

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

DAS – Sensores acústicos distribuídos com fibras óticas e sua utilização para detecção de intrusão nas vias e detecção de trens, falhas em rodas ou trilhos ou quaisquer eventos que causem efeito acústico

AUTORES

(

INTRODUÇÃO

O MetrôRio

O MetrôRio é composto pelas linhas 1, 2 e 4, sendo as linhas 1 e 4 totalmente subterrâneas e a Linha 2 com quase toda a sua extensão na superfície (com alguns túneis), cortando diversos bairros e comunidades de risco no subúrbio do Rio de Janeiro, entre Pavuna e Estácio (ou Central).



Figura 1- Mapa da rede do MetrôRio

Vandalismos nas linhas Metroferroviárias

Para o funcionamento dos equipamentos de telecomunicações, sinalização e fornecimento de energia aos trens, são necessários muitos cabos de cobre e fibras óticas ao longo de toda a extensão da linha.

Cobre	Fibras óticas
Cabos de comando e controle	Telefonia MetrôRio
Cabos de aterramento	Rede corporativa
Cabos de energia e retorno de tração	TETRA (comunicação trem terra)
Cabos telefônicos	CFTV
Cabos para sinalização	Sonorização de estação
	Comando centralizado/sinalização

Devido principalmente ao alto preço do cobre, esses cabos tornam-se alvo de vandalismo e causam invasão da via.

A invasão de vias ocorre praticamente em todas as linhas ferroviárias do mundo para diversos fins, principalmente para roubo de cabos (cobre, fibras óticas, materiais e equipamentos ao longo da linha), além de travessia da linha quando não há passarela próxima e até mesmo atividades de lazer ou vandalismo.

Nas linhas em que a energia de tração se dá através de 3º trilho (caso do MetrôRio), existe, além do perigo de atropelamento, o perigo de eletrocussão, caso o invasor encoste no 3º trilho.



Figura 2 - Criança soltando pipa nas vias.

Quando ocorrem essas invasões, quase sempre há repercussões na operação metroviária, como falsas ocupações, falta de aterramentos, perda dos sistemas de telecomunicações e sinalização. Esses vandalismos geram a necessidade de realizar a manutenção desses

equipamentos, muitas vezes durante a operação comercial, em locais próximos aos trens e cabos energizados, obrigando a circulação dos trens a ser realizada em “marcha à vista” (baixa velocidade) no trecho, causando atrasos na operação e superlotação dos trens, prejudicando a imagem do MetrôRio. Há ainda as perdas materiais e financeiras, como reposição de equipamentos furtados e danificados, e utilização de HH de equipe de manutenção para o reparo.



Figura 3 - Repercussão do furto de cabos em 13/09/16



Figura 4 - Trecho da Linha 2 do MetrôRio.

No caso particular das fibras óticas, além das fibras dos sistemas do MetrôRio, existem também as pertencentes a operadoras de telecomunicações, que pagam pelo direito de

utilizar a infraestrutura do MetrôRio para lançamento. No caso de corte dessas fibras, os sistemas das operadoras ficam degradados até a próxima janela de manutenção da próxima madrugada, muitas vezes sendo necessário utilizar vários acessos até normalizar todo o dano. Esses acessos também necessitam de acompanhamento de técnico do MetrôRio, utilizando mais HH das equipes de manutenção do MetrôRio. Isso acaba desvalorizando o aluguel do espaço para passagem das fibras, devido às frequentes interrupções.

Além das invasões para roubo e vandalismo, também ocorrem invasões sem objetivo claro, muitas vezes como lazer de crianças ou para buscar bolas ou pipas que caem na via. Essas invasões causam interferência à operação, pois assim que detectada, há a desenergização da via, para evitar a eletrocussão ou atropelamento, causando atrasos na operação.

Soluções para reduzir invasões de via

Diversas medidas são tomadas para evitar a invasão e roubos, como instalação de arames farpados (tipo concertina), tampas metálicas nos bandejamentos e câmeras. Porém é difícil monitorar tudo em tempo real. Geralmente descobre-se que houve invasão quando há queda de algum sistema, sendo tarde demais para evitar o dano.



Figura 5 - Bandeamento de cabos com tampa.

Na contínua busca por soluções cada vez mais eficientes, as empresas de segurança investem alto em pesquisa e desenvolvimento. Para um sistema mais eficiente na proteção das linhas metroviárias contra invasões, o objetivo maior é encontrar uma solução que possa monitorar em tempo real grandes distâncias, com detecções automatizadas e proativas, ou seja, esses alarmes devem ocorrer antes da ocorrência dos danos, para que haja tempo para acionar equipes de segurança ao local e realizar o flagrante, ou mesmo só inibir a ação, fazendo com que o vândalo perceba que já foi descoberto.

Um sistema desses não pode ser sensível ou aparente, pois, caso contrário, ele mesmo se torna alvo de vandalismo e acaba sendo apenas mais um sistema a ser mantido.

DIAGNÓSTICO

DAS – Distributed Acoustic Sensors

As novas pesquisas nesse sentido estão apontando para a utilização de DAS (Distributed Acoustic Sensors) ou sensores acústicos distribuídos.

Obs. Não confundir com DAS – Distributed Antenna System que se refere a sistema de distribuição de antenas para telecomunicações.

Sensores acústicos podem ser sensores de ultrassom (utilizados para sonares, por exemplo), sensores de vibração ou microfones (microfones são sensores de vibração do ar). A ideia desses sistemas é detectar os sons dos eventos, como, por exemplo, os passos de uma

pessoa andando na via ou escalando uma parede, cortando um arame farpado, serrando proteções dos cabos, etc.



Figura 6 - Tipos de sensores acústicos

Numa situação ideal, imagina-se a instalação de sensores acústicos, com alta sensibilidade e alta rejeição a interferências eletromagnéticas ao longo das linhas. Esses sensores deveriam ficar instalados a cada 5 ou 10 metros da linha, cada um ligado independentemente a uma central processadora de sinal, capaz de identificar cada sensor, fazer o processamento de cada um, comparar com os outros, realizar um resultado consolidado e de fácil identificação em uma central para o usuário e gerar alarmes em tempo real.



Figura 7 - Distribuição de sensores ao longo da linha

Os sensores devem ser os mais discretos possíveis, e sem cabos aparentes, evitando que possam ser identificados pelos vândalos como sensores que estão alarmando as tentativas anteriores, por exemplo.

O sistema que irá receber os sinais provenientes dos sensores deverá ser capaz de processar, filtrar e classificar os sinais de cada sensor, de forma que deverá desprezar os sinais normais (trem passando, sons de carros e pessoas nas proximidades - porém do outro lado dos muros, etc.) e analisar os sons não previstos e programados no sistema, para então gerar alarmes, indicando o tipo e local exato do evento.

Um centro de monitoramento deve então gerar esse alarme e, a partir desse momento, pode gerar ações automáticas, como ligar luzes ou alarmes e a operação/segurança deve decidir qual ação será tomada (desenergizar a via, acionar polícia, enviar segurança do local mais próximo possível, etc.).

A grande dificuldade dessa solução está na instalação de sensores a cada 5 ou 10 metros ao longo da Linha 2. Considerando a Linha 2 (parte em superfície) de 20 Km, seriam de 2.000 a 4.000 sensores a serem instalados além do cabeamento para alimentação e sinal de cada sensor.

Devido à alta sensibilidade que precisariam ter, não seria possível a instalação de apenas uma central concentradora e processadora de sinais, obrigando a distribuição de equipamentos ao longo da Linha 2 para que o cabeamento seja o mais curto possível. Os sensores devem ter alta imunidade a interferências eletromagnéticas, o que é muito difícil

em uma linha metroviária, onde muitos sistemas funcionam simultaneamente, além da energia de tração CC com alto índice de espúrios.

Devem ser projetados também para funcionamento na chuva e sol, suportar vibrações do trem passando e resistir a vandalismos.

O sistema que irá processar os sinais deve ser capaz de analisar cada um dos 4.000 sensores individualmente e processá-los simultaneamente em tempo real, além de relacionar as análises de cada sensor um com outro (por exemplo, uma pessoa andando na linha se afastando de um sensor e se aproximando de outro). Esse equipamento deverá também aplicar regras para ignorar ruídos que não correspondam a eventos de vandalismo. Na Linha 2, existem muitas ruas e avenidas paralelas a linha, além de passarelas para pedestres e até residências próximas à linha. O sistema deve ser capaz de “aprender” os sinais conhecidos como normais e não gerar alarme nesses casos.

O que é necessário para implantar um sistema DAS no MetrôRio?

A etapa de maior dificuldade para implantação de um sistema DAS na Linha 2 do MetrôRio é, sem dúvida, a instalação de até 4000 sensores (pode-se descontar a extensão das plataformas, onde não é necessário) ao longo das vias, o cabeamento e o alto custo de material e sensores com alta sensibilidade e imunes a interferências, além da necessidade de possuir um alto índice de proteção a intempéries e aos próprios vandalismos.



E se o MetrôRio já possuir todos esses sensores já instalados e cabeados prontos para uso?

