de potência é definida por $P = P_0 - P_1$, em termos absolutos, ou em termos relativos por Atenuação = $10 \log (P_0/P_1)$.

b) para fibra monomodal: 0,35 dB km⁻¹ a 1310 nm e 0,22 dB km⁻¹ a 1550 nm.

Tomamos os valores especificados pelo fabricante dos conectores. Se os valores não forem dados, adopta-se 0,5 dB por conector como valor típico.

Haverá que somar as perdas na fibra óptica e nos conectores para termos totais na ligação. No cômputo das perdas, por vezes não se incluem as perdas nas junções por fusão ou mecânicas e na bainha, mas, em todo o caso, poder-se-ão adicionar 2 dB a 3 dB como margem para reparações ao longo da ligação por fibra óptica.

5. Cuidados com os Conectores

Os conectores são extremamente sensíveis às poeiras, gorduras, particulados, devendo ser mantidos limpos e manuseados com cuidado. A limpeza deve ser feita sem produzir riscos ou outros danos nas superfícies ópticas. Devem ser usados tecidos macios sem fibras ásperas (linho), saturados em álcool a 90% (etanol ou álcool propílico), na limpeza dos conectores macho, e ar comprimido (desprovido de óleo e partículas) para limpeza dos conectores fêmea.

Conectores contaminados ou danificados podem produzir consideráveis perdas. Recorrendo a radiação visível, é possível inspeccionar o desempenho dos conectores.

Existe ainda um conjunto de ensaios normalizados com vista à caracterização dos conectores e dos cordões de fibra óptica conectorizados. Para além dos óbvios mas extensos ensaios mecânicos, os ensaios de perdas de transmissão e os de perda de retorno são indispensáveis.

Estes dois tipos de ensaios de perdas poderão ser realizados com o OTDR e com maior exactidão com o radiómetro óptico.

As características dos conectores e dos cordões de fibra óptica associados tornam-se ainda extremamente importantes, quando o sistema se propõe transmitir elevadas larguras de banda (actualmente, 2,5 Gbit s⁻¹ e já se projectam 10 Gbit s⁻¹ e 50 Gbit s⁻¹). No projecto de novas ligações é certamente aconselhável prever o aumento da largura de banda de transmissão. Na caracterização de sistemas WDM, a polarização é também um factor de importância na análise dos fenómenos ópticos. Numa análise simplista, poder-se-á dizer que a onda electromagnética que se propaga pode ser descrita à custa de dois campos, o eléctrico e o magnético, interdependentes entre si, de acordo com leis básicas do electromagnetismo, possíveis de condensar nas equações de Maxwell e com as condições fronteiras associadas à propagação.

Ao descrever a propagação ao longo da fibra óptica monomodal, o vector campo eléctrico pode ser visto como orientado segundo uma direcção num plano ortogonal ao eixo óptico da fibra óptica. Diz-se que a polarização é linear e o modo de propagação é um modo de polarização linear, designado por LP₀₁.

A orientação da polarização não tem uma direcção preferencial específica para uma fibra óptica ideal, geométrica e opticamente perfeita, e em princípio, manter-se-ia de acordo com a polarização de excitação da fibra óptica. Contudo, as fibras ópticas reais têm imperfeições e a polarização linear acabará por rodar, devido às alterações geométricas e ópticas, em particular variações do índice de refração ou birrefringência. Por isso, em vez de um modo de polarização linear, LP₀₁, consideramos dois modos orientados segundo duas direcções, que na secção recta da fibra óptica apresentam o máximo e o mínimo do índice de refração (para uma variação suposta elíptica). O que se pretende é considerar que o estado real de polarização pode ser decomposto segundo duas direcções ortogonais. A implicação mais grave é que afinal a fibra óptica monomodal se comporta como propagando dois modos LP₀₁, o que produzirá dispersão modal de polarização, dado que cada um dos modos viaja a velocidade diferente, e, pior, provocará variações no estado de polarização (SOP – *State of Polarization*).

Então, quando temos um cordão de fibra óptica monomodal com 1 m a 2 m de comprimento, a birrefringência e alterações de fase devidas a modificações de forma na fibra óptica produzirão alterações do estado de polarização.

Estas alterações de polarização poderão modificar os valores medidos para caracterização da fibra óptica.

Toda a fibra óptica apresenta uma birrefringência residual inerente ao processo de fabricação. A birrefringência pode também ser induzida quando se instalam tensões na terminação dos conectores, na instalação de lentes "GRIN" (*Graded Index*) e por diversos componentes. Para valores pequenos de birrefringência, esta pode ser quantificada à custa da dispersão modal de polarização determinística (PMD – *Polarization Modal Dispersion*). Em cordões de fibra em conectores, o PMD variará entre 1 fs e 5 fs. A variação no estado de polarização será apreciável, mas não afectará o grau de polarização (DOP – *Degree of Polarization*). Quer para fonte de banda espectral larga como os LED ou para os lasers tipo Fabry-Perot, será pequena a despolarização, devida a estes níveis de birrefringência dos cordões de fibra óptica. Contudo, o efeito geométrico sobre a fase induzirá variações no estado de polarização, em resultado de qualquer movimento, quando é alterada a posição inicial do cordão da fibra óptica. Como precaução, se a medição em curso for afectada pelo estado de polarização, deverá observar-se todo o cuidado em não perturbar o posicionamento dos cordões de fibras ópticas, depois de ajustado o estado de polarização.

No tocante a conectores, convém ainda realçar que um tipo de conector não é idêntico a outro, nem os conectores de origens diferentes apresentam o mesmo desempenho. A variação de potência medida, variando conectores, pode atingir 10%! O desvio é dependente do comprimento de onda da radiação. A primeira regra será, pois, manter os mesmos tipo e fabricante, se possível o mesmo usado nas calibrações da instrumentação.

6. Ensaio Complementares

As elevadas taxas de débito esperadas para as transmissões (actualmente $2,5 \text{ Gbit s}^{-1}$, por canal óptico) vão exigir toda uma gama complementar de ensaios, quer para o transmissor quer para o receptor. No que se refere às fibras ópticas, e em particular para fibras ópticas monomodais, haverá que garantir que as suas características permitam tais velocidades de transmissão com tolerável distorção ou atenuação dos sinais. Mostrar-se-á então conveniente caracterizar as fibras ópticas relativamente a: diâmetro do campo modal, comprimento de onda de corte, dispersão cromática, dispersão modal de polarização e largura de banda de transmissão.

Importa também referir que com o advento das técnicas de "WDM – *wavelength division multiplexing*" e "DWDM – *dense wavelength division multiplexing*", no sentido de aumentar, mais ainda, as capacidades de transmissão, fenómenos ópticos, que apresentavam no passado efeitos negligenciáveis no desempenho dos sistemas, tornam-se agora muito relevantes nos sistemas com elevada largura de banda de transmissão. As exigências em termos de dispersão cromática subiram, ao mesmo tempo que surgem requisitos em termos de controlo da polarização e designadamente da dispersão modal de polarização. Neste contexto, a qualidade dos conectores e dos cordões de fibra óptica torna-se também imperativa. **E**

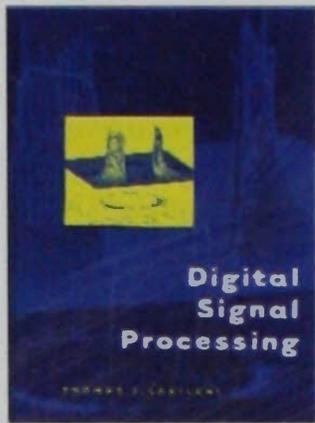
Referências

[1] G. Keisser, *Optical Fiber Communication*, McGraw Hill, NY (1991).

- [2] J. M. Senior, *Optical Fiber Communications*, Prentice-Hall, NY (1992).
- [3] D. Derickson, *Fibre Optic Test and Measurement*, PTR Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NY (1998).
- [4] O. D. D. Soares (Edt.), *Trends in Optical Fibre Metrology and Standards*, Kluwer, Dordrecht (1995).
- [5] C. Chinnock, *Fiber-Optic Tests Start with the Basics*, Test & Measurement World (September, 1995), 36-40
 • *Fiber-Optic Tests Rely on Basic Instruments*, Test & Measurement World (April, 1998), 69-74.
- [6] J. Crisp, *Introduction to Fiber Optics*, Newnes, Oxford, UK (1996).
- [7] I. Vayshenker, X. Li, D. A. Keenan, T. R. Scott, *FO Connector Types Affect Power Measurements*, Test & Measurement World (February, 1997), 23-25.
- [8] G. Lecheminat, *Three Measurements Characterize FO Transmitters*, Test & Measurement World (October, 1997), 61-64.
- [9] G. W. Schinm, *Watch Your Fiber-Optic Patchcords*, Test & Measurement World (April, 1998), 23.
- [10] O. D. D. Soares, *Critérios de Selecção para um Reflectómetro Óptico de Retrodispersão – ROR*, Qualiatria 19 (1993), 33-37 e 20 (1994).
 • *Largura de Banda de Transmissão em Fibras Ópticas*, Electricidade 351 (Janeiro, 1998), 11-16.
 • *Fibras Ópticas para a Era da Informação*, Qualiatria 35 (1998), 30-36.
 • *Dispersão Modal de Polarização*, Electricidade 364 (Março, 1999), 63-71.
- [11] EN 187 000, *Optical Fibre Cables*, CECC (1992).
 • EN 186 000, *Connectors for Optical Fibres and Cables*, CECC (1993).
 • EN 188 000, *Optical Fibres*, CECC (1992).

**Renove a sua Assinatura Anual
apenas 6000\$00 no ano 2000**

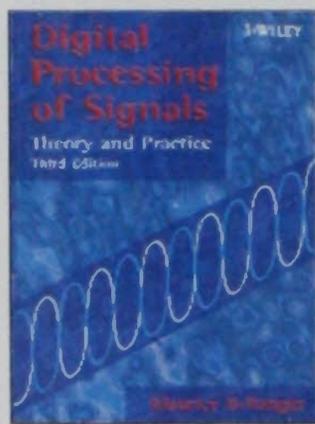
**Receba 11 números em casa
desta prestigiada Revista
para Engenheiros Electrotécnicos
de Empresas, Instituições, Politécnicos
e Universidades**



Thomas J. Cavicchi, *Digital Signal Processing*, John Wiley & Sons, 2000, cartonado, 18,5 x 26 cm, 810 págs., ISBN 0-471-124729, preço £30. O processamento de sinais digitais constitui hoje uma disciplina básica em muitos cursos de engenharia, em complemento do processamento de sinais analógicos. Este livro constitui um exemplo excelente dessa abordagem nos sistemas digitais. Vejamos o seu conteúdo: sinais e sistemas, variáveis complexas e transformadas em z , diferentes tipos de transformadas, suas principais propriedades, interface entre o tempo contínuo e o tempo discreto, processamento no tempo discreto com DFT, projecto de filtros digitais e processamento de sinais estocásticos. O autor discute os diferentes assuntos com profusão gráfica, muitos exemplos resolvidos e utilização do programa Matlab. Utiliza os modernos conceitos de espaço de estados e da teoria do controlo, conversão A-D e D-A, filtragem digital e estimação. Importante para a engenharia electrotécnica, com inúmeros problemas por resolver no fim dos seus dez capítulos.



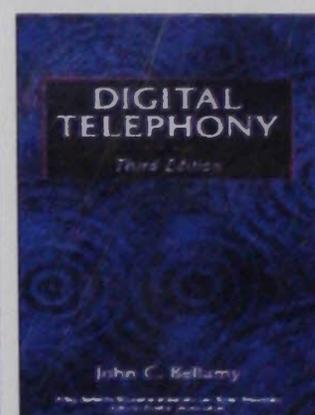
Ben Gold, Nelson Morgan, *Speech and Audio Signal Processing*, John Wiley & Sons, 2000, cartonado, 19,5 x 24 cm., 556 pág., ISBN 0-471-35154-7, preço £23. Em subtítulo: processamento e percepção de voz e música. Vê-se, portanto, a preocupação de aplicar o processamento de sinais a dois casos de uso geral: o reconhecimento de voz e a audição de música. Ao contrário do livro anterior, que é na realidade fundamental, este revela-se sobretudo orientado para a prática, descrevendo por texto e gráficos como se procede à síntese áudio, análise e síntese de voz, reconhecimento automático de voz e outras aplicações. Mesmo assim, apresenta os fundamentos matemáticos necessários: processamento de sinais digitais, filtros digitais e transformadas de Fourier discretas, classificação de padrões e sua análise estatística. Além disso, contém as bases de acústica e da percepção auditiva, propriedades da voz e reconhecimento automático de categorias linguísticas ou sequências determinísticas. Por fim, faz a síntese e a codificação de voz, a síntese musical por computador e a verificação de locutores.



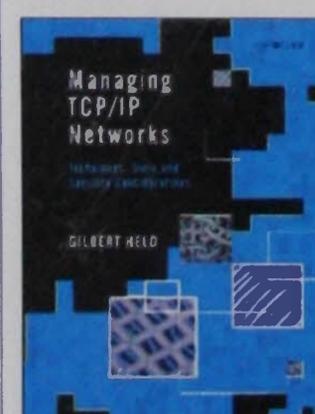
Maurice Bellanger, *Digital Processing of Signals: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, 2000, 3ª edição, cartonado 15,5 x 23,5 cm, 452 págs., ISBN 0-471-97673-3, preço £55. Aqui está um terceiro livro sobre o processamento digital de sinais, traduzido de um autor francês, e portanto segundo uma escola diferente. Esta diferença é notória no modo narrativo, igualmente básico e aplicado, procurando partir da teoria para a prática, em resultado da experiência pedagógica de vários anos no âmbito das telecomunicações a nível superior. São 14 capítulos sobre digitização de sinais, DFT e outros algoritmos rápidos, filtros FIR e em escada, filtros de sinais complexos e fase-mínima, filtragem multitaxa, bancos de filtros, filtragem adaptativa, circuitos e factores de complexidade, aplicações em telecomunicações. Alguns exercícios no fim dos capítulos completam o interesse didáctico do texto. A intenção do autor, porém, não foi apenas pedagógica, mas também para satisfazer necessidades de investigadores, introduzindo actualizações de desenvolvimentos recentes nas matérias abordadas.



R. Boite, H. Boulard, T. Dutoit, J. Hancq, H. Leich, *Traitement de la parole*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2000, brochado, 16 x 24 cm, 504 págs., ISBN 2-88074-388-5, preço 89 FS. Estamos aqui perante um livro de tratamento da palavra, ou seja, de processamento da voz. A escola suíça de língua francesa há muitos anos que se revela entusiasta e enriquecedora do processamento de sinais. Este exemplo, com 5 autores e inserido na colecção Electricidade de uma universidade prestigiada, constitui uma apetecível leitura em torno da modelização dos sinais de voz, propriedades espectrais dos sinais vocais, codificação, reconhecimento da voz e do locutor, tratamento da linguagem natural, síntese da voz a partir de um texto e implementação de algoritmos. Um conteúdo bastante rico, com modelos de Markov escondidos e redes neuronais artificiais ou a sua combinação em modelos híbridos. Dirige-se a engenheiros electrotécnicos, de comunicações e robótica ou informática, que trabalhem no domínio da codificação, síntese e comandos vocais. É claro, será útil aos docentes e estudantes universitários.



John C. Bellamy, *Digital Telephony*, John Wiley & Sons, 2000, 3ª edição, cartonado, 16 x 24 cm, 660 págs., ISBN 0-471-34571-7, preço £27. Integrado numa série de telecomunicações e processamento de sinais, o presente livro sobre comunicações telefónicas digitais ocupa-se da terminologia específica, vantagens e inconvenientes das redes de voz digitais, digitização da voz, transmissão e multiplexagem digital, comutação digital, modulação e sistemas de rádio, controlo de sincronização e gestão da rede, sistemas de transmissão por fibras ópticas, comunicações telefónicas móveis, redes de modo de transferência assíncrona e de dados, acesso de subscritores digitais e análise de tráfego. Na realidade, o autor produziu uma obra para engenheiros de telecomunicações, sobretudo de redes de comunicação, onde o processamento de sinais aparece implicitamente mas não de um modo explícito. Interessa para actualizar conhecimentos em ATM e comunicação telefónica celular digital, como acontece no controlo de acesso em filas de espera.



Gilbert Held, *Managing TCP/IP Networks: Techniques, Tools and Security Considerations*, John Wiley & Sons, 2000, cartonado, 17 x 25 cm, 350 págs., ISBN 0-471-80003-1, preço £45. Hoje vive-se na era da Internet, além das intranets e extranets, usando malhagens virtuais para maximizar a utilização da Internet. Cada uma destas áreas de comunicação baseia-se no protocolo TCP/IP, solicitando as redes de gestão, conforme se centra o conteúdo deste livro. Já que a gestão das redes TCP/IP exige o conhecimento do respectivo protocolo, os primeiros 2 capítulos ocupam-se desta problemática. Depois examinam-se ferramentas e técnicas usadas nas várias camadas do seu modelo, em particular a camada de transporte e a gestão das camadas 2, 3 e 4. Por fim, investigam-se ferramentas de diagnóstico para descoberta das causas de problemas nas redes, reconhecer problemas potenciais antes que ocorram e anotar acções correctivas que se podem tomar com vista a aliviar as dificuldades. Eis, pois, um livro objectivamente dirigido a engenheiros electrotécnicos que trabalham em telecomunicações. A crescente utilização da Internet justifica o seu estudo pelos técnicos.