



Artigo

Testes em fibras ópticas utilizando o OTDR: parâmetros de configuração do instrumento

Flávio Fontoura Júnior ^[1]

^[1] CPFL Transmissão; flaviofontourajunior@gmail.com

Recebido: 21/06/2021;

Aceito: 16/07/2021;

Publicado: 06/12/2021.

Resumo: Este estudo teve o objetivo de analisar os efeitos das variações de configuração de OTDR nos resultados dos testes ópticos, utilizando recursos do modo avançado de configuração. Foram revisados o princípio de funcionamento do instrumento e conceitos fundamentais, como range dinâmico e zona morta. Foram estudados os parâmetros de configuração do instrumento, como largura de pulso, tempo de aquisição, resolução de amostragem, entre outros, e como estes parâmetros estão inter-relacionados. Foram realizados testes ópticos com OTDR em um enlace óptico real, com variação dos parâmetros de configuração. Os resultados foram analisados com base no referencial teórico, identificando-se formas de melhor explorar as funcionalidades do modo avançado de configuração.

Palavras-chave: fibras ópticas; testes ópticos; OTDR; parâmetros de configuração; modo avançado.

Abstract: This paper aims to analyze the effects of OTDR configuration variations on optical test results, using advanced configuration mode features. The instrument's operating principle and fundamental concepts, such as the dynamic range and dead zone, were revised. The instrument configuration parameters were studied, such as, pulse width, acquisition time, sampling resolution, among others, and how these parameters are interrelated. Optical tests with OTDR were carried out in a real optical link, with variation of the configuration parameters. The results were analyzed based on the theoretical framework, identifying ways to better explore the features of the advanced configuration mode.

Key-words: optical fibers; optical tests; OTDR; configuration parameters; advanced mode.

1. INTRODUÇÃO

O reflectômetro óptico no domínio do tempo – OTDR, do inglês: *optical time domain reflectometer* – é um dos instrumentos de testes mais populares entre os profissionais da área de instalação, operação e manutenção de redes de fibra óptica. Por ser capaz de identificar e localizar eventos nos enlaces, o OTDR é utilizado na certificação de redes novas e na procura por defeitos em redes existentes.

Os principais tipos de medidas que podem ser feitas com OTDR são: comprimento do enlace óptico, posições de eventos (emendas, conectores, curvaturas), perda de potência em eventos, perda na fibra (coeficiente de atenuação), perda ponto a ponto, reflectância e distância entre eventos. Geralmente estas informações são apresentadas na tela do instrumento, graficamente e tabeladas, sendo que a sua disposição depende da interface desenvolvida por cada fabricante.

É característica comum entre os diferentes fabricantes oferecer um modo de configuração automático e um modo de configuração avançado. No modo automático, ao comando do operador, o OTDR realiza uma avaliação preliminar do comprimento do enlace e ajusta seus parâmetros automaticamente, otimizando-os para exibir o gráfico correspondente ao enlace completo. No modo avançado, ou manual, os parâmetros são definidos pelo operador, o que lhe confere autonomia para otimizar o teste para algum propósito específico, como por exemplo, avaliar detalhadamente um determinado ponto do enlace ou comparar o desempenho atual com resultados obtidos em testes anteriores.

Ainda percebe-se entre os profissionais da área uma tendência a utilizar o modo automático, deixando de explorar plenamente as funcionalidades oferecidas pelo modo avançado. Em função disso, o presente estudo tem o objetivo geral de analisar os efeitos das variações de configuração de OTDR nos resultados dos testes ópticos, utilizando recursos do modo avançado de configuração.

Este estudo delimita-se a revisar o princípio de funcionamento do OTDR e seus conceitos fundamentais, e explorar os parâmetros de configuração de aquisição de curvas, analisando os resultados obtidos em testes práticos, fundamentando a discussão nas concepções e proposições do referencial teórico adotado.

Esta pesquisa justifica-se pela carência de material bibliográfico que compare resultados de experimentos práticos com OTDR, com variação de parâmetros de configuração, e pela possibilidade de fornecer subsídios aos profissionais da área para implementar melhorias nos seus procedimentos de testes.

A metodologia deste trabalho é a pesquisa exploratória, com coleta de dados empíricos, através da realização de testes ópticos com OTDR em um enlace óptico real. O referencial teórico está baseado na literatura desenvolvida por fabricantes renomados, como Anritsu (2011), JDSU (2006 e 2010), EXFO (2011) e Agilent (2001), além de profissionais ligados a estas empresas, como Laferrrière et al (2011) e Prada (2007 e 2010), e profissionais do meio acadêmico, como Abbade e Caputo (2002) e Teixeira (2002).

2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O reflectômetro óptico no domínio do tempo é o instrumento para caracterizar a fibra óptica por retroespalhamento [1].

Através do laser, o OTDR gera pulsos de luz que são acoplados na fibra óptica em teste. Uma parte da energia destes pulsos retorna ao detector do OTDR que caracteriza a fibra em teste a partir do sinal recebido.

A figura 1 apresenta o diagrama de blocos do OTDR.

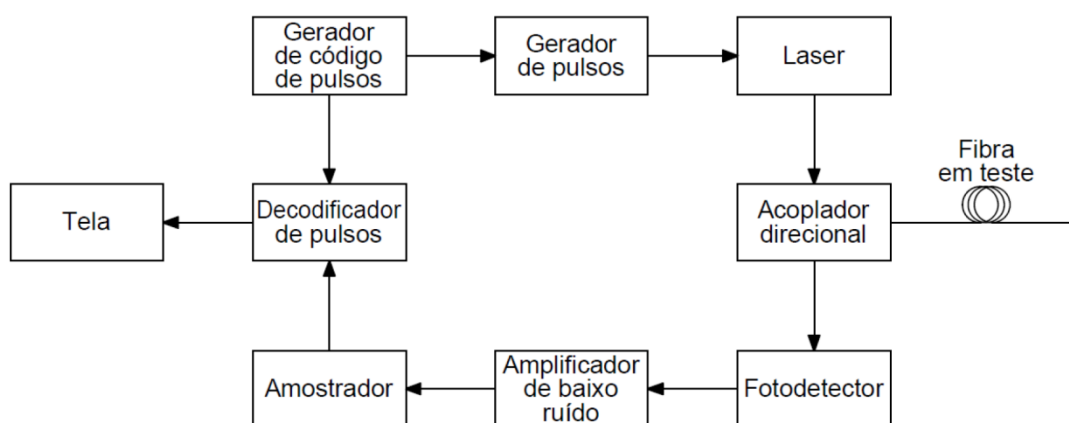


FIGURA 1. Diagrama de blocos do OTDR [2,3].

O laser é um dispositivo de conversão eletro-óptica, constituído por um diodo semiconductor modulado diretamente pela variação da corrente de entrada. Esta variação é controlada por um gerador de pulsos de curta duração. Um acoplador direcional óptico realiza tanto a inserção na fibra em teste do sinal óptico gerado pelo laser, quanto o direcionamento do sinal óptico recebido para o fotodetector. O fotodetector é um fotodiodo de avalanche, que converte o sinal óptico em sinal elétrico. O sinal elétrico passa pelo amplificador de baixo ruído, que o amplifica sem adicionar ruído excessivo. O sinal resultante é então amostrado numa frequência que dependerá da resolução predefinida na configuração do instrumento. As amostras (pontos de dados) são processadas pelo decodificador de pulsos, que calcula a distância, com base no atraso de propagação, e a atenuação, comparando a potência dos sinais recebidos com a potência dos sinais gerados. Os resultados são exibidos graficamente na tela do OTDR, em uma curva onde a distância é representada no eixo horizontal e a potência é representada no eixo vertical [4].

O cálculo da distância é apresentado na equação 1 [4].

Este é um exemplo de equação:

$$d = \frac{v_g \cdot t}{2} = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n_g} \quad (1)$$

onde:

- v_g : velocidade de grupo do sinal óptico na fibra;
- t : intervalo de tempo entre o sinal transmitido e o sinal recebido pelo OTDR;
- c : velocidade da luz no vácuo, cujo valor aproximado é 300.000.000 m/s;
- n_g : índice de refração de grupo da fibra, cujo valor típico é 1,471.

O retorno do sinal óptico da fibra em teste para o OTDR ocorre em função do retroespalhamento e da reflexão de Fresnel [5]. O espalhamento, ou difusão, é definido como a perda de sinal luminoso a partir do núcleo da fibra óptica, causado por impurezas ou variações no índice de refração, que provocam espalhamento em várias direções. A parte que retorna à fonte (cerca de 0,0001%) é o retroespalhamento [6]. A NBR 13486 define espalhamento como “mudança de direção de uma onda incidente para várias direções, depois de atingir partículas distribuídas aleatoriamente”. Já o retroespalhamento é definido como o “espalhamento de um feixe de luz em direções geralmente reversas à original” [1].

A reflexão de Fresnel é um fenômeno que ocorre no final de fibra ou nos conectores mecânicos, na fronteira entre fibra e ar, onde uma parcela de sinal óptico é refletida na interface entre um material e outro, em função da diferença entre índices de refração, retornando para a fonte luminosa. Este fenômeno é definido pela NBR 13486 como a “reflexão de uma porção de luz incidente em uma interface plana entre dois meios dielétricos homogêneos que têm índices de refração diferentes” [1].

Em resumo, conclui-se que, medindo o tempo entre a emissão do sinal e as reflexões em emendas, conectores e no final da fibra e calibrando o OTDR para o índice de refração correto da fibra em teste, é possível medir a distância aos pontos de reflexão, e que, medindo a redução da potência da luz desde a emissão do sinal até o regresso da reflexão final, é possível calcular a atenuação por unidade de comprimento.

2.1. Range dinâmico

O comprimento máximo de fibra que poderá ser medido por um OTDR é determinado pelo range dinâmico. Há diversos métodos para cálculo do range dinâmico, sendo mais comuns o método RMS, também denominado SNR=1, e o método IEC, estabelecido na norma IEC 61746, do *Internacional Electrotechnical Commission* (IEC) [3]. Estas duas definições são apresentadas na figura 2.

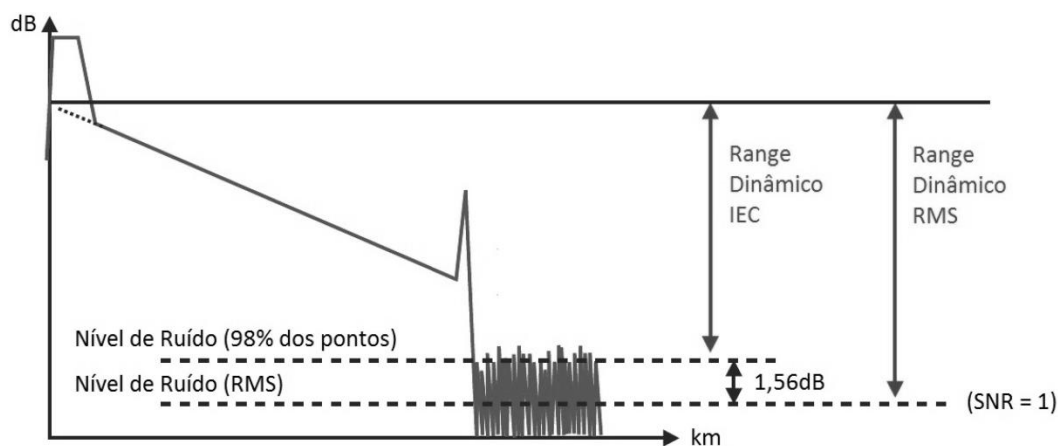


FIGURA 2. Definições de range dinâmico [3].