DAS com Fibras óticas

As mais recentes soluções para sistemas DAS utilizam fibras óticas existentes como elementos sensores acústicos distribuídos. Basta que exista uma única fibra disponível e sem uso ao longo do trecho para que se transforme em um sensor DAS. Normalmente qualquer cabo ótico de telecomunicações tem algumas fibras reservas que podem ser utilizadas.

Para entender como uma fibra pode transformar-se em sensor acústico, é necessário conhecer melhor as fibras óticas.

O que são fibras óticas

Fibra ótica é um filamento flexível e transparente fabricado a partir de sílica (vidro) ou plástico extrudido e que é utilizado como condutor de luz, imagens ou impulsos codificados de elevado rendimento. O núcleo tem diâmetro de alguns micrômetros (tipicamente 8 μm), ligeiramente superior ao de um cabelo humano e o envoltório cerca de 125 micrometros. Por ser um material que não sofre interferências eletromagnéticas, a fibra ótica possui uma grande importância em sistemas de comunicação de dados.

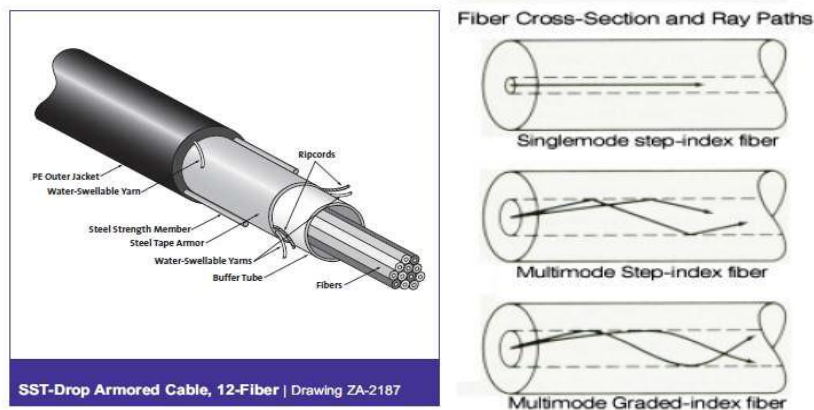


Figura 8 - Composição de um cabo ótico e as fibras

Atualmente as fibras óticas podem ser utilizadas para vários tipos de sensores distribuídos, como temperatura, deformação e vibração. A utilização das fibras óticas como sensores se aproveita dos efeitos não lineares resultantes das características dos materiais utilizados, que muitas vezes não são desejáveis para uso das fibras para telecomunicações.

DAS – detecção acústica

DTS – detecção de temperatura

DSS – detecção de torção, tração ou força

Efeitos não lineares nas fibras óticas

A existência desses efeitos não lineares é conhecida nas fibras óticas desde a década de 80, com o início da utilização em massa das fibras para telecomunicações.

Com a evolução das capacidades dos equipamentos de telecomunicações por fibras óticas, começaram a ser observados efeitos não lineares indesejados nas características das fibras.

Esses efeitos tornaram-se alguns dos fatores impeditivos para aumento da capacidade de comunicação de uma fibra ótica.

Na época que esses efeitos foram descobertos, não existiam sensores e capacidade de processamento suficientes para utilização das fibras como sensores distribuídos. Com a evolução dos equipamentos optoeletrônicos, com sensibilidades e capacidades de processamento cada vez maiores, já é possível utilizar esses efeitos para transformar as fibras em sensores distribuídos.

Aproveitamento dos Efeitos não lineares das fibras óticas

A grande vantagem da utilização dos efeitos não-lineares para a implementação de sensores distribuídos recai principalmente no princípio das medidas. Os efeitos ópticos não-lineares são decorrência de uma natural interação entre a luz e a matéria e, por esse motivo, não requerem a necessidade da utilização de dispositivos individuais ao longo do enlace sensor ou, em outras palavras, a fibra óptica sensora é o próprio transdutor das medidas. Não obstante a complexidade inerente dos efeitos em questão, a proposta permite a implementação de um sistema sensor inovador, cuja simplicidade na localização das medidas e a grande quantidade de pontos de medida obtidos agrega um elevado valor tecnológico à proposta.

De um modo simplificado, a propagação da luz pela matéria (fibra) ocorre basicamente pela interação entre o campo eletromagnético propagando (luz) e o meio de propagação (composto por átomos dispersos em uma matriz cristalina ou não) na própria fibra.

Se agregarmos a esta informação, o fato de que o meio material de propagação pode possuir suas propriedades microscópicas alteradas por fatores externos como a temperatura, a deformação mecânica e a vibração, torna-se claro a possibilidade de se avaliar as consequências destes fatores sobre a propagação de campos ópticos, ainda mais quando esta propagação estimula a ocorrência de efeitos não-lineares.

Portanto, uma conclusão é a possibilidade de medir os fatores externos, que agem sobre o meio de propagação, através da caracterização de efeitos ópticos não-lineares. É esta afirmação que fornece o conceito geral para a pesquisa de sensores utilizando efeitos ópticos não-lineares.

Os três principais efeitos não lineares importantes nesse estudo são:

Espalhamento Raman espontâneo; Espalhamento Brillouin; e Dispersão de Rayleigh

Espalhamento Raman espontâneo

O espalhamento Raman é um efeito não-linear caracterizado pela interação entre um campo óptico intenso com o meio material e cujo resultado é o aparecimento espontâneo de novas componentes espectrais (raias de luz com frequências diferentes da luz de excitação). O efeito Raman é consequência da interação dos fótons de bombeio, com as vibrações moleculares do meio de propagação.

De um modo geral, em meios ópticos não-lineares, o espalhamento Raman espontâneo converte uma pequena fração da potência incidente de um campo óptico em um, ou mais

campos ópticos com frequências deslocadas, as quais são determinadas pelos modos vibracionais do meio de propagação.

Espalhamento Brillouin

O espalhamento Brillouin é um efeito não-linear caracterizado pela interação paramétrica entre dois campos ópticos contra-propagantes e um campo acústico hipersônico estimulado no meio de propagação. Os campos ópticos são denominados campo de bombeio e campo de Stokes, onde a energia dos fótons do campo de bombeio é maior que a dos fótons do campo de Stokes. O formalismo quântico permite uma melhor compreensão do efeito, onde um fóton de bombeio é aniquilado dando origem a um fóton de Stokes e a um fônon acústico (vibração acústica da rede “cristalina” do meio de propagação). Do ponto de vista prático, no efeito Brillouin, o campo de bombeio é atenuado (fótons aniquilados) e o campo de Stokes é amplificado (fótons e fônons gerados). O espalhamento Brillouin espontâneo é resultado da interação entre um campo óptico de bombeio e ondas acústicas termicamente geradas no interior da fibra óptica.

Dispersão de Rayleigh

A dispersão de Rayleigh é a dispersão da luz ou qualquer outra radiação eletromagnética por partículas muito menores que o comprimento de onda dos fótons dispersados. Ocorre quando a luz viaja por sólidos e líquidos transparentes, mas se observa com maior frequência nos gases.

Se o tamanho das partículas é maior que o comprimento de onda, a luz não se decompõe em suas componentes cromáticas e todos os comprimentos de onda são igualmente

dispersados, motivo pelo qual, ao atravessar uma nuvem, a luz se vê como branca; o mesmo ocorrendo quando atravessa os grãos de sal e de açúcar. Para que a luz seja dispersa, o tamanho das partículas deve ser similar ou menor que o comprimento de onda.

O grau de dispersão de Rayleigh que sofre um raio de luz depende do tamanho das partículas e do comprimento de onda da luz, dependências expressas de fato no coeficiente de dispersão.

Aplicação prática dos efeitos não lineares

A forma de como são interpretadas as medições destes efeitos não lineares, permite obter medidas como temperatura, deformação e vibração.

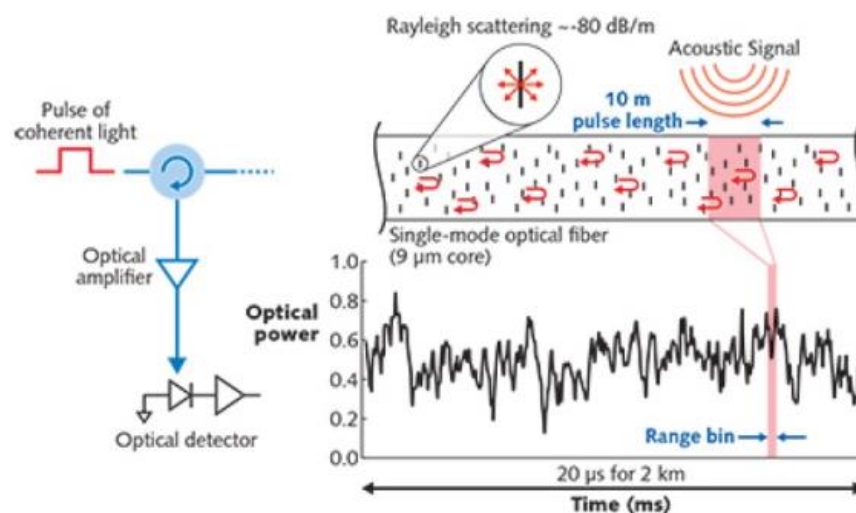


Figura 9 - Dispersão de Rayleigh

A tecnologia atual permite a utilização de fibras ópticas existentes, geralmente fibras reservas dos cabos de telecomunicações, com distâncias máximas de 30 a 50 Km com um único

equipamento processador/interrogador e com resolução de posição de detecção de 5 a 10 metros.

