

Monitoramento de Deslizamento de Terra Usando Sensor Simples de Fibra Óptica

Ildefonso Felix de Faria Junior, Germano Beraldo Filho e Sergio Celaschi

Resumo — Este trabalho apresenta uma proposta para monitorar deslizamentos de terra usando fibra óptica. O princípio explorado foi a sensibilidade a macrocurvaturas das fibras ópticas. O monitoramento é feito medindo-se a potência óptica que atravessa a fibra óptica. Este sinal é digitalizado por um processador Atmega 328p e transmitido por um módulo RF para a central de monitoramento. Em caso de deslizamento de terra a fibra é submetida a deformações que causam atenuação na luz que nela se propaga. Sendo um equipamento de baixo custo é uma opção viável para instalação em larga escala em todas as cidades brasileiras.

Palavras-Chave— Deslizamento de terra, sensor a fibra óptica, macrocurvatura em fibra óptica.

Abstract — This paper presents the work of an initial study of a simple and low cost application of fiber optics as a sensor for land sliding. In this study were used single mode fiber optics, and the principle used is the optical loss in fiber due to macro bending. The power of optical signal emerging from the fiber is measured and digitalized using simple Arduino processor and it's transmitted by an RF modulus to a central station. Due to its low cost characteristics compared to more complex methods it is suited to be used in large scale in all Brazilian cities.

Keywords—Land sliding, fiber sensor, macro bend loss.

I. INTRODUÇÃO

São crescentes no Brasil o número e a intensidade dos desastres provocados, especialmente, por inundações e deslizamentos, ocasionando impactantes perdas de bens e vidas humanas. Isso levou a mobilizações nos governos e na sociedade no sentido de criar ações para minimizar os efeitos destes desastres [1]. Na Figura 1 apresentamos um exemplo de um deslizamento sobre uma ferrovia. Este tipo de ocorrência pode provocar descarrilamento de trens com sérias consequências como perda de vidas, interrupção da linha férrea gerando prejuízos materiais. A administradora da ferrovia necessita de sensores que monitorem deslizamentos para evitar descarrilamento de trens.

O objetivo deste estudo foi a investigação do uso da fibra óptica como elemento sensor para monitorar pequenos precursores de grandes deslizamentos de terra. Nossa proposta é criar um detector de deslizamento de baixo custo e de fácil

instalação para oferecer um aviso da ocorrência, de preferência no seu estágio inicial, quando se podem tomar medidas preventivas para evitar prejuízos. O sistema proposto é o monitoramento da atenuação óptica causada no sinal que trafega na fibra quando esta é submetida a uma curvatura de pequeno raio (da ordem de centímetros) [2].



Figura 1 – Deslizamento em encosta próxima a ferrovia. Foto por Gustavo Sá [3].

A interrogação do sinal óptico é feita usando um transceptor óptico microprocessado que contém um laser e um detector óptico. Este transceptor (par emissor/receptor) emite um sinal que é injetado em uma extremidade da fibra que forma um enlace ponto-a-ponto com o receptor. Esse segmento de fibra é instalado em campo em uma configuração contendo pequenos laços - “loops” em suportes mecânicos, que atuam como os elementos sensores. A potência do sinal que chega ao receptor é monitorada e comparada com a potência inicial transmitida. Este nível da potência óptica recebida é digitalizado e enviado por um transmissor rádio à unidade de coleta de dados que fica em uma central remota. Na montagem experimental a fibra foi ancorada em estacas onde se encontram os dispositivos mecânicos de suporte aos laços. Estruturas essas que servem para amplificar a queda de potência quando a fibra sofre um deslocamento da sua posição inicial. Ao haver um deslizamento de terra a fibra sofre um deslocamento tal que o laço se fecha provocando a atenuação no sinal transmitido.

O uso de fibras como sensor de movimentação do solo tem sido bastante explorado [4, 5]. Modelos de sensores usando dispositivos como redes de Bragg ou propriedades intrínsecas da fibra como o efeito do tensionamento, o espalhamento Brillouin demandam equipamentos de custo elevado como analisadores de espectro ou refletômetros ópticos de efeito Brillouin (BOTDA) [6]. Neste artigo apresentamos os resultados obtidos no estudo de viabilidade do uso da fibra como elemento sensor onde é discutido um modelo de dispositivo mecânico capaz de evidenciar e amplificar a sensibilidade da fibra a macro curvaturas. Para isto, foi produzido um mecanismo para criar curvaturas na fibra e assim obter um indutor de perdas no sinal óptico que nela é injetado.

II. OBJETIVOS DESTE ESTUDO

Neste estudo propomos uma solução de baixo custo para monitorar pequenas movimentações de terra, movimentações essas precursoras de deslizamentos catastróficos. Os elementos que compõem o sistema sensor são cordões de fibra óptica, fonte de luz/medidor de potência microprocessado (transceptor óptico), rádio transmissor formando uma unidade autônoma alimentada por painel solar e bateria. Essas unidades autônomas compõem uma rede de sensores distribuídos que transmitem dados, em tempo real, para uma central de monitoramento.

III. PROPOSTA DO SISTEMA

A fibra óptica é um meio de transmissão de sinal óptico a longa distância e, ela deve apresentar perdas mínimas. Existem inúmeros modelos de fibras e de cabos ópticos especialmente projetados para que sejam imunes aos efeitos do meio onde esses cabos estão instalados. O projeto do cabo óptico foi uma das primeiras preocupações para viabilizar sua instalação com baixos níveis de atenuação do sinal transmitido [7]. Usamos neste trabalho uma fibra óptica monomodo encapsulada em forma de um cordão óptico de 3 mm de diâmetro comumente encontrado no mercado. O mecanismo usado para provocar atenuação no sinal óptico é esquematizado na Figura 2.

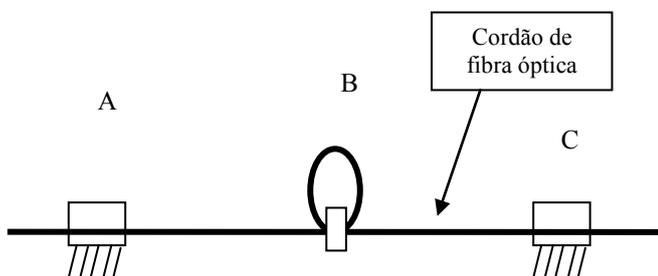


Fig. 2 – Instalação inicial da fibra. Os pontos A e C representam pontos fixos. No ponto B intermediário há um anel - ‘loop’ de fibra onde ela pode escorregar no suporte indicado por um retângulo, reduzindo o diâmetro do anel e induzindo perda de sinal transmitido.

A fibra deve ser enterrada no solo para que não fique exposta a efeitos externos como ação de fogo em caso de queimada ou de vandalismo ou de acidentes com animais ou pessoas que venham a alterar a posição inicial da instalação. Os pontos A e C indicados na Figura 2 representam pontos fixos e no ponto B intermediário há um ‘loop’ de fibra e esta está solta podendo escorregar no suporte indicado na figura por um retângulo.

Caso ocorra uma movimentação de terra entre os pontos A e C o loop de fibra vai se fechar em torno do suporte B causando um aumento da perda no sinal de luz como ilustrado na Figura 3. Este fechamento do laço de fibra vai ocorrer visto que a fibra está presa aos pontos A e C que estão fixados no solo. Nesta figura representamos um deslizamento de terra ocorrido a partir de uma fratura no solo no plano ab. Nesta representação o ponto A permanece na sua posição inicial enquanto os pontos B e C se deslocam em relação ao ponto inicial. Com este deslocamento o laço de fibra se fecha e provoca uma perda no sinal óptico.

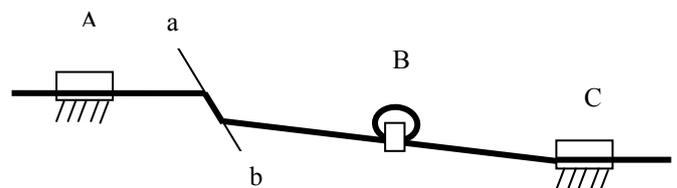


Fig. 3 – Representação do sensor de fibra após deslizamento. O movimento de terra na posição ab afasta os pontos a e c provocando o fechamento do laço de fibra em B.

IV. CALIBRAÇÃO DO SENSOR EM BANCADA

Primeiramente foi feita uma montagem em bancada seguindo o esquema ilustrado na Figura 2. O cordão de fibra é fixado nos pontos A e C e o laço situado em B foi movido perpendicularmente ao plano da figura de maneira que ao se deslocar o local do laço o seu diâmetro se fecha. Nesta fibra óptica injetamos luz de um emissor laser em 1310 nm em regime de operação contínua (cw). A luz que atravessa a fibra foi coletada por um medidor de potência óptica composto por um fotodetector de InGaAs e um circuito de amplificação. A atenuação causada pelo fechamento do laço é apresentada na Figura 4.

Vemos nesta figura que ao ocorrer um deslocamento de 10 cm o sinal óptico sofreu uma perda de 20%. Este resultado é observado para o caso particular deste elemento sensor. O diâmetro inicial do loop de fibra foi de 30 mm.

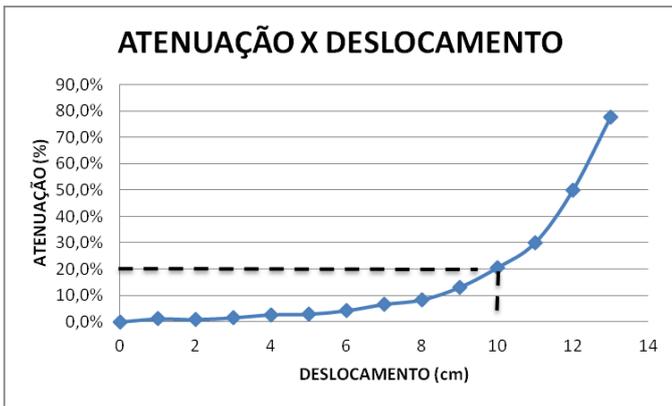


Fig. 4: Valor da atenuação em função do deslocamento linear do loop de fibra. Medida feita mantendo-se os pontos A e C fixos e deslocando o ponto central onde há uma espira de fibra.

Para esta condição não há perda mensurável. Este é o diâmetro inicial indicado (30 mm) para as instalações em campo. A perda induzida por uma curvatura depende de quanto o campo está confinado no núcleo da fibra. O diâmetro modal é função do comprimento de onda, do diâmetro do núcleo e da diferença de índice de refração entre o núcleo e a casca [2]. A Recomendação ITU G-652 [8] define que a perda para 100 espiras deve ser no máximo 0,1 dB para 1550 nm, quando o diâmetro da espira é de 60 mm. Portanto uma instalação em campo mesmo que contenha algumas centenas de espiras não vai induzir perdas iniciais consideráveis.

V. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Para um teste inicial de demonstração da viabilidade fizemos uma instalação em campo. A fibra óptica foi instalada em estacas de madeira fíncadas no solo. A altura da fibra em relação ao chão foi de 50 cm. A instalação foi feita desta maneira para facilitar a simulação de uma deformação no trajeto da fibra sem ter que movimentar terra. As imagens apresentadas na Figura 5 mostram inicialmente as estacas alinhadas em uma linha reta (figura da esquerda) em seguida deslocamos transversalmente três estacas em 20 cm da sua posição inicial (figura da direita). A potência óptica medida na fibra óptica sofreu variação e os valores foram registrados pelo medidor remoto e transmitidos para a central de monitoramento. Esta queda de potência foi devido ao fechamento dos anéis de fibra durante o deslocamento das estacas.

Tendo em vista a economia de energia o sistema foi programado para fazer leituras a cada 12 minutos ou leituras em tempo real em caso de queda na potência do sinal óptico o que sinaliza que houve movimentação no terreno. Este módulo de aquisição de dados microprocessado é alimentado por painel solar de 5 W e bateria de 7 Ah. A potência óptica é digitalizada e convertida para a escala de 0 – 5 volts e transmitida via ondas de rádio. Isto foi necessário visto que alimentamos o sistema com painel solar e uma bateria de 7 Ah.



Fig. 5: Instalação para testes em campo. Na figura do lado esquerdo, estacas alinhadas espaçadas de 150 cm. Na figura do lado direito, estrutura após sofrer a deformação mecânica com três estacas deslocadas transversalmente de 20 cm ao alinhamento inicial.

O protótipo da unidade de controle para este experimento é apresentado na Figura 6. A alimentação elétrica, a aquisição de dados e o processamento de informações foram controlados por um hardware composto de: Um módulo Garagino, com processador Atmega 328p; Radio transmissor FS1000A; Relé de um canal e dois contatos normalmente abertos; Transistor BC 547 NPN; Diodo IN4004; 1 Capacitor eletrolítico 100 µF e 25 V; Capacitor eletrolítico 10 µF e 25 V; Módulo RTC (Real Time Clock) DS 1387, e uma chave liga desliga. O sinal coletado no campo foi transmitido para o local onde fica o laboratório de aquisição de dados.



Fig. 6 – Módulo de aquisição e transmissão de dados em campo.

Em circuito eletrônico paralelo ao banco de baterias, foi inserido um regulador de tensão do tipo 7805, que fornece uma tensão constante de 5 volts cc, ao circuito, alimentando constantemente o processador 328p e o módulo RTC 1387.

Para efetuar uma medida óptica na fibra, o processador envia um nível alto à base do transistor BC547 NPN, chaveando-o e consequentemente alimentando a bonina do relé, ativando os dois contatos NA, para as alimentações de 12 e 5 Vcc, que ativam o módulo do rádio FS1000A e o medidor óptico.

Cabe ao processador escolher o limiar de sinal de modo a ativar o sistema, ligando o relé, que efetivará uma leitura, o processamento da informação e a transmissão a um monitor centralizado. No modo normal são realizadas medições periódicas, a cada 12 minutos, tempo monitorado pelo processador através do relógio RTC 1387, no modo teste o sistema fica continuamente ligado, gerando medições constantes e transmitindo-as ao sistema central.

No laboratório obtivemos as medidas de campo através de um receptor rádio casado com o módulo emissor existente no módulo de controle. A figura 7 apresenta o valor do sinal recebido pela central de monitoramento através de ondas de rádio. Ficou registrada em tempo real a queda de potência na fibra. No experimento o momento que houve o primeiro deslocamento da estaca foi 15:32.

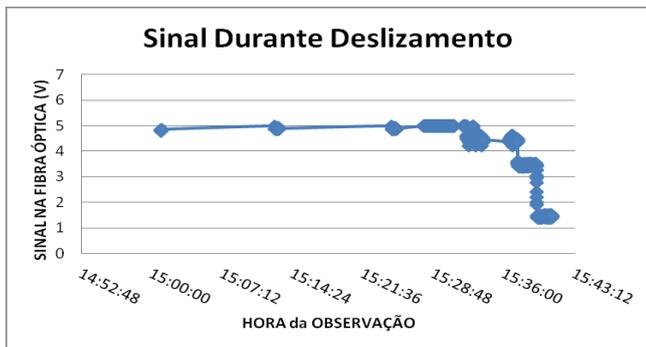


Fig.7 – Sinal registrado pelo circuito de interrogação do sistema.

A primeira queda de 10% no valor da potência óptica indica que houve um deslocamento inicial. Essa informação pode ser usada para acionar um alarme e mobilizar uma equipe para inspecionar o local e verificar a necessidade de tomada de providências a fim de se evitar prejuízos provocados por um deslizamento de terra.

Para conferirmos estes resultados utilizamos um OTDR. Neste caso foram utilizados ~ 274 metros de fibra que iam do laboratório até o ponto onde estávamos fazendo o experimento em campo. No trecho final de 11 metros instalamos a fibra nas estacas com os dispositivos mecânicos contendo os loops de fibra. O traço visto no OTDR é apresentado na Figura 8. Esta opção de usarmos um OTDR tem a vantagem de não usar alimentação elétrica remotamente, mas nesse caso é necessário haver interligação em fibra até o ponto que está sendo monitorado. Esta é uma alternativa que apresenta maior custo e foi usada para comparação e confirmação e resultados.



Fig. 8 – Traço observado no OTDR antes e depois do deslocamento.

No OTDR (Figura 8) obtemos que o comprimento total de fibra foi de 273,71 metros. O trecho final de 11 metros foi usado na área em observação. Quando as estacas foram deslocadas da posição inicial observamos a queda na potência óptica de 0,5 dB que corresponde a 10% de perda. Isto comprova a utilidade deste dispositivo como sensor de deslizamento.

Pelo fato deste método de monitoramento ser bastante simples e de baixo custo prevemos muitas aplicações tais como áreas de risco em cidades ou taludes em rodovias, ferrovias ou barragens.

VI. CONCLUSÃO

Os resultados observados mostram que o uso de fibra óptica para monitorar deslizamentos de terra é viável em diversas situações. Pode-se usar tanto instrumentos simples como medidor de potência (Power meter) quanto um refletômetro óptico. A queda de sinal óptico é usada para gerar alarme para posterior tomada decisão. Não havendo necessidade de uso de tecnologias avançadas ou de dispositivos de alto custo pode-se ter um sistema acessível a todos os municípios brasileiros. Esta primeira etapa de estudos nos estimula a continuar este desenvolvimento e buscar locais para testes em situações reais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi em parte suportado por uma bolsa do Programa de Capacitação Institucional - PCI do CNPq.

REFERÊNCIAS:

[1] Pedro Bertone e Clarice Marinho, “GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A DESASTRES NATURAIS: A VISÃO DO PLANEJAMENTO”, VI Congresso CONSAD, Paineis 09/069, Brasília/DF 16, 17 e 18 de Abril de 2013. Pagina visitada em 20/06/2016.

[2] André Martins, Ana M. Rocha, B. Neto, A. L. J. Teixeira, M. Facão, R. N. Nogueira, M. J.Lima, P.S. Andre. “Modeling of Bend Losses in Single - Mode Optical Fibers” - 7th Conference on Telecommunications, Maio 3-5 de 2009 – Portugal.

[3] Deslizamento sobre ferrovia noticiado pelo blog: <http://portal.cabangu.com.br/?p=8159&print=1>. Acesso no dia 02/06/2016.

[4] Michael Iten; Alexander M. Puzrin; Andreas Schmid, “Landslide monitoring using a road-embedded optical fiber sensor”, <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.774515>

[5] J. R. Moore, V. Gischig, E. Button, and S. Loew, “Rockslide deformation monitoring with fiber optic strain sensors, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 191– 201, 2010 www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/191/2010/.

[6] Zhu, Zheng-Wei; Liu, Dong-Yan; Yuan, Qiao-Ying; Liu, Bang; Liu, Jing-Cheng, “A novel distributed optic fiber transducer for landslides monitoring”, Optics and Lasers in Engineering, Volume 49, Issue 7, p. 1019-1024.

[7] DAVE WATSON, “Fiber-optic cable and system design basics” -, www.lightwaveonline.com/articles/1995/08/fiber-optic-cable-and-system-design-basics-53663277.

[8] Recomendação ITU-T G-652: SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS, Transmission media and optical systems characteristics – Optical fibre cables - Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.652-200911-1!!PDF-E&type=items

Ildefonso Felix de Faria Junior, Germano Beraldo Filho e Sergio Celaschi – Divisão de Tecnologias de Rede - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, CEP 13069-901, Campinas, SP, Brazil. E-mails: ildefonso.faria@cti.gov.br, germano.beraldo@cti.gov.br, Sergio.celaschi@cti.gov.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, através de uma bolsa de PCI para o I.F de Faria Junior.