No método RMS, o range dinâmico é definido pela diferença em dB entre a projeção da curva de retroespalhamento no eixo vertical de potência (nível de sinal injetado) e o valor eficaz (RMS) de ruído. No método IEC, o range dinâmico é definido pela diferença em dB entre o mesmo nível de sinal injetado e o limite superior da faixa de ruído, que contenha 98% das amostras de ruído.

Os métodos RMS e IEC podem ser comparados quando o ruído for gaussiano. Neste caso o valor do range RMS será 1,56dB maior que o valor do range IEC [3].

Como o range dinâmico é definido em decibéis (dB), o alcance em metros dependerá das condições de atenuação de cada enlace.

2.2. Zona morta

O fotodetector do OTDR é projetado para detectar sinais dentro de uma determinada faixa de potência. Nos casos de reflexões muito fortes ao longo da fibra em teste, o sinal recebido poderá possuir potência maior que o limite superior desta faixa, levando o fotodetector à saturação. O fotodetector não poderá mais detectar sinais até que se recupere desta condição de saturação. O comprimento de fibra que deixa de ser caracterizado durante o período de saturação do fotodetector denomina-se de zona morta [3]. Há dois tipos de zona morta: zona morta de atenuação (ADZ, do inglês *attenuation dead zone*) e zona morta de evento (EDZ, do inglês *event dead zone*).

A zona morta de atenuação indica a distância mínima após um evento reflexivo, na qual um evento não reflexivo pode ser medido [2]. Esta distância é medida a partir do início da borda de subida do evento reflexivo até o ponto da borda de descida localizado a 0,5dB acima da projeção da curva de retroespalhamento [3]. A figura 3 ilustra a forma de medição da zona morta de atenuação.

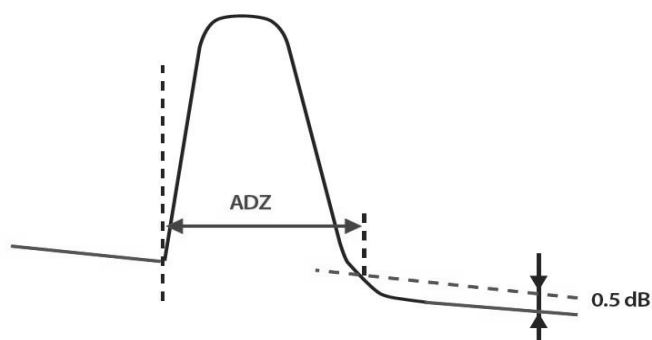


FIGURA 3. Medição da zona morta de atenuação [3].

A zona morta de evento indica a distância mínima após um evento, na qual outro evento pode ser detectado, ainda que a sua perda não possa ser medida individualmente [2]. No caso de evento reflexivo, a distância da zona morta de evento é medida entre os pontos das bordas de subida e de descida que estão 1,5dB abaixo do nível de saturação, conforme ilustra a figura 4 [3].

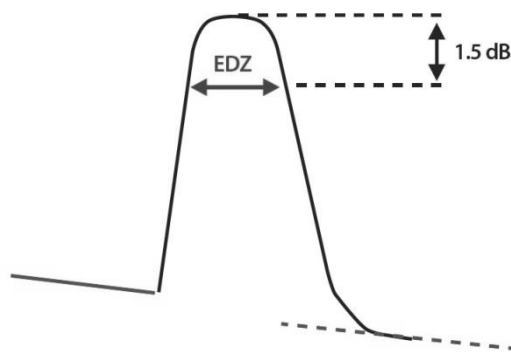


FIGURA 4. Medição da zona morta de evento reflexivo [3].

A zona morta de evento também é definida para eventos não reflexivos com atenuação menor que 1dB como a distância entre o ponto a 0,1dB abaixo do início do degrau e o ponto a 0,1dB acima do fim do degrau [3].

A zona morta de evento possui valor fixo, dependente unicamente da largura de pulso [2].

O próprio conector óptico do OTDR gera uma zona morta que pode impedir a caracterização das primeiras emendas do enlace. Este problema pode ser evitado com a inclusão de um supressor de pulso, também conhecido como bobina de lançamento, entre o conector do OTDR e o primeiro conector do enlace [7].

2.3. Precisão de medida

Conforme o comprimento da fibra em teste aumenta, o sinal retroespalhado vai aproximando-se do ruído, o que pode ocasionar aumento do erro de medida de eventos distantes ou a sua não detecção. Para que um

evento possa ser medido com precisão de 0,1dB é necessário que o nível de sinal esteja 6,5dB acima do nível de pico de ruído. Já para uma precisão de 0,05dB é preciso que esta relação seja de 8dB [2].

Para que uma quebra possa ser detectada, é necessário que o nível de sinal esteja, aproximadamente, 3dB acima do nível de pico de ruído [8].

3. PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO

Os parâmetros de configuração são características do sinal gerado ou da fibra em teste. Estes parâmetros podem ser ajustados pelo operador do OTDR conforme o objetivo da medida.

3.1. Índice de refração

Para que o OTDR possa calcular a distância de eventos a partir do intervalo de tempo entre o sinal transmitido e o sinal recebido, o valor do índice de refração da fibra deve ser inserido no instrumento, mesmo em modo automático de configuração [9].

A precisão das medidas apresentadas pelo OTDR depende da precisão do índice de refração. Este valor depende dos materiais empregados na fabricação da fibra, por isso, deve ser fornecido pelo fabricante [3]. No caso do núcleo das fibras ópticas monomodo, o valor típico do índice de refração é 1,471 [10], porém, este valor pode variar entre 1,466 e 1,478, de acordo com comparação entre fabricantes apresentada pelo fabricante JDSU [9].

Quando o valor exato do índice de refração da fibra em teste for desconhecido, é recomendado que se use sempre o mesmo valor para todas as medições, em torno do valor típico [10]. Entretanto, os erros causados pela falta de conhecimento do valor exato do índice de refração são mais significativos que os erros causados pela imprecisão dos instrumentos [8].

3.2. Comprimento de onda

Os comprimentos de onda típicos para operação de sistemas de telecomunicações são 1310 e 1550nm em fibras monomodo e 850 e 1300nm em fibras multimodo [8].

O operador do OTDR deve indicar em qual comprimento de onda pretende fazer o teste, mesmo em modo automático. Alguns instrumentos permitem a utilização de mais de um comprimento de onda, simultaneamente. O comprimento de onda de 1550nm é mais sensível na detecção de eventos não reflexivos [6].

3.3. Distância

Este parâmetro corresponde ao intervalo de distância que o OTDR exibirá no eixo horizontal [9].

A distância é definida em função da extensão da fibra em teste. Recomenda-se que este parâmetro seja configurado para o valor do comprimento da fibra acrescido de 25% [6].

3.4. Largura de pulso

A largura do pulso gerado pelo OTDR determina a quantidade de energia luminosa injetada na fibra em teste. Quanto maior a quantidade de energia injetada, maior será a quantidade de luz retroespalhada, logo, os sinais com maior largura de pulso são recomendados para testes de enlaces longos [9]. O ganho no alcance em função da variação da largura de pulso é determinado pela equação 2, caso os demais parâmetros sejam mantidos constantes [6].

$$G = 5 \log \left(\frac{P_{W_1}}{P_{W_2}} \right) \quad (2)$$

Em contrapartida, a largura de pulso mais longa afeta a resolução da medida, pois as médias são calculadas sobre uma seção maior de fibra. Pulsos mais longos resultam em menor resolução, originando maior zona morta. Logo, para distâncias curtas é preciso que a largura de pulso seja reduzida para que se obtenha menor zona morta [8].

Fundamentalmente, são utilizados pulsos longos para enlaces maiores e pulsos curtos para enlaces menores, porém, o operador do OTDR deve estar ciente de que, para analisar um ponto intermediário do enlace, deverá configurar uma largura de pulso condizente com a distância deste ponto, desprezando o restante do enlace [2].

3.5. Tempo de aquisição

Se a curva de retroespalhamento fosse traçada a partir de um único pulso de medição, haveria significativa variação de nível entre os pontos de dados obtidos, resultando em uma curva ruidosa. Para que se obtenha uma curva mais suave, são enviados milhares de pulsos por segundo e são calculadas as médias dos níveis de cada ponto de dados. Quanto mais amostras forem utilizadas no cálculo das médias, mais suave será a curva, porém, mais tempo será necessário para adquirir os dados, principalmente nos casos de fibras longas ou larguras de pulso curtas [11].

A variação na relação sinal ruído (SNR) em função dos tempos de aquisição é definida pela equação 3 [3]:

$$\Delta SNR = 5 \log \sqrt{N} \quad (3)$$

onde:

- N: razão entre os tempos de aquisição aplicados nos testes.

A variação de nível entre os pontos de dados é maior no final da curva, em função do enfraquecimento do sinal de retroespalhamento com o aumento da distância [11]. O aumento do tempo de aquisição resulta em aumento no alcance, em função da melhoria da relação sinal ruído [2].

O OTDR permite ainda que os testes sejam feitos em tempo real. Neste modo, a curva apresentada na tela do OTDR é atualizada constantemente até que o operador interrompa o teste. O resultado é apresentado sem cálculo de médias, portanto, a relação sinal ruído é menor [12].

3.6. Resolução de amostragem

O amostrador do OTDR atua em intervalos de tempo regulares, coletando dados do sinal recebido que correspondem a pontos do enlace óptico. Estes pontos de dados são espaçados entre si num intervalo inversamente proporcional à frequência de amostragem. A distância entre os pontos de dados é a resolução de amostragem, ou resolução espacial. Quanto maior for a frequência de amostragem, menor será a distância entre os pontos de dados e maior será a resolução de amostragem [11].

A figura 5 exemplifica como o aumento na resolução pode resultar em menor diferença entre a localização real de um evento e a localização detectada, isto é, pode reduzir o erro de medida.

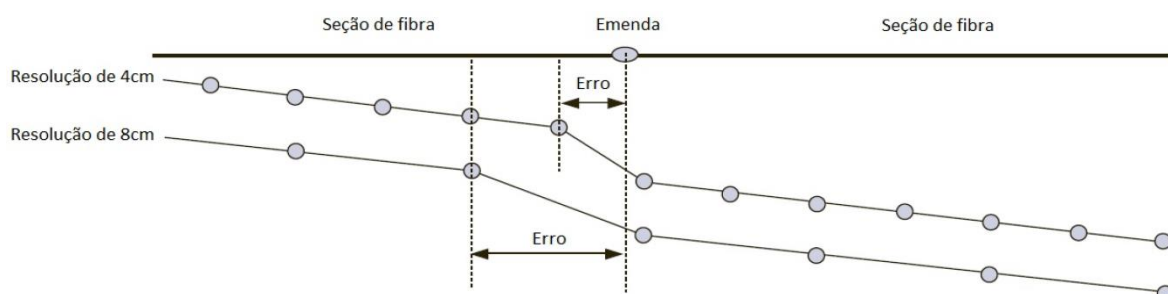


FIGURA 5. Efeito da resolução de amostragem sobre o erro de medida [13].

O teste com maior resolução demandará mais tempo para coletar a mesma quantidade de amostras de um ponto, se comparado com um teste com menor resolução, logo, seria necessário um tempo de aquisição maior para se obter uma relação sinal ruído equivalente [12].

Os valores de resolução disponíveis em cada OTDR variam conforme a largura de pulso selecionada. Para um pulso mais longo são oferecidas opções com menos resolução, enquanto que, para um pulso mais curto são oferecidas opções com mais resolução [12].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo consistiu na definição de uma curva de referência, com os parâmetros configurados da forma mais adequada para as características da fibra em teste, e na variação dos parâmetros, um por vez, para comparação com a curva de referência.

Para a realização dos testes foi selecionada uma fibra óptica monomodo de um enlace de 36km instalado no estado do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Porto Alegre e Gravataí. Este enlace possui 22 emendas por fusão (eventos não reflexivos) e duas junções por conectores (eventos reflexivos).

Foi utilizado um OTDR modelo FTB-720, do fabricante EXFO, com as seguintes especificações técnicas para fibra monomodo:

- Range dinâmico: 35dB a 1310nm e 32dB a 1550nm (valores típicos, com pulso mais longo e média de três minutos em SNR=1);
- Zona morta de evento: 0,8m (valor típico para refletância abaixo de -45dB, usando pulso de 5ns);
- Zona morta de atenuação: 5m;
- Range de distância: 1,25 a 260km;
- Largura de pulso: 5 a 20.000ns;
- Resolução de amostragem: 0,04 a 5m;
- Incerteza de distância: $\pm (0,75 + 0,0025\% \times \text{distância} + \text{resolução de amostragem})$, sem considerar a incerteza do índice de refração.

Foi utilizado um supressor de pulso com 1.006m de fibra monomodo.

As curvas geradas foram gravadas em formato Bellcore (.sor).

5. RESULTADOS

As curvas foram analisadas com uso de dois softwares de emulação de OTDR: *Fiber Trace Unicode Viewer*, versão 6.70, desenvolvido pela JDSU, e *NetWorks/OTDR*, versão 4.1, desenvolvido pela Anritsu.

5.1. Variação de índice de refração

A figura 6 apresenta o efeito da variação do valor do índice de refração, mantendo iguais os demais parâmetros.

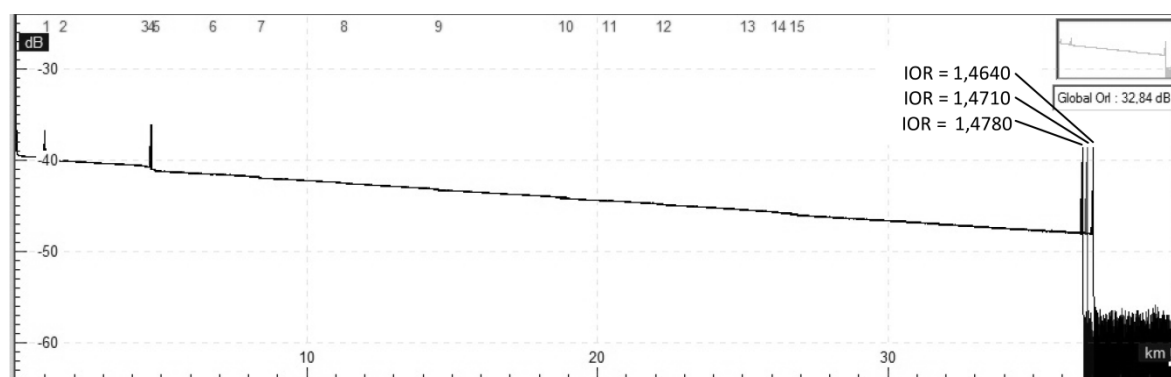


FIGURA 6. Comparação de curvas com variação de índice de refração.

Nota-se que o único efeito é o erro na distância calculada pelo OTDR, cujos valores são indicados na tabela 1.

TABELA 1. Distância medida em função do índice de refração.

Índice de refração	Distância medida
1,4640	37.047,88m
1,4710	36.871,58m
1,4780	36.696,95m

Estes erros de medida podem ser mais bem compreendidos através da análise da equação 1. Como o intervalo de tempo entre o sinal transmitido e o recebido não se altera e a velocidade da luz no vácuo é constante, conclui-se que o erro da distância calculada é inversamente proporcional ao erro do índice de refração, conforme mostra a equação 4.

$$d_1 \cdot n_1 = \frac{c \cdot t}{2} = d_2 \cdot n_2 \Rightarrow \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (4)$$

5.2. Variação de comprimento de onda

O efeito da variação do comprimento de onda, mantendo inalterados os demais parâmetros, é mostrado na figura 7.

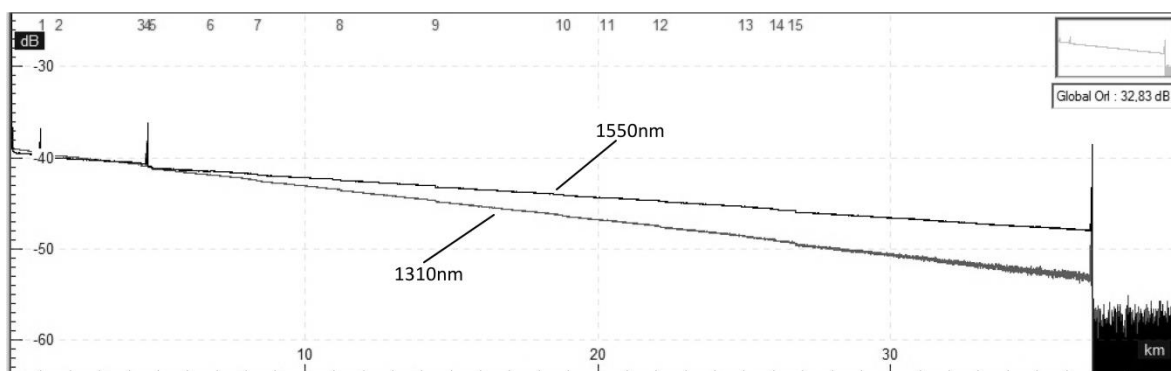


FIGURA 7. Comparação de curvas com variação de comprimento de onda.

