

SISTEMA DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL EM TEMPO REAL DESTINADO A OBRAS DE ARTES ESPECIAIS ATRAVÉS DA TÉCNICA RTK/NTRIP

Real Time Structural Monitoring System Intended for Special Arts Works Through RTK / NTRIP Technique

Fabiane de Fátima Maciel

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC, pela Universidade
Estadual de Campinas – UNICAMP**

Sub-área: Transportes Endereço
fabianedefatimamaciel@gmail.com

Fabio Luiz Albarici

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC, pela Universidade
Estadual de Campinas – UNICAMP**

Sub-área: Transportes Endereço Endereço
fabio.albarici@ifsulde Minas.edu.br

Jorge Luiz Alves Trabanco

**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – FEC, pela Universidade
Estadual de Campinas – UNICAMP**

Sub-área: Transportes Endereço
jorgetrabanco@gmail.com

Resumo:

O desenvolvimento de métodos de monitoramento aplicados ao deslocamento estrutural em obras de arte especiais tem se tornado mais latente devido ao alto custo de recuperação destas obras. Estes métodos permitem avaliar os valores de deslocamento e/ou deformações especificados em projeto, com os valores de deslocamento real referente ao comportamento da estrutura em serviço. Muitas destas obras de artes estão a mercê das influências externas presentes no ambiente onde se localizam. Por isso, ao se trabalhar com estruturas que demandam alta precisão, torna-se necessário monitorar os deslocamentos causados pelo excesso de tráfego de veículos de grande porte. Uma possibilidade real na detecção do deslocamento estrutural é a utilização do sistema GNSS através da técnica RTK/NTRIP. Com o objetivo de verificar o comportamento estrutural em tempo real, desenvolveu-se o sistema SiGE – Sistema de Gerenciamento Estrutural. O SiGE identificou o comportamento da estrutura conforme variações recebidas e tornou-se viável na avaliação da segurança da estrutura em serviço e na fiscalização pontual do tráfego de veículos de grande porte. Os resultados mostraram ser eficazes na identificação do comportamento estrutural, com variações altimétricas em escala centimétrica e com a identificação visual de possíveis patologias nos pilares de sustentação da ponte.

Palavras-chave: Monitoramento; Estrutura; GNSS; RTK; NTRIP.

Abstract

The development of monitoring methods applied to structural displacement in special works of art has become more latent due to the high cost of recovery of these works. These methods allow to evaluate the values of displacement and / or deformations specified in design, with the values of real displacement referring to the behavior of the structure in service. Many of these works of art are at the mercy of the external influences present in the environment where they are located. Therefore, when working with structures that demand high precision, it is necessary to monitor the displacements caused by the excess traffic of large vehicles. A real possibility in the detection of structural displacement is the use of the GNSS system through the RTK / NTRIP technique. In order to verify the structural behavior in real time, the system SiGE - Structural Management System was developed. The SiGE identified the behavior of the structure according to variations received and became feasible in the evaluation of the safety of the structure in service and the punctual inspection of the traffic of large vehicles. The results showed to be effective in the identification of structural behavior, with altimetric variations in centimeter scale and with the visual identification of possible pathologies in the support pillars of the bridge.

Keywords: Monitoring; Structure; GNSS; RTK; NTRIP.

1. INTRODUÇÃO

Diante dos registros de inúmeros acidentes envolvendo obras civis, relatam-se a importância dos sistemas de monitoramento, capazes de aprofundar o conhecimento do comportamento das estruturas sob condições de serviço. Neste contexto, as obras de artes especiais tais como pontes, viