

Uso da tecnologia Laser Scanner e GNSS na detecção de movimentação de estruturas - Estudo de caso para a ponte de concreto sobre a MG 290 Ouro Fino - MG- Brasil

Allan Wiguilherme Fernandes Nogueira da Silveira¹
Paulo Augusto Ferreira Borges¹
Fabio Luiz Albarici¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais –
IFSULDEMINAS/MG
Caixa Postal 460 - 37576-000 - Inconfidentes - MG, Brasil
allanbororo55@gmail.com
paulo.borges@ifsuldeminas.edu.br
fabio.albarici@ifsuldeminas.edu.br

Abstract. The importance of As-Built 3D with the use of Laser Scanner, as far as engineering is concerned, aims to make its documentation updated regarding the existing installation quickly and efficiently, associated or not with a database. Nowadays, 3D "electronic" modeling tools are used, which offer better quality of visualization and allows better planning of maintenance, risk simulation, project extensions, repression and mainly detection of movements in the structure. This research aims to use the GNSS observing and Scanning Earth Scanner in the detection of structure movement, of a concrete bridge, located at MG 290 - Ouro Fino / MG. The coordinates of the structure were determined in two distinct epochs, allowing the verification of the existence of any movement in the structure. The results indicate that there was significant movement in the structure, where the XY components presented results compatible with the precision of the instruments and the techniques used. However, it was observed that in the Z component, the targets positioned where there is the greatest distance between the support pillars, presented differences at the centimeter level, which was confirmed by the targets fixed in the same place with the GNSS observations. When analyzing the data it is verified that this movement in the structure is due to the high traffic volume of heavy vehicles. Thus the two technologies used, detect accurate movement of the structure.

Palavras-chave: As-built, GNSS, Concrete bridges.

1. Introdução

Rotineiramente, as falhas em obras de engenharia são causadas por diversos fatores, podendo ser proveniente de falha humana ou ação da natureza. A escassez de estudos e/ou monitoramento referentes à estabilidade dessas obras tem impacto importante na maior parte dos desastres que as envolvem (POLETO, 2010).

O Brasil é um país com dimensões continentais, assim a malha rodoviária existente é muito densa e visa atender todas as regiões. Como vantagem, existem várias opções de rotas para deslocamento de bens e serviços, transporte de pessoas, além da melhora na acessibilidade, no crescimento e no desenvolvimento das regiões atendidas pela infraestrutura rodoviária. A desvantagem consiste em fiscalizar todo esse tráfego, principalmente aqueles veículos que mais afetam as estruturas pelo seu porte e pela carga que transportam. De acordo com estudos feitos por Jesus e Fontenele (2014) os postos de fiscalização referentes ao peso dos veículos, (por exemplo, balanças) tem tido dificuldade de manter-se em pleno funcionamento como é exigido pelo DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) e ainda não estão efetuando a pesagem conforme os critérios estabelecidos, trazendo prejuízos para as rodovias e seus usuários.

Diante desta situação, tecnologias já consagradas no âmbito de posicionamento, como exemplo, o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de alta precisão, despontam como uma boa alternativa para serem empregados em campanhas de monitoramento de deformações, principalmente as verticais, sofridas pelas estruturas viárias, em conjunto tem-se o Laser Scanner Terrestre, uma tecnologia onde são inúmeras as áreas em que se pode aplicar a tecnologia de varredura a laser 3D. Dentre elas destacam-se levantamento de como construído (As-Built).

A importância do As-Built 3D com a utilização de Laser Scanner, no que tange a engenharia, visa tornar sua documentação atualizada com relação à instalação existente de forma rápida e eficiente, associada ou não a um banco de dados. Atualmente têm-se empregado ferramentas de maquete eletrônica “3D”, que apresentam melhor qualidade de visualização e permite melhor planejamento de manutenção, simulação de risco, ampliações do projeto, recalque, movimentação de estruturas, etc.

De forma geral, segundo Santos (2000), essas obras sofrem deformações estruturais cíclicas, a principal delas, vibrações causadas pela passagem de veículos carregados sobre uma ponte ou ações dos ventos e variações de temperatura.