O declive maior observado na curva de retroespalhamento em 1310nm é decorrente do maior coeficiente de atenuação deste comprimento de onda, o que faz com que o nível de sinal aproxime-se mais rapidamente do nível de ruído, resultando em redução significativa da relação sinal ruído, ocasionando imprecisão na medida de eventos distantes. Este efeito negativo poderia ser compensado com o aumento da largura de pulso no teste em 1310nm.

5.3. Variação de distância

A figura 8 mostra o efeito da variação do valor da distância, sem alteração dos demais parâmetros.

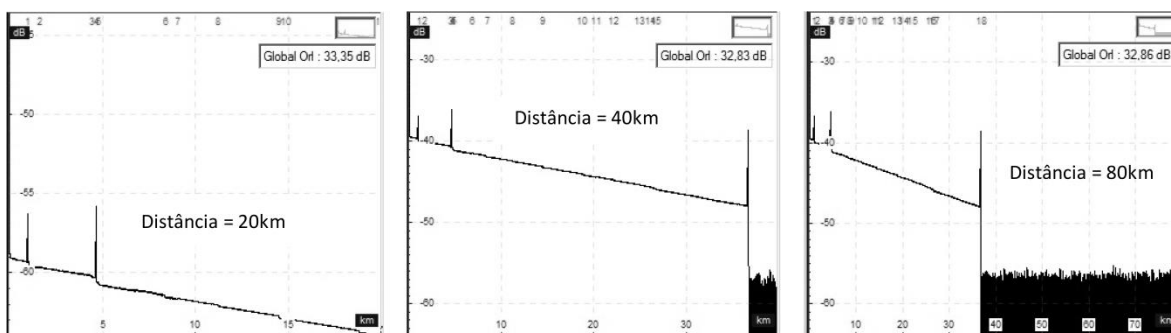


FIGURA 8. Comparação de curvas com variação de distância.

Verifica-se que quando a distância indicada é menor que o comprimento da fibra em teste, o final da fibra não é detectado, pois o processo de análise não é concluído. Quando a distância indicada é demasiadamente maior que o comprimento da fibra em teste, a curva de retroespalhamento fica comprimida no lado esquerdo da tela, enquanto o ruído ocupa um espaço excessivo no lado direito da tela. Quando a distância é configurada para um valor pouco maior que o comprimento da fibra em teste, aproveita-se melhor o espaço disponível na tela do OTDR e visualiza-se uma faixa estreita de ruído, suficiente para avaliar se a relação sinal ruído está adequada.

5.4. Variação de largura de pulso

O efeito da variação da largura de pulso, mantendo os demais parâmetros iguais, é mostrado na figura 9.

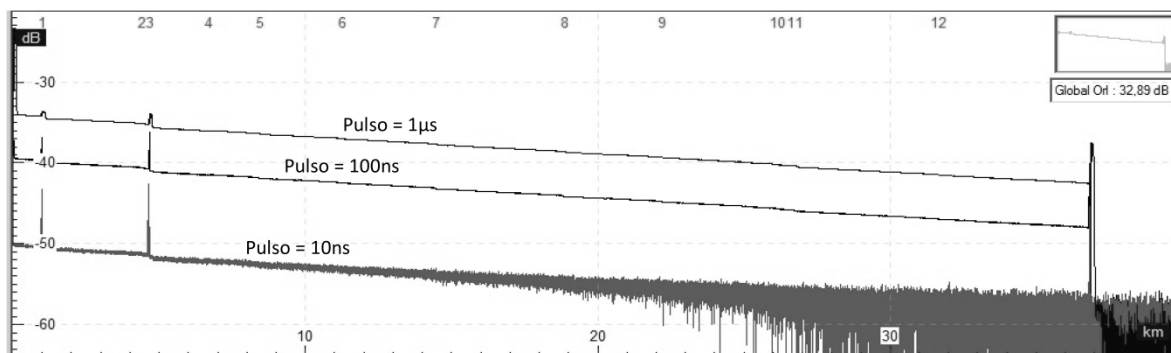


FIGURA 9. Comparação de curvas com variação de largura de pulso.

Percebe-se que o nível de injeção é maior para sinais com maior largura de pulso, pois a potência de um sinal pulsado varia em função da duração do pulso. Logo, o sinal com menor largura de pulso terá o nível de sinal mais baixo e menor será a relação sinal ruído, o que irá ocasionar imprecisão na medida de eventos distantes. Por outro lado, o sinal com maior largura de pulso irá produzir zonas mortas mais longas, como pode ser visto nos eventos reflexivos contidos na figura 9.

Quanto maior a zona morta, maior será a probabilidade de se ocultar eventos relevantes, como de fato ocorreu nestes testes. Um evento não reflexivo localizado 148m após o segundo evento reflexivo foi localizado e medido quando aplicado pulso de 100ns, entretanto, quando aplicado pulso de 1µs, o mesmo evento não foi localizado e a sua perda foi somada ao evento anterior.