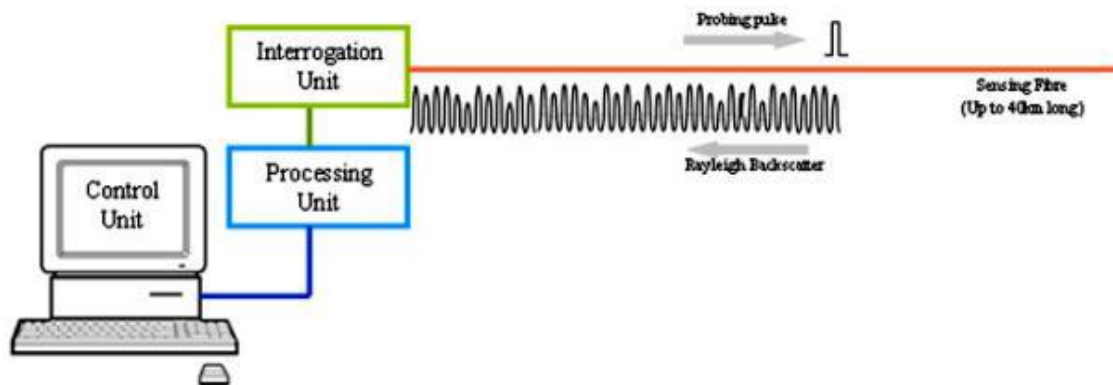


Figura 10 - Dispersão de Rayleigh e equipamento interrogador

Podemos considerar então, uma fibra ótica como sendo um microfone contínuo, que conectado a um equipamento processador especial, pode detectar eventos em função dos sons ou vibração gerados pela ação.

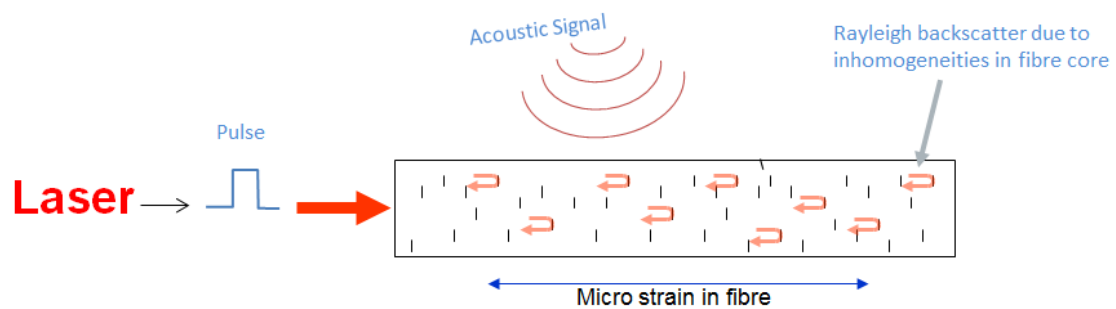


Figura 11-Dispersão de Rayleigh em função de sinal acústico

Ao contrário do que podemos imaginar inicialmente, não é necessário que a fibra ótica vibre ou deforme-se para que possa ser utilizada como sensor acústico. O efeito desejado é causado somente pelo fato das moléculas de sílica do material da fibra absorverem a energia gerada pelo evento como resultado de que ela irá estar em um estado de energia diferente do que estava. Isso é o que causa os desvios de fase da luz refletida na fibra ótica.

Portanto para que possa ser utilizada como sensor acústico, não será necessário que o som faça as fibras vibrarem, como se fosse uma membrana de um microfone, mas sim que as moléculas de sílica alterem seu estado energético. Dessa forma, uma fibra suspensa em postes não obterá um bom resultado, mas uma fibra enterrada no solo é a melhor condição para que seja utilizada como sensor acústico.

Portanto pode-se descartar a utilização de fibras óticas como microfone (pelo menos com a tecnologia atual), mas torna-se um excelente sensor de passos, por exemplo.

A faixa de frequências de sensibilidade acústica das fibras óticas utilizadas como DAS é um pouco diferente da audição humana, com melhor sensibilidade em frequências mais baixas, conforme gráfico abaixo. Essas características podem variar de acordo com o tipo de fibra utilizada, a localização dela e características dos equipamentos utilizadas.

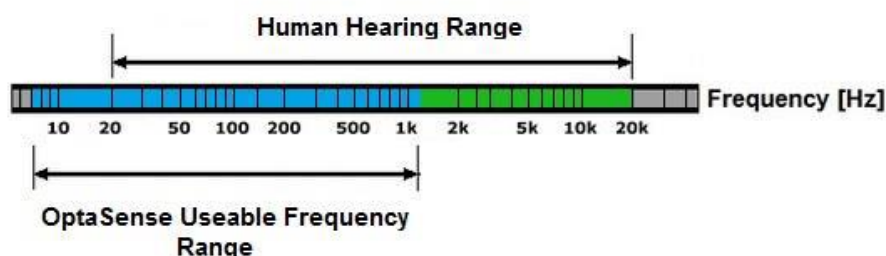


Figura 12 - Resposta de frequência de uma fibra ótica comparada com audição humana

As primeiras utilizações de fibras óticas como sensores foram utilizadas na área de petróleo e gás, para monitorar oleodutos e gasodutos, para detecção de obras próximas, fogo ou vazamentos.

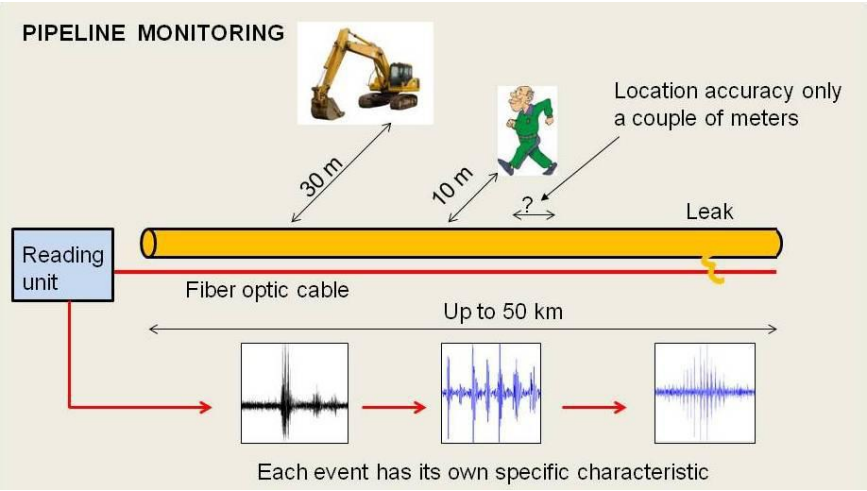


Figura 13 - Monitoramento de tubulações com DAS

Histórico do desenvolvimento do DAS

	Year	Result	Location
	2008	First rail installation personnel detection and trackside security	United Kingdom
	2010	First operational rock fall detection system deployed	United States
	2011	First operational system looking for track and train defects deployed	United States
	2012	First metro installation for metal theft security	United Kingdom
	2013	First installation on a mining railway	Australia
	2013	Rock fall system integration with client dispatcher approved	United States
	2013	Mobile field unit deployed for metal theft security	Europe

ANÁLISE DOS RESULTADOS

O sistema consiste em uma fibra ótica conectada a um equipamento processador/interrogador que emite pulsos de luz de alta frequência e bem definidos e analisa o espectro dos pulsos refletidos de volta. Qualquer atividade nas proximidades da fibra produzirá uma energia acústica que será absorvida pelo material que compõe a fibra ótica, causando alterações no espectro da luz recebida de volta pelo processador. A localização do evento será resultado da medida do tempo que a luz levará para ir e voltar ao ponto do evento.

A luz recebida de volta refletida nas moléculas que causaram o evento será filtrada e processada para que possa ser classificada e identificada. Os sistemas atuais podem detectar passos a uma distância de até 10 metros da fibra, e é possível também identificar em que sentido a pessoa se move.

O sistema não apenas detecta e mede a distância que ocorreu o evento, mas com o aumento de poder de processamento que pode ser atingida atualmente, é possível identificar sua natureza, classificar e comparar com eventos com assinatura pré-definidos, seja para gerar um alarme ou para desprezar determinados tipos de eventos conhecidos que não representam problemas. Esses eventos podem ser filtrados e identificados como passos, veículos, escalada de muros, corte de cercas, tampas de bandejamentos sendo removidos, etc.

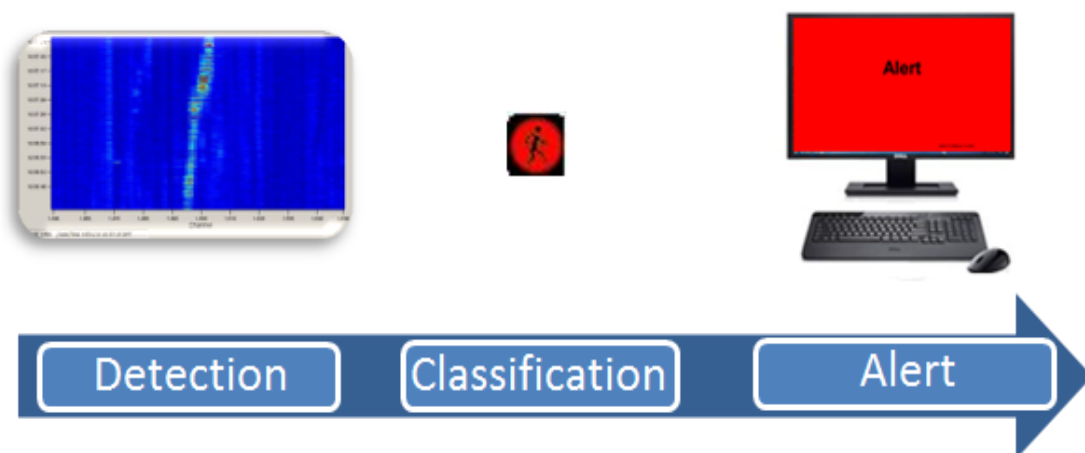


Figura 14 - Fluxograma básico da detecção com DAS

A distância máxima de fibra a partir do ponto em que é conectado o equipamento, atualmente é de até 50 km. Nesse caso é considerada uma fibra ótica monomodo de telecomunicações “standard”, cuja perda em 1550 nm é de 0,2 dB/Km. Considerando que o feixe precisa percorrer o trajeto de ida e volta, temos cerca de 0,4 dB/Km. O limite de sensibilidade dos melhores equipamentos atuais é de cerca de 20 dB.

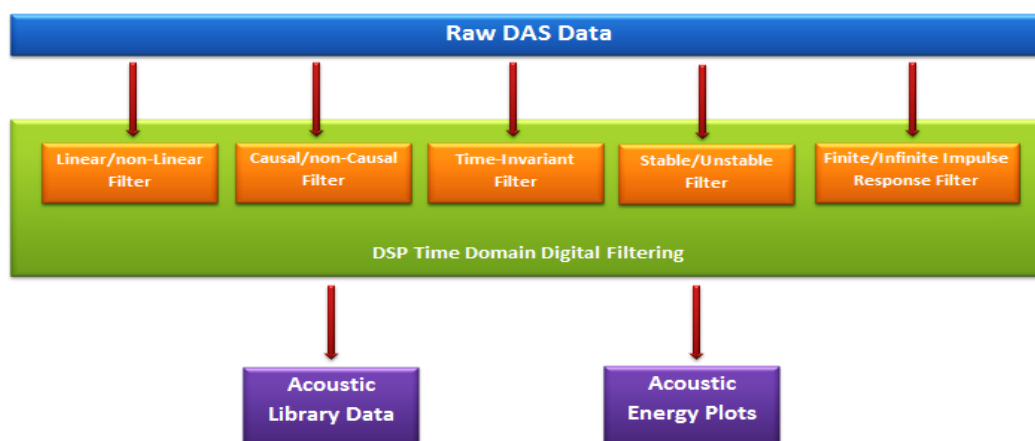


Figura 15 - Etapas de processamento de equipamento interrogador

Análises realizadas nos sinais refletidos

Diversas análises podem ser realizadas nos sinais provenientes das fibras óticas e exibidas numa tela de computador, como, por exemplo, histograma e tipo gráfico tipo waterfall.

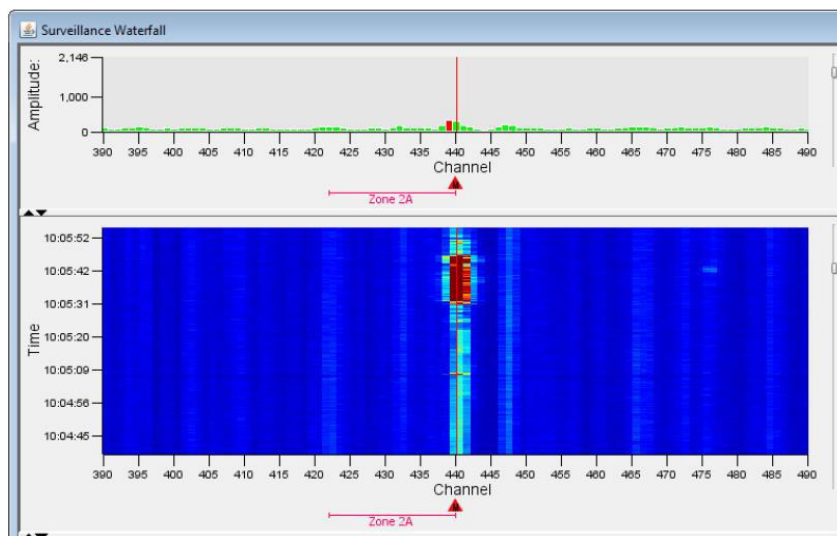


Figura 16 - Tela com análise por histograma e waterfall

As análises individuais podem ser:

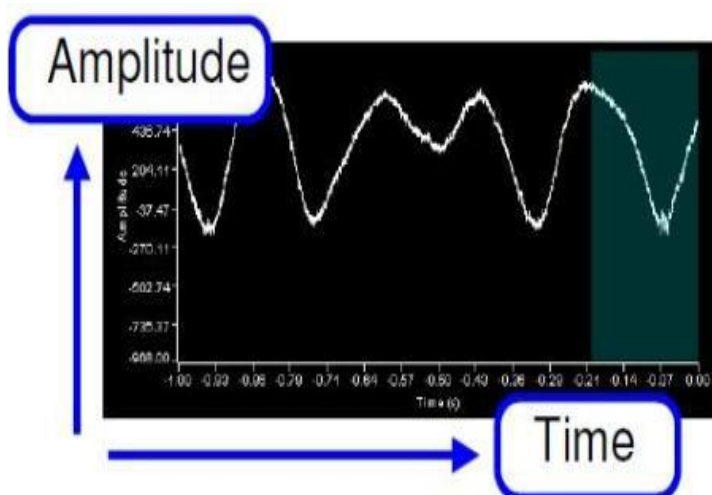


Figura 17 - Série de tempo (amplitude x tempo)

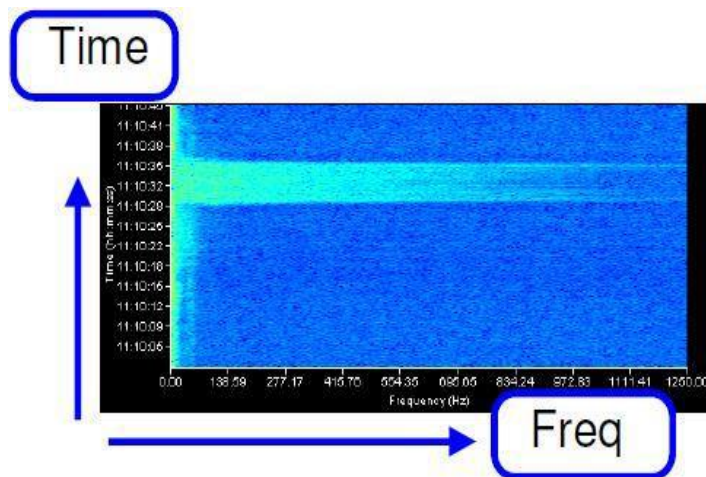


Figura 18 - Espectrograma (tempo x frequência)

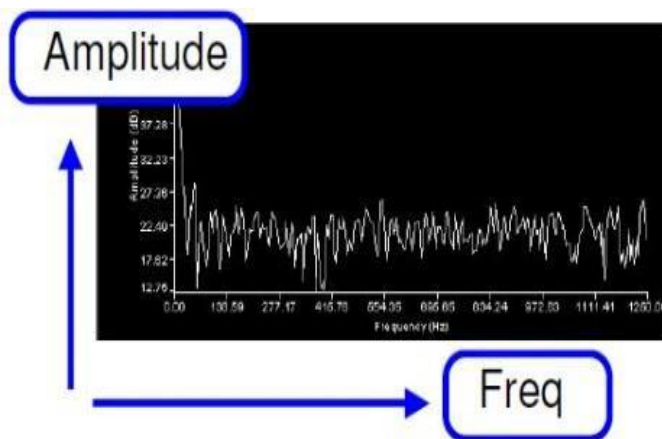


Figura 19 - FFT (amplitude x frequência - transformada fast fourier)

Cada aplicação pode desenvolver sua própria forma de exibir os dados, customizando cada solução para cada necessidade, bastando apenas realizar trabalho de programação.

Tipos de grandezas detectadas pelos sensores de fibras óticas

Os efeitos não lineares das fibras óticas, atualmente permitem detecção de outras grandezas através de equipamentos específicos para cada fim, como:

DAS – Distributed Acoustic Sensing - Acústico

DTS – Distributed Temperature Sensing – temperatura

DSS – Distributed Strain Sensing - tensão/deformação

Tipos de fibras óticas para uso em DAS

Embora possam ser utilizadas fibras óticas comuns de telecomunicações para detecção, existem fibras óticas especiais para uso como sensores distribuídos. Alterações nos processos de fabricação permitem otimizar as fibras para cada aplicação.

A OFS Optics (subsidiária da Furukawa) produz fibras sob encomenda com características personalizadas dos efeitos Rayleigh, Raman e Brillouin para cada necessidade (multimodo ou monomodo), para aplicação em DAS, DTS ou DSS. Outros fabricantes também desenvolvem fibras especiais para essas aplicações.

Part Number	Fiber Type	Operating Wavelength (nm)	Coating Ø (µm)	Cutoff Wavelength (nm)	Coating System	Temperature Range (°C)
Accutether® 80	Single-Mode	1550	160	1410 ± 50	Dual Acrylate	-40/+85
Accutether® 125	Single-Mode	1300	245	≤ 1300	Single Acrylate	-40/+85
BF06159	Single-Mode	1550	130	1410 ± 50	Single Acrylate	-40/+85
BF06160	Single-Mode	1550	200	≤ 1500	Single Acrylate	-40/+85

Part Number	Product	Fiber Type	Coating Ø (µm)	Coating System	Temp Range	Common Uses
F13469	GE050	GI Multimode	155	Carbon/PYROCOAT®	-65/+300 °C	DTS
F18961-02	GE050-SA	GI Multimode	250	Carbon/Silicone/Acrylate	-45/+160 °C	DTS
F21976	GeoSil® SM	Pure core Single-Mode	155	PYROCOAT	-65/+300 °C	DTS/DSS

For detailed product specifications please visit www.ofsoptics.com, call us toll free at 888.438.9936 (Canada and USA) or contact us directly at 860.678.0371

Figura 20 - Fibras especiais para DAS

Outros tipos de fibras óticas que maximizam o desempenho dos sistemas DAS, são cabos dipolo, cabos tipo fita e cabos buffer

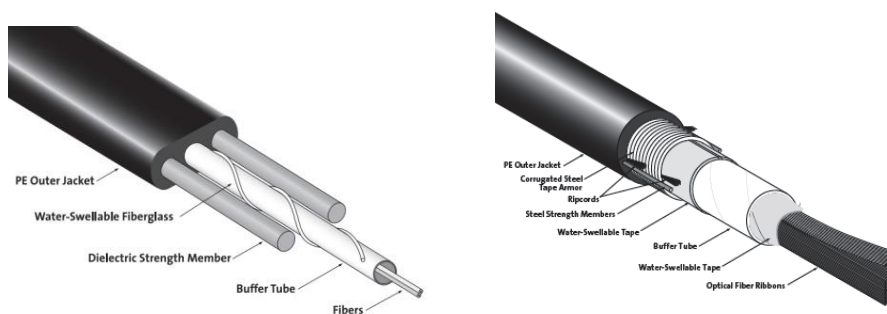


Figura 21 - Detalhamentos de fibras especiais

DAS em ferrovias e no MetrôRio

No MetrôRio, já existem diversos cabos óticos ao longo da Linha 2, e para que possa ser implantado, será necessário utilizar apenas uma fibra sem uso (normalmente existem fibras reservas nos cabos óticos) para ser utilizada como sensor.

Na Linha 2 os cabos possam principalmente por bandejamentos presos aos muros, o que não é o ideal (que seria enterrado), mas também não deve ser impeditivo do funcionamento do sistema. Um cenário ideal seria a utilização de uma fibra enterrada de cada lado das vias.

Testes tem que ser realizados para determinar a melhor configuração para cada aplicação.

Para qualquer instalação DAS, é necessário um período de “aprendizado” do sistema, durante o qual será ajustada a sensibilidade, aferidas as distâncias e programados quais eventos devem ser ignorados o quais devem ser detectados. Também devem ser programados os trechos de plataforma para ignorar passos por exemplo. Esse não é um processo rápido, pois são muitas variáveis para serem programadas, e não há ainda um modelo pronto para cada aplicação.

Cabe ressaltar que essa tecnologia é extremamente nova e muitas melhorias devem surgir nos próximos anos.

Etapas necessárias para instalação de um sistema DAS no MetrôRio

Para a instalação de um sistema DAS no MetrôRio, devem ser seguidas as seguintes etapas:

Verificar os cabos disponíveis com fibras sem uso e seu encaminhamento;

Verificar o fabricante, tipo e características das fibras existentes;

Realizar testes OTDR detalhados das fibras;

Fazer levantamento das distancias, vistas aéreas da via e localização de equipamentos;

Realizar site survey dos locais de instalação;

Simulações e configurações em fábrica dos equipamentos;

Realizar os ajustes em campo;

Realizar testes de adequação do software;

Ajustes finos em uso e operação assistida;

Comissionamento e treinamentos.

Outras aplicações DAS – o que mais pode ser monitorado em uma ferrovia?

Existem novas aplicações sendo desenvolvidas tirando proveito dos DAS. No ramo ferroviário, estão sendo desenvolvidas novas aplicações no TTCl (Transportation Technology Center, Inc., USA) com participação de múltiplos operadores. Maiores detalhes das empresas envolvidas ainda não são divulgados, possivelmente devido a questões envolvendo patentes.

Uma das outras aplicações resultantes da utilização do sistema DAS em ferrovias é a identificação de falhas nos trilhos, trem com calos nas rodas ou outras falhas que produzam algum efeito acústico diferenciado do normal.

Os calos nas rodas dos trens, por exemplo, produzem um padrão acústico facilmente detectável e identificável, ou alguma irregularidade nos trilhos irão gerar um padrão acústico diferente do normal do mesmo local para todos os trens.

Outras condições como o estado de truques dos trens também podem ser monitoradas com base nas vibrações produzidas.

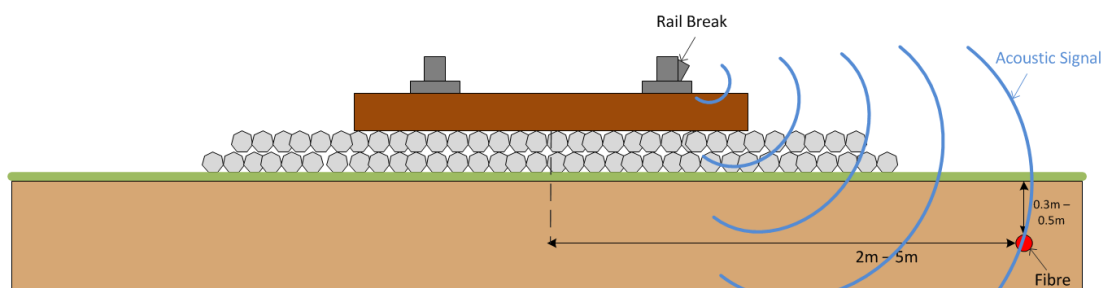
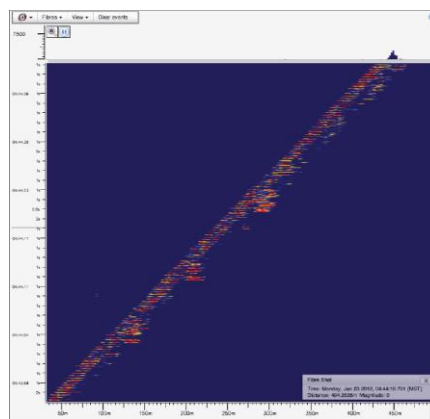
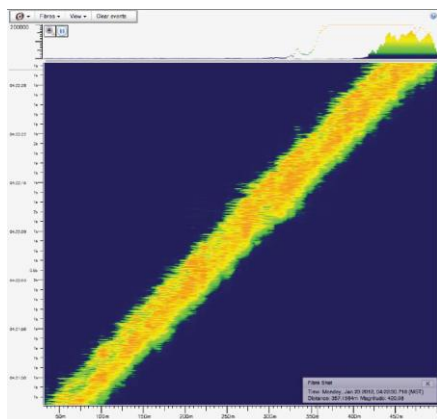
Estruturas civis como pontes, viadutos, passagens de nível, tuneis ou outros, podem ser monitoradas também quanto a sua integridade, baseados nas frequências de ressonância se alterando com o passar do tempo, e antevendo a necessidade de manutenção.

Os sistemas DAS possuem a capacidade de aprendizado, onde a cada dia novos eventos podem ser “ensinados” para que gerem alarmes específicos ou sejam eliminados falsos alarmes.