Nesta pesquisa, utilizaram-se duas tecnologias complementares para a obtenção da movimentação da estrutura, a primeira foi a GNSS, através de rastreios utilizando-se da técnica relativo cinemático em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*), onde obtem-se as coordenadas instantaneamente em campo (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008). A segunda utilizou-se o Laser Scanner Terrestre, a partir de varredura de alvos esféricos posicionados ao longo da estrutura.

Esta pesquisa tem como objetivo utilizar-se das observáveis GNSS e Laser Scanner Terrestre na detecção de movimentação da estrutura. O objeto de estudo é uma estrutura de concreto na cidade de Ouro Fino/MG, contendo um grande fluxo de carga, onde sua manutenção preventiva não é realizada há alguns anos, assim determinaram-se as coordenadas de alvos fixados à estrutura da ponte e analisou-se as discrepâncias destas coordenadas em diferentes épocas visando avaliar a ocorrência de movimentação na estrutura.

2. Metodologia de Trabalho

Na obtenção das coordenadas dos pontos na estrutura fez-se uso da técnica RTK. Esta técnica garante uma precisão de até $10\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ (SPECTRA PRECISION, 2016) e vem sendo amplamente utilizada nas mais diversas aplicações que demandem a obtenção da posição instantaneamente, eliminando assim o tempo gasto em escritório realizando pós-processamento dos dados. Como a técnica RTK é baseada no método de posicionamento relativo, definiu-se uma base, ou estação de referência, distante aproximadamente 500 metros, livre das interferências de oscilações da ponte. Obtiveram-se de forma precisa as coordenadas da base, onde as posições posteriormente calculadas, são dependentes desta estação.

Os receptores fixados na estrutura foram identificados pelos algarismos 1, 2 e 3 e as suas posições em campo estão ilustradas conforme a Figura 1. Foram realizadas duas campanhas, onde se obteve 32.500 observações para cada ponto.



Figura 1 - Distribuição dos pontos fixos sobre a ponte.

Um problema recorrente é que muitas estruturas antigas não possuem dados de projeto (CAD) disponíveis para futuras manutenções, consertos ou renovações. O levantamento de sua geometria por métodos convencionais demanda muito tempo. Utilizando o sistema de varredura laser, é possível elaborar modelos digitais de estruturas em tempo menor e com alto grau de detalhamento (WUTKE, 2006).

Muitas são as vantagens do uso do Laser Scanner Terrestre como: medir sem a necessidade de contato, que permite reduzir o acesso às áreas de risco eminente mantendo a segurança dos operários em campo, maior facilidade na captura de dados e captura da integridade das cenas críticas; eficiências operacionais, pois reduzem os riscos de um retrabalho, do tempo de parada, de paralisação do cronograma e do risco de contingência; redução dos custos operacionais devido ao menor tempo de execução do projeto e também maior confiança nos dados porque se certificam de integral abrangência do levantamento, informações dimensionais (nuvem de pontos) e compreensão fácil da cena (imagens calibradas) (WUTKE, 2006). Outra vantagem segundo Tommaselli, 2003, é a possibilidade de medir as coordenadas tridimensionais de uma grande quantidade de pontos em poucos minutos. Um varredor a laser mede a distância entre o sensor e a superfície sem a necessidade de espelhos refletores ou a existência de feições visíveis no objeto, o que facilita sua aplicação.

Em geral, um TLS (*Terrestrial Laser Scanner*) emite um pulso laser, o qual é desviado por um pequeno dispositivo de rotação (espelho ou prisma) em direção ao objeto. Este dispositivo que permite desviar o feixe laser em duas direções (horizontal e vertical) é considerado o segundo componente mais importante de um TLS. O laser é refletido e retorna ao sistema no qual são registradas as distâncias entre o dispositivo laser e o objeto, além da refletância (intensidade da energia refletida) e os ângulos de elevação e azimute, a partir dos quais é possível obter as coordenadas tridimensionais dos pontos que definem os objetos escaneados (LENGYEL, 1966).

Segundo Gonçalves (2007) são muitas as aplicações dessa tecnologia, dentre as quais pode-se citar: levantamento do como construído (*As-Built*), mineração (principalmente subterrânea), arqueologia, levantamento de monumentos para restauração, monitoramento de estruturas, refinarias e instalações industriais e outras, caracterizadas pela grande complexidade dos elementos envolvidos.

O equipamento utilizado é da marca FARO modelo PHOTON 80 com acurácia nominal de 2 mm até 25 metros, juntamente com o software de consolidação e registro da nuvem de pontos FARO SCENE.

Visando-se um produto final com boa qualidade faz-se previamente o planejamento. Este é de suma importância para que não ocorram problemas inesperados durante a execução do trabalho. No planejamento verificam-se, por exemplo: quantidade e disposição dos pontos de referência e de apoio terrestre, quantidade e posicionamento dos alvos esféricos na estrutura a ser levantada e também dos alvos planos posicionados no solo sempre visível pelo equipamento, número de cenas necessárias para que toda a estrutura seja imageada, resolução com que será coletada a nuvem de pontos, necessidade de utilizar métodos topográficos convencionais como complemento (Estação Total e/ou GPS) e também qual sistema de coordenadas será utilizado (Arbitrário ou Plano Topográfico Local). Definidas essas questões pode-se proceder com a etapa de campo.

Na primeira etapa definiu-se o sistema de coordenadas. Para isso materializou-se pontos de apoio no entorno do local onde se encontrava a estrutura (ponte), observando-se uma distância segura para que não haja influência de uma possível movimentação da estrutura no posicionamento dos pontos de apoio ao longo do tempo. Em seguida, determinou-se as coordenadas destes pontos de apoio utilizando uma estação total modelo RTS - 822, com precisão angular de 2" e linear de 2mm±2ppm da fabricante Ruide. Assim implantou-se uma

poligonal fechada, permitindo assim o ajustamento e a análise do erro de fechamento e controle da acurácia dos pontos de referência. Para a segunda etapa transportou-se as coordenadas para os alvos do Scanner. Durante a etapa de coleta de dados com o TLS é necessário posicionar alvos de referência para o scanner.

A finalidade dos alvos (Figura 2) é para que, posteriormente na etapa de processamento, seja possível fazer a junção das cenas em um único sistema de coordenadas, utilizando-se a função disponível na Estação Total chamada interseção a ré ou estação livre, possibilitando o transporte das coordenadas dos marcos de referência conhecidos para os alvos utilizados pelo Laser Scanner. Com isso é possível rotacionar e transladar a nuvem de pontos para sua posição correta, ou seja, para o mesmo sistema de referência dos marcos de apoio.



Figura 2 - Alvos esféricos distribuídos pela estrutura, para junção das cenas.

Inicia-se a varredura 3D da estrutura instalando-se o Laser Scanner em um marco de referência, após distribuí-se os alvos planos ao redor do equipamento. Em seguida definem-se os parâmetros da nuvem de pontos que será gerada. A tomada da cena demora cerca de sete minutos e este processo se repete para os outros marcos de referência e desta forma encerra-se o levantamento de campo.

Realizaram-se em escritório as etapas de registro, validação da nuvem de pontos, modelagem e consolidação. A primeira delas é o registro. Esta etapa é crucial, pois para cada nova estação feita com TLS criou-se um novo sistema de coordenadas. O viável é unir esses sistemas em um único referencial que será escolhido. Para tal procede-se com uma transformação isogonal no espaço com fator de escala igual a 1, ou seja, todas as demais estações estarão referenciadas àquela que foi escolhida. Essa transformação só pode ser realizada porque as coordenadas dos alvos planos para cada estação foram determinadas em um único sistema de referência.

O processo de consolidação ter-se-á ao final, uma nuvem de pontos única e precisa, com detalhes de toda a área levantada e pronta para o processo de modelagem ou até mesmo para análise de interferência. Esse processo pode ser feito de modo automático, deixando a cargo do operador responsável, validar a nuvem de pontos consolidada e, se necessário, refinar o processo através de processos semiautomáticos.

A fase de validar a nuvem de pontos é decisiva para uma boa qualidade de todo o trabalho. Nela nota-se visualmente se todos os objetos de interesse do projeto foram escaneados, se não há sombras e também se a consolidação foi feita com sucesso (GONÇALES, 2007). As Figuras 3, 4 e 5 ilustram a comparação da nuvem com a imagem real, um trecho parcial da nuvem e sua consolidação da nuvem respectivamente.



Figura 3 - Nuvem parcial da estrutura (esquerda) em comparação com a imagem real (direita).



Figura 4 - Trecho parcial de uma cena obtida pelo TLS.



Figura 5 - Consolidação da nuvem de pontos da estrutura.

Realizou-se duas campanhas de observação com o TLS, assim tendo-se duas nuvens de pontos em épocas diferentes. Cada uma das nuvens possui quatro cenas para cobertura completa da estrutura, assim tem-se oito cenas, quatro para cada lado da estrutura. Deste modo tem-se redundância para o ajustamento das cenas imageadas, e pode-se identificar cada alvo na estrutura em pelo menos duas cenas. No total identificou-se 18 alvos esféricos na estrutura, cada um destes calculados no mesmo sistema de referência local.

3. Resultados e Discussão

Após obterem-se as coordenadas dos alvos, fez-se a comparação destas coordenadas X, Y e Z das duas campanhas e obteve-se as discrepâncias (Equação 1) entre as duas observações, conforme Tabela 1:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^r \quad (1)$$

Onde: ΔX_i : discrepância para cada ponto (i);

Na equação 1, ao denominar-se X para um ponto, entende-se que esta nomenclatura seja válida para as coordenadas X, Y e Z. Nelas, as coordenadas com índice (r) são referentes às coordenadas obtidas através da primeira observação e as outras são relativas às coordenadas da segunda observação.

Tabela 1 - Discrepância entre as duas observações.

Estação	Vértice	X (m)	Y (m)	Z (m)
Estação 1	SE01	0,0257	0,0195	-0,0093
	SE02	0,0167	-0,0139	-0,0338
	SE03	-0,0252	-0,0355	-0,0330
	SP01	0,0011	0,0090	0,0095
Estação 2	SE04	0,0026	0,0087	0,0005
	SE05	-0,0032	0,0084	-0,0043
	SE06	-0,0003	0,0139	-0,0018
	SP02	0,0023	0,0024	-0,0034
	SP03	-0,0058	-0,0133	0,0030
Estação 3	SD03	0,0123	-0,0113	0,0535
	SD04	0,0254	-0,0123	0,0489
	SD05	0,0112	-0,0055	0,0570
	SD06	0,0121	-0,0106	0,0634
	SP05	0,0054	-0,0036	0,0560
Estação 4	SD01	0,0113	0,0024	0,0300
	SD02	-0,0050	0,0000	0,0311
	SP06	0,0142	0,0051	0,0285
	SD03	-0,0037	0,0041	0,0357

Observando-se as discrepâncias obtidas na tabela 1, verifica-se que os valores planimétricos encontram-se dentro dos padrões de precisão dos instrumentos utilizados, onde a maior discrepância na componente X (SE01) é de 2,57 cm e na componente Y (SE03) é de 3,55 cm.

A maior discrepância está na componente Z, alvo desta pesquisa, onde o maior valor é de 6,34 cm (SD06), discrepância esta justificada pelo intenso tráfego de veículos pesados durante a etapa de observação, consequência do movimento estrutural já previsto em projeto.

Para uma análise mais acurada sobre a componente Z, e verificar as causas que tornam essa variação detectada de 6,34 cm, cruzou-se os dados da discrepância de altitude do TLS com os GNSS. Dessa forma observou-se que a passagem de veículos pesados pela estrutura tem uma significativa parcela na variação da altitude. Verifica-se na Figura 6, que a variação da estrutura apresentada em dois receptores GNSS são idênticas, e os círculos vermelhos são veículos pesados que passaram na estrutura durante o rastreamento. De forma absoluta a variação foi de ≈ 6 cm, o que condiz com o encontrado com o TLS. Os receptores GNSS 1 e 2 e os alvos esféricos SD04, SD05, SD06 e SP05 foram posicionados no "vão" com maior distância da estrutura, onde se esperava ter a maior movimentação na componente Z, o que foi comprovado pelas tecnologias utilizadas.

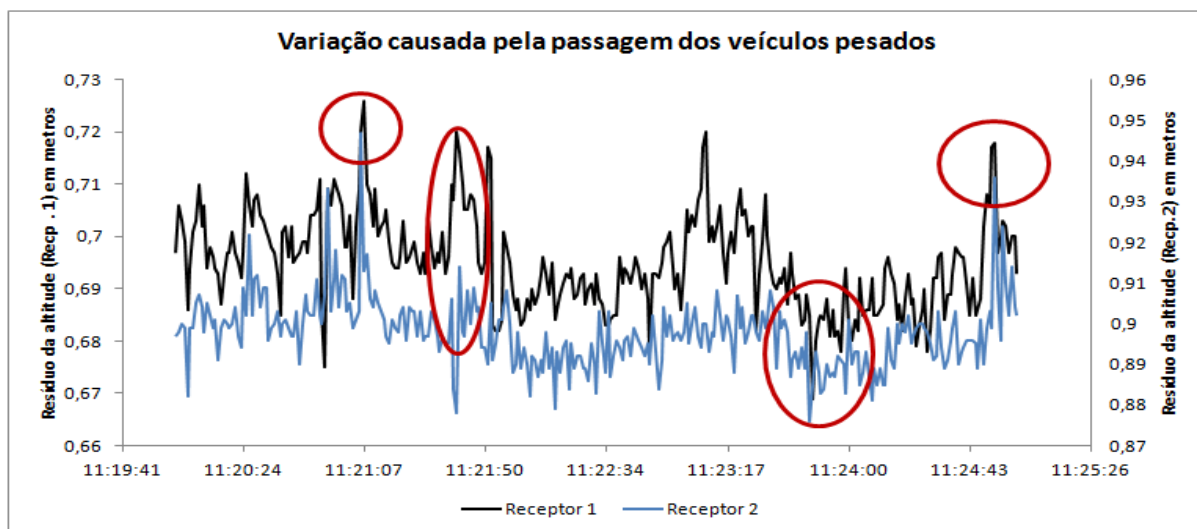


Figura 6 - Movimentação da estrutura através das observações GNSS.

4. Conclusão

Diante dos dados apresentados conclui-se que a utilização do TLS é uma importante ferramenta para detecção de movimentação na estrutura, onde através dos dados observados em várias épocas, tem-se como detectar as variações das componentes X, Y e Z, além de obter-se uma maquete eletrônica 3D para realizar medições (distância, área, volume, etc.) e futuro planejamento da manutenção preventiva da estrutura. A técnica GNSS também se mostrou eficaz na detecção da movimentação altimétrica da estrutura e confirmou a existência dessa movimentação que foi detectada pelo TLS. Assim estas duas tecnologias podem ser utilizadas na movimentação da estrutura, ou outras finalidades que sejam de interesse dos usuários, como por exemplo, detecção de veículos pesados.

Por se tratar de uma rodovia importante e muito movimentada que liga Pouso Alegre-MG à Campinas-SP, não foi possível realizar a parada de tráfego durante as observações, porém novas observações realizar-se-ão em épocas onde o tráfego de veículos pesados possui menor frequência, assim poder-se-á comparar as estatísticas com as observações já apresentadas.

Recomenda-se, quando possível, realizar um teste de carga estático e dinâmico para uma melhor modelagem dos dados, assim ter-se-á maior acurácia nos resultados obtidos.

5. Agradecimento

Os autores agradecem ao Núcleo Institucional de Pesquisa e Extensão (NIPE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Inconfidentes, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica, a empresa Alezi Teodolini pelo empréstimo do equipamento Laser Scanner.

6. Referências Bibliográficas

Gonçales, Rodrigo. **Dispositivo de varredura laser 3D terrestre e suas aplicações na Engenharia, com ênfase em túneis**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

Hofmann–Wellenhof, B.; Lichtenegger, H.; Wasle, E. **GNSS – Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, Galileo and more**. Austria: SpringerWien, NewYork, 2008. 516 p.

Jesus, F. G.; Fontenele, H B. **Excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito no fator de equivalência de carga**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 6, n. 3, p.108-117, dez. 2014.

Lengyel, B. A. **Introduciton to Laser Physics**. New York: John Wiley And Sons, 1966.

Poleta, L. J. C. **Estudo da aplicação do GPS no monitoramento de deslocamentos em estruturas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFV, Viçosa, 2010.

Santos, M. C. **Emprego do GPS no monitoramento de deformações estruturais**, 2000. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2000/12/01/emprego-do-gps-no-monitoramento-de-deformacoes-estruturais/>. Acesso em 19/05/2016.

Tommaselli, A. M. G. **Um Estudo sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a curta Distância**. Geodésia Online (UFSC). 2004.

Wutke, J. D. **Métodos para avaliação de um sistema Laser Scanner terrestre**. 2006. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.