O software de emulação mostrou ainda como a resolução de amostragem é reduzida com o aumento da largura de pulso, ainda que o recurso de alta resolução esteja desabilitado. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 2.

TABELA 2. Distância entre pontos de dados em função da largura de pulso.

<i>Largura de pulso</i>	<i>Distância entre pontos de dados</i>
10ns	0,625m
100ns	1,250m
1µs	2,500m

5.5. Variação de tempo de aquisição

A figura 10 apresenta o efeito da variação do tempo de aquisição, mantendo os demais parâmetros inalterados. Foi utilizado o recurso de zoom, pois o efeito na curva completa é quase imperceptível.

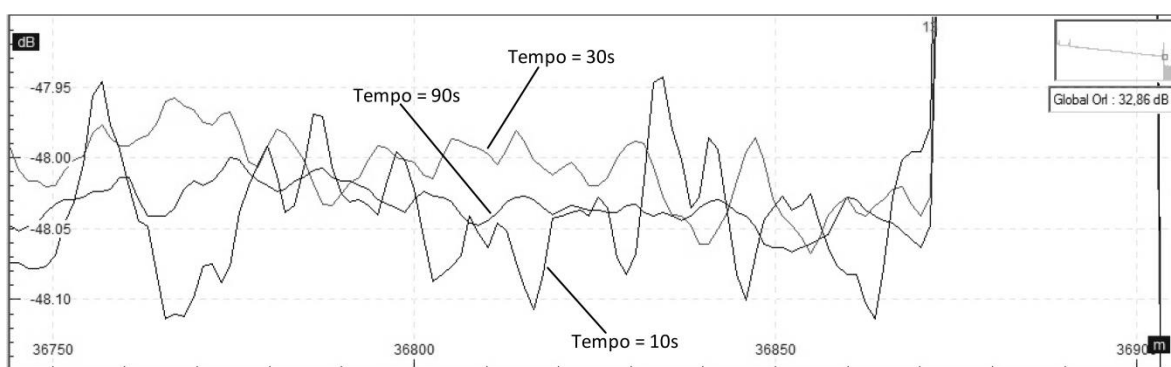


FIGURA 10. Comparação de curvas com variação de tempo.

Verifica-se que o aumento do tempo contribui para a redução do ruído e suavização da curva, em função do aumento da quantidade de amostras obtidas para o cálculo dos níveis médios de cada ponto de dados, as quais são apresentadas na tabela 3.

TABELA 3. Quantidade de amostras obtidas para o cálculo dos níveis médios.

<i>Tempo de aquisição</i>	<i>Quantidade de amostras (average)</i>
10s	4.733
30s	21.620
90s	71.425

Obviamente, o aumento do tempo de aquisição demandará mais tempo de trabalho do operador do OTDR, especialmente quando forem realizados vários testes em sequência, como no caso das certificações de enlaces.

5.6. Variação de resolução

O efeito da variação da resolução, mantendo os demais parâmetros sem alteração, é mostrado na figura 11. Novamente foi utilizado o recurso de zoom, pois o efeito na curva completa seria pouco notado.



FIGURA 11. Comparação de curvas com variação de resolução.

Nota-se que a distância entre os pontos de dados é menor na curva com resolução alta. Os valores de resolução obtidos no software de emulação são mostrados na tabela 4, de onde se conclui que, para cada ponto de dados na resolução padrão, há quatro pontos de dados na resolução alta, no caso do OTDR utilizado neste estudo.

TABELA 4. Distância entre pontos de dados em função da resolução.

<i>Resolução</i>	<i>Distância entre pontos de dados</i>
Padrão	1,25m
Alta	0,313m

Percebe-se ainda que a relação sinal ruído é menor na curva com alta resolução, o que se explica pela menor quantidade de amostras de cada ponto de dados, conforme mostra a tabela 5. O aumento no tempo de aquisição compensaria a relação sinal ruído no caso do teste com alta resolução.

TABELA 5. Quantidade de amostras obtidas em função da resolução.

<i>Resolução</i>	<i>Quantidade de amostras (average)</i>
Padrão	21.620
Alta	4.036

5.7. Retirada de supressor de pulsos

A figura 12 mostra o efeito do uso do supressor de pulsos, mantendo iguais os parâmetros de configuração. Para favorecer a comparação, a curva do teste sem supressor de pulsos foi deslocada no eixo horizontal em valor igual ao comprimento da fibra de lançamento e foi utilizado recurso de zoom nos primeiros eventos do enlace.

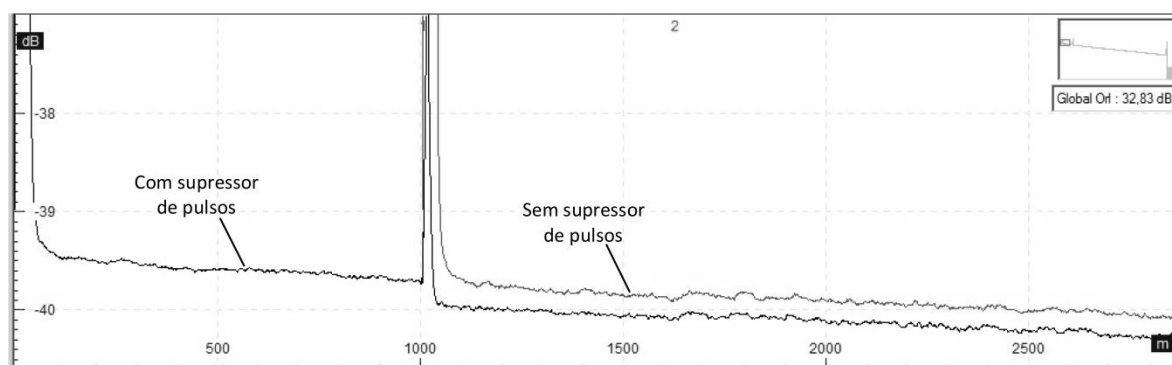


FIGURA 12. Comparação de curvas com retirada do supressor de pulsos.