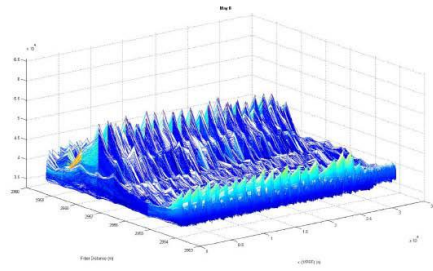
Deteção de falhas de via ou MR

Abaixo estão alguns exemplos de detecção de falhas em linhas metroviárias

Falha em trilhos



Rail Break



Rail Break Repaired

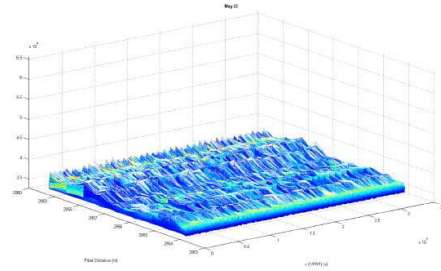


Figura 22 - Exemplo de detecção de trilho quebrado em visualização waterfall e composta 3D

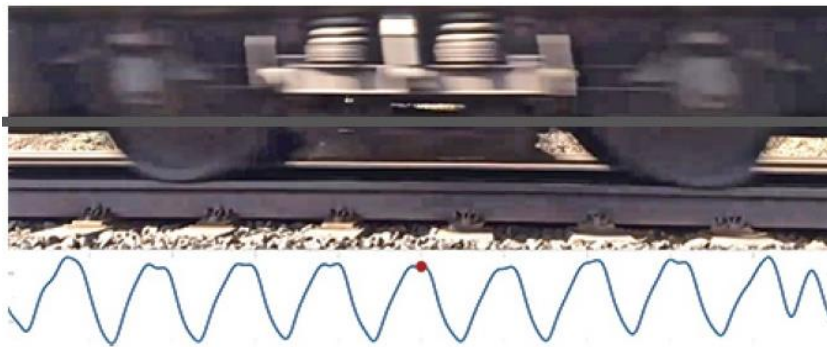


Figura 23 - Rodas com calos

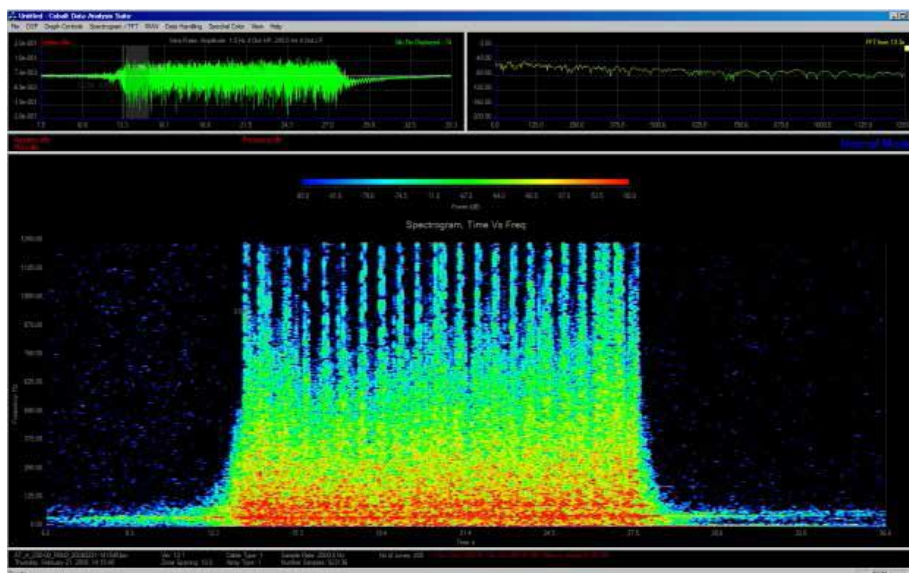


Figura 24 - Exemplo de visualização de calo na roda 28

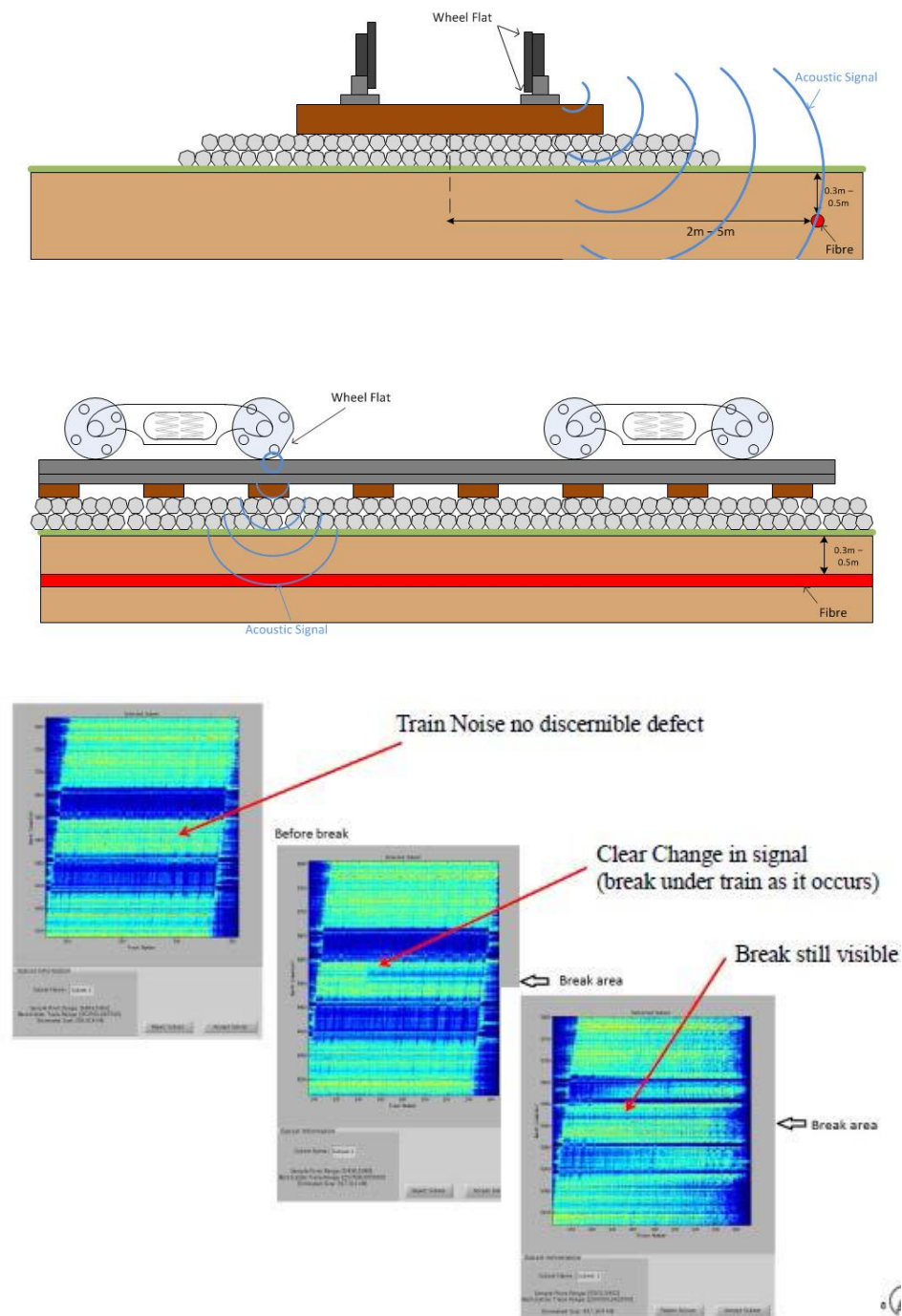


Figura 25 - Alteração no padrão acústico alertando para um problema no trem

Foram realizados experimentos em ferrovias para detectar queda de pedras na via em trechos montanhosos.

No caso abaixo, foram jogadas pedras propositalmente e analisados em um sistema DAS.



Figura 26 - Pedras na via

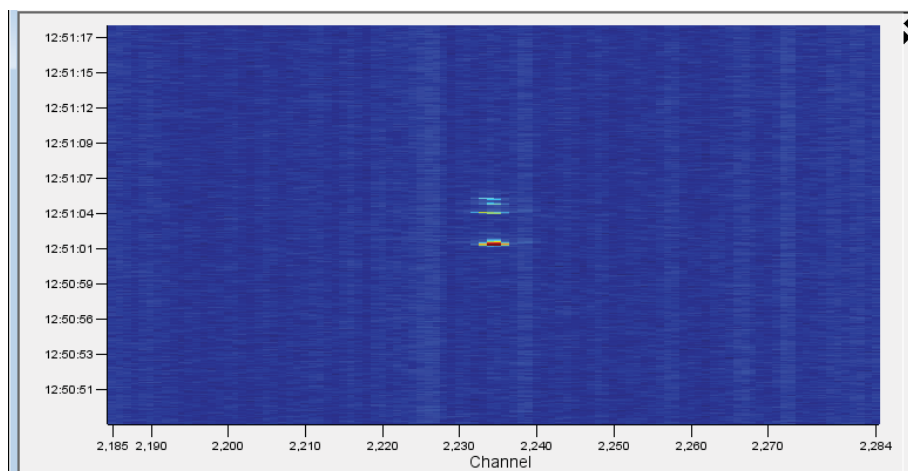


Figura 27 - Padrão resultante

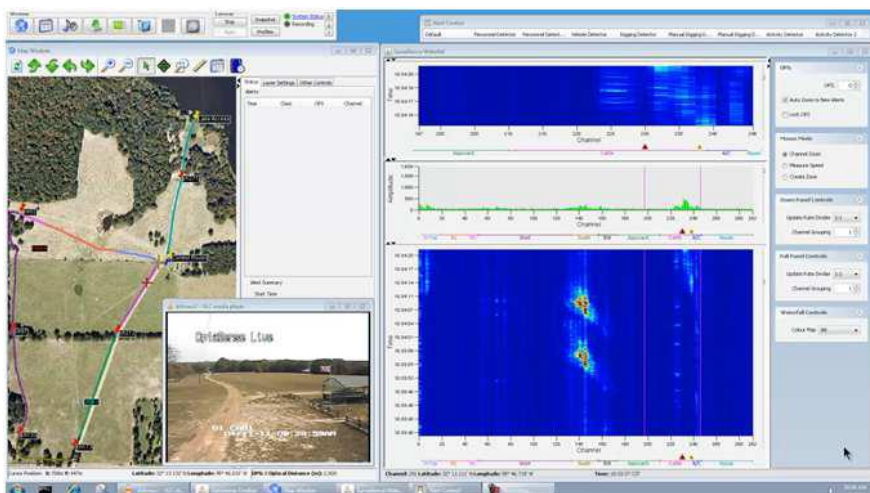


Figura 28 - Visualização de mapas de linha

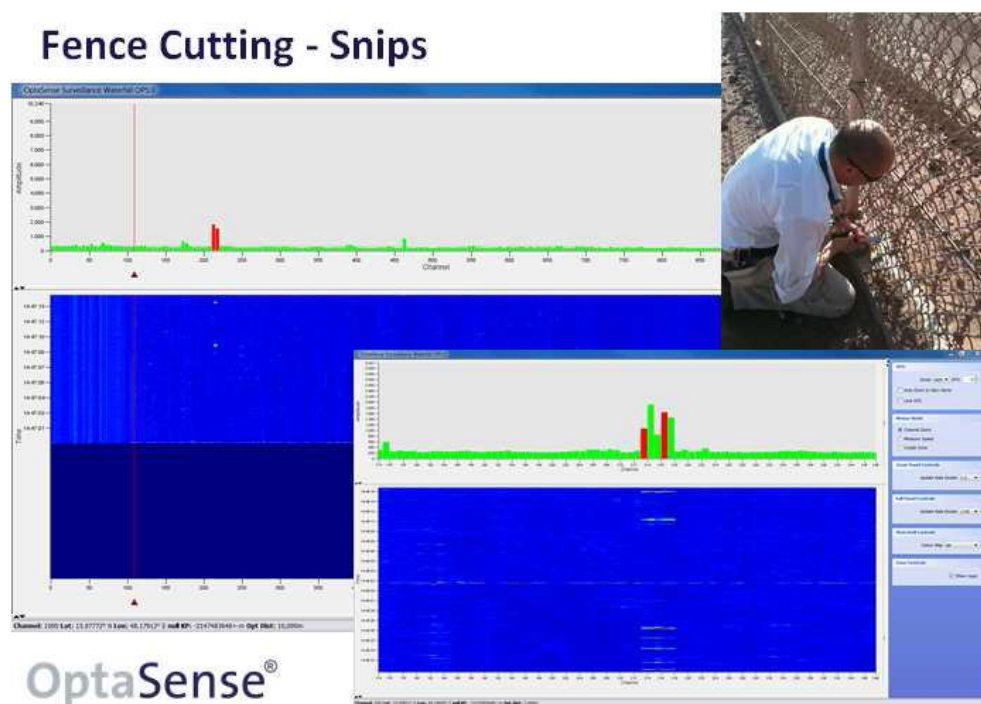


Figura 29 - Padrão resultante de corte de cercas de aço

lacksaw

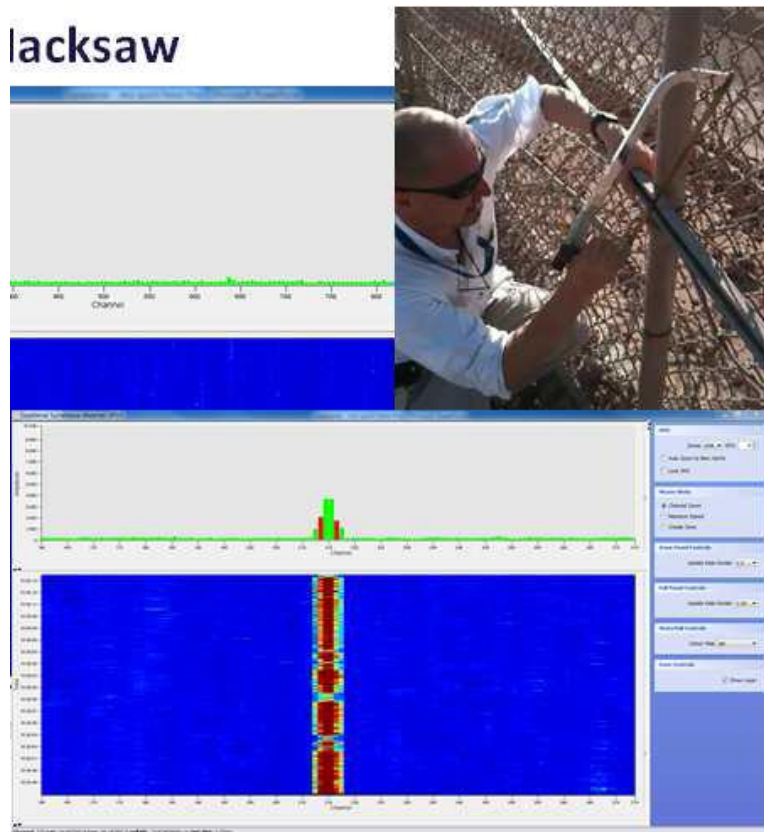


Figura 30 - Padrão observado com utilização de serra

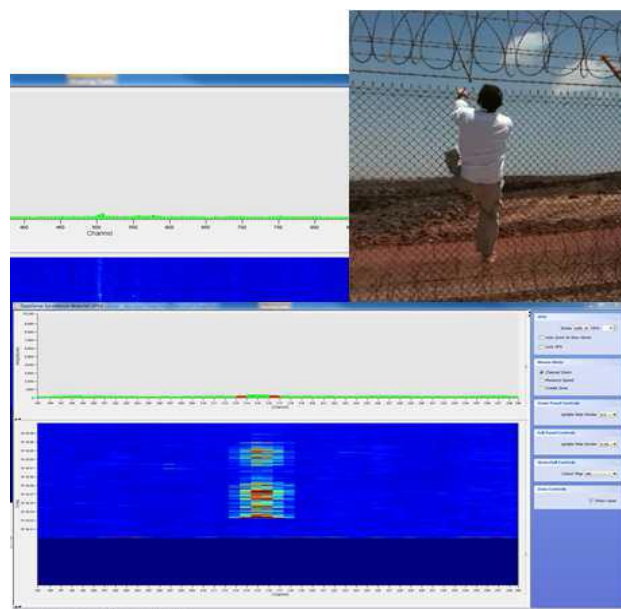


Figura 31 - Padrão observado no caso de escalada de cerca

Qualquer evento anormal que produza efeito acústico pode ser mensurado e detectado.



Figura 32 - Elefante cruzando via

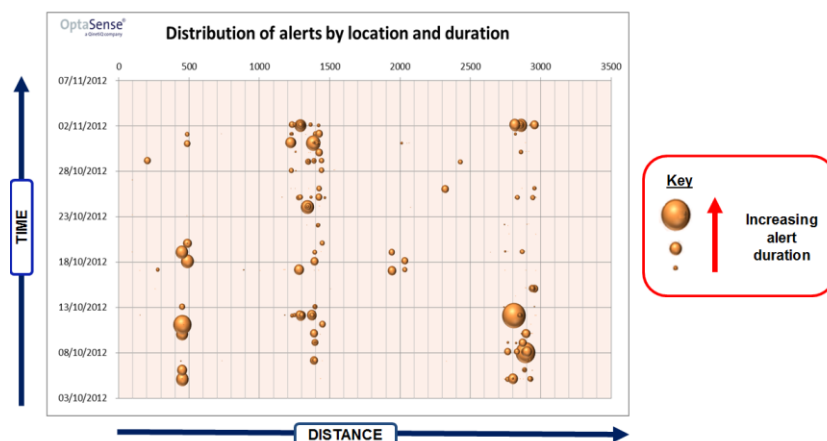


Figura 33 - Gráfico de bolhas

Os alertas podem ser contabilizados e mensurados no gráfico de bolhas para emissão de relatórios automatizados.

O que mais pode ser detectado?

DAS para detecção de trens numa linha

Os trens circulando na linha geram sinais acústicos que podem ser utilizados para acompanhamento dos trens em uma linha.

A circulação dos trens gera um padrão bem definido, com sugestões inclusive para uso do sistema DAS para localização de trens, veículos de manutenção e frentes de serviço de manutenção na via.

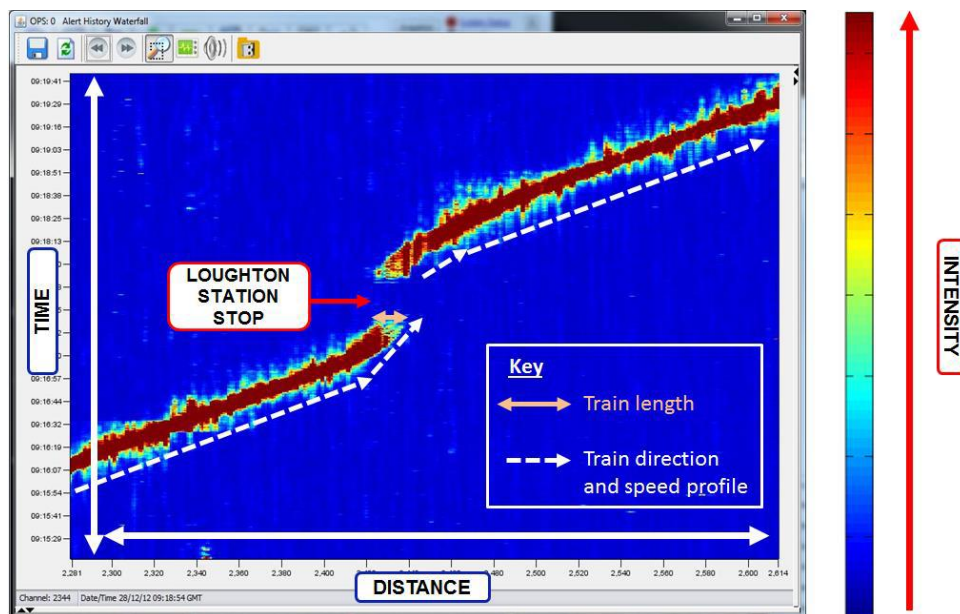


Figura 34 - Exemplo da assinatura acústica de um trem na visualização tipo waterfall.

A inclinação da curva pode informar a velocidade e aceleração em tempo real de uma composição. Um trem parado gera um espaço na visualização tipo waterfall. Da mesma forma pode ser detectado o headway em distância e tempo entre os trens.

A distância e o tempo entre composições podem ser monitorados em tempo real, com precisão de poucos metros ou segundos através da distância entre as linhas no gráfico.

Toda a circulação de uma linha pode ser monitorada em tempo real, e depende apenas de como será programada a interface para extrair resultados em tempo real e geração de relatórios da operação.

Existem estudos para a certificação SIL4 do sistema para a detecção de trens para utilização em sinalização, em uma solução de performance superior aos blocos moveis do CBTC.

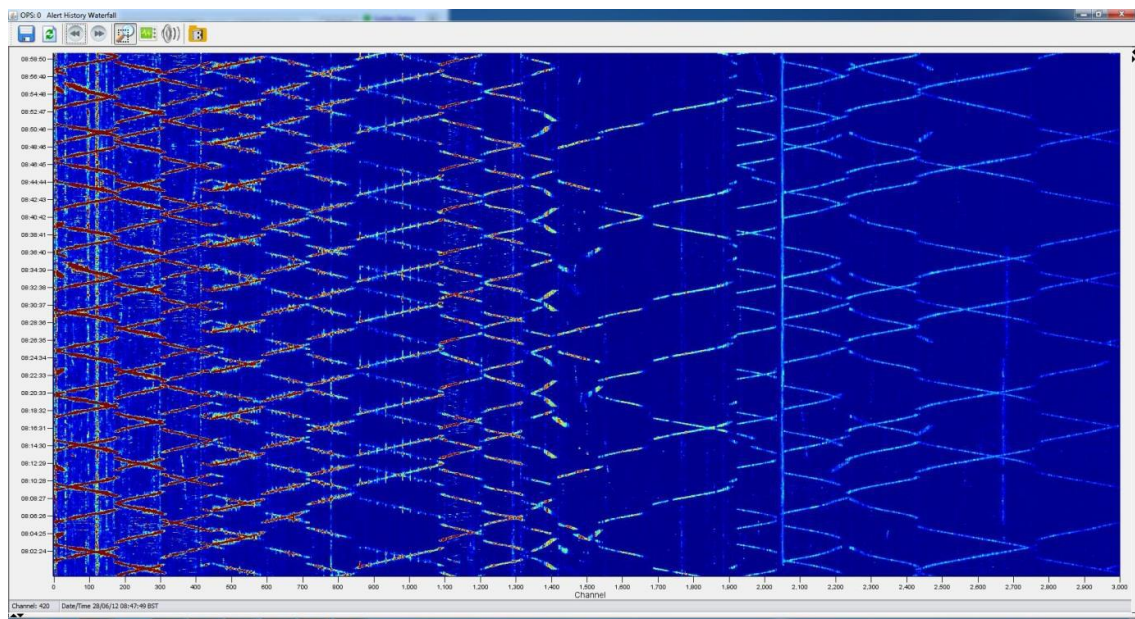


Figura 35 - Visualização em waterfall da circulação de trens em uma linha

Trens em rota de colisão podem ser detectados, e gerados alarmes automaticamente. Basta desenvolver o software para tal.



Figura 36 - Situação típica em que o DAS poderia ter evitado o acidente

Fabricantes de equipamentos

Existem diversos fabricantes com produtos DAS surgindo a cada dia, a tecnologia DAS com fibras óticas para detecção é muito recente e a cada dia surgem novas soluções e empresas. Até o momento somente fabricantes internacionais desenvolvem este tipo de tecnologia.

CONCLUSÕES

A utilização de sensores acústicos distribuídos com fibras óticas é uma tecnologia muito recente sobre fenômenos conhecidos desde o início da utilização de fibras óticas para telecomunicações, os efeitos não lineares.

Com a evolução da optoeletrônica e da capacidade de processamento dos DSPs (Digital Signal Processors) e computadores, tornou-se possível a utilização desses efeitos não lineares, indesejados para as telecomunicações, para a detecção de diversos eventos como vibração acústica, temperatura e abrindo caminhos para outros ainda em desenvolvimento.

Uma utilização bastante desenvolvida para o DAS, é a detecção de intrusão em áreas controladas. No MetrôRio, teria aplicação ideal para detectar invasão da via para roubo de cabos na Linha 2, causador de inúmeros prejuízos diretos e indiretos na operação.

Como as fibras do MetrôRio não estão no local ideal, que seriam enterrados ao longo da via, seriam necessários testes e maiores contatos com empresas desenvolvedoras de equipamentos e softwares para uma análise detalhada de viabilidade.

Porém nada impede que sejam lançadas fibras óticas especificamente para essa utilização, ou seja, em local ideal a ser avaliado com as empresas fornecedoras.

Com a implantação de um sistema DAS no MetrôRio, seria possível expandir o sistema para a detecção de falhas específicas que produzam efeitos acústicos, como por exemplo, calos nas rodas, falhas nos trilhos e/ou dormentes entre outros, além da própria detecção da localização de trens, veículos de via e frentes de trabalho na via.

No caso de contratação de um sistema DAS, deverá ficar claro que o sistema será aprimorado utilizando o MetrôRio quase como um laboratório de desenvolvimento, o que pode causar demora na conclusão do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Texto

Optasense www.optasense.com

Omnisens www.omnisens.com

Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_acoustic_sensing

Silixa www.silixa.com

Field testing of fiber-optic distributed acoustic sensing (DAS) for subsurface seismic monitoring , The Leading Edge June 2013,

http://www.mit.edu/~demiller/2013_Daley_et_al_TLE.pdf

Fotech - <http://www.fotech.com/das/>

Frauscher Sensor Technology - <http://www.tracking-solutions.com/>

Arema.org -

https://www.arema.org/files/library/2013_Conference_Proceedings/Fiber_Optic_Sensing_for_Detecting_Rock_Falls_on_Rail_Rights_of_Way.pdf

CPQD - <https://www.cpqd.com.br/blog/sensoriamento/ofs24-aponta-boom-de-sensores-de-fibra-optica-distribuidos/>

The Economist, 04/jan/2014 – The ear underground

IRJ International rail journal, Tuesday, November 26, 2013 Austrians to test lineside acoustic sensor

Optasense Patent <https://www.google.com/patents/US20150013465>

165th Acoustical Society of America Meeting

http://acoustics.org/pressroom/httpdocs/165th/3aUWa1_Ku.html

Laser focus world 08 06 1015 - Fiber Sensing: Optical fiber monitors the arterial networks of commerce [http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-](http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-08/features/fiber-sensing-optical-fiber-monitors-the-arterial-networks-of-commerce.html)

[08/features/fiber-sensing-optical-fiber-monitors-the-arterial-networks-of-commerce.html](http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-08/features/fiber-sensing-optical-fiber-monitors-the-arterial-networks-of-commerce.html)

U.S. Department of Transportation - Feasibility Study of Fiber-Optic Technology for Broken Rail Detection Matthew D. Holcomb and W. David Mauger - October 2013 – federal railroad administration

TTCI - Transportation Technology Center, Inc. Association of American

Railroads <http://www.aar.com/>

Sensors 2015: <http://www.mdpi.com/journal/sensors> - Review of Trackside Monitoring

Solutions: From Strain Gages to Optical Fibre Sensors ISSN - 1424-8220 Georges Kouroussis ,

Christophe Caucheteur, Damien Kinet, Georgios Alexandrou, Olivier Verlinden and

Véronique Moeyaert

The rail engineer • April 2014 Acoustic sensing the future for rail monitoring? CLIVE KESSELL