Em testes com OTDR em um enlace típico, com terminação das fibras em distribuidor interno óptico (DIO), os dois primeiros eventos reflexivos serão a junção de conectores na saída do instrumento e a junção de conectores no DIO. Caso seja utilizado um cordão óptico curto entre o OTDR e o DIO, estes dois eventos serão sobrepostos e não poderão ser medidos, em função da zona morta do primeiro evento. Quando utilizado um supressor de pulsos entre o OTDR e o DIO, a distância entre os dois eventos é aumentada, de forma que a zona morta do primeiro evento não se sobreponha ao segundo evento. Na figura 12, com o deslocamento aplicado na curva do teste sem supressor de pulsos, percebe-se como a zona morta do primeiro evento se sobrepõe ao segundo evento e constata-se a solução do problema com a utilização do supressor de pulsos.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a analisar os efeitos das variações de configuração de OTDR nos resultados dos testes ópticos, utilizando recursos do modo avançado de configuração. Inicialmente, examinou-se o princípio de funcionamento do OTDR e seus conceitos fundamentais. Posteriormente, estudaram-se os parâmetros de configuração de aquisição de curvas. Feito o estudo teórico do tema, passou-se ao estudo empírico, que foi realizado através da execução de testes ópticos com OTDR em um enlace óptico real, com variação dos parâmetros de configuração, através da utilização do modo avançado. Os resultados dos testes foram apresentados e analisados, permitindo apontar aos profissionais da área formas de melhoria nos seus procedimentos de testes. Diante disto, conclui-se que os objetivos traçados foram alcançados com êxito.

Ao longo do estudo, puderam ser realizadas algumas observações. O erro na indicação do valor do índice de refração resultará em erro proporcional na distância calculada pelo OTDR, o qual pode ser mais significativo do que os erros relacionados com a imprecisão do instrumento. As medições com comprimento de onda de 1310nm devem ser realizadas com largura de pulso maior do que nas medições em 1550nm em função do maior coeficiente de atenuação e menor relação sinal ruído. A distância deve ser pouco maior que o comprimento da fibra em teste, bastando que se visualize uma faixa estreita de ruído, que seria suficiente para avaliar se a relação sinal ruído está adequada. A escolha da largura de pulso depende do objetivo do teste e do comprimento da fibra em teste. Se o objetivo for verificar a curva completa, o pulso deve ser largo o suficiente para que se visualize o final da fibra com boa relação sinal ruído, mas não poderá ser demasiadamente largo, para que as zonas mortas sejam reduzidas ao máximo. Se o objetivo do teste for de avaliar um ponto específico do enlace, a largura do pulso deve ser a mais estreita possível, para que se alcance o ponto desejado, o que resultará em melhor resolução. O tempo de aquisição determina a quantidade de amostras de cada ponto de dados, logo o aumento do tempo contribui para a redução do ruído. O aumento da resolução diminui o erro na localização de eventos, mas também reduz a relação sinal ruído, o que pode ser compensado com o aumento do tempo de aquisição. A inclusão de um supressor de pulsos entre o OTDR e o DIO desloca a zona morta provocada pelo conector do OTDR e permite a caracterização das primeiras emendas do enlace.

Este trabalho pode ser ampliado, futuramente, através do estudo dos tipos de eventos mais comuns e de efeitos encontrados frequentemente, tais como: emenda com ganho e evento fantasma. Pode-se também realizar a análise de testes em outros enlaces, com características ópticas diferentes, relacionando os resultados obtidos com as informações apresentadas neste estudo. É possível ainda elaborar um programa de capacitação de operadores de OTDR com base no conteúdo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13486: Fibras Ópticas – Terminologia. Rio de Janeiro, out. 1995.
- [2] Abbade, A. L. R; Caputo, M. R. C. Aplicação do OTDR na Análise de Problemas de Atenuação em Fibras Ópticas: estudo de casos. Santa Rita do Sapucaí: *Revista Telecomunicações*, v.5, n. 2, p. 25-33, dez. 2002.
- [3] Laferrière, J. et al. Reference Guide to Fiber Optic Testing. v.1, 2.ed. Saint-Etienne: JDSU, 2011.
- [4] Teixeira, S. A. Sistemas de Comunicações Ópticas. Curso Lato Sensu em Sistemas de Telecomunicações, Escola Superior Aberta do Brasil, 2002.
- [5] Abbade, A. L. R. Comunicações Ópticas. [S.l.]: Instituto Nacional de Telecomunicações, nov. 2001.
- [6] Prada, R. OTDR: Optical Time Domain Reflectometer. [S.l.]: JDSU, 2007.
- [7] Talbot, P. Uso de OTDR e OLTS para Medição de Perdas Ópticas. [S.l.]: EXFO, out. 2001.
- [8] Agilent Technologies. Optical Time Domain Reflectometers: Guia de Bolso. Boeblingen: [S.n.], abr. 2001.
- [9] JDSU. MTS/T-BERD 6000L: User Manual. [S.l.]: JDSU, 2006.
- [10] Prada, R. Treinamento: Fibra Óptica. [S.l.]: JDSU, 2010.
- [11] Anritsu. Understanding OTDRs. [S.l.]: Anritsu, nov. 2011.
- [12] EXFO. FTB-700 Series: OTDR para FTB-1. Québec City: EXFO, 2011.
- [13] JDSU. The Impact of Sampling Resolution on OTDR Testing. [S.l.]: JDSU, nov. 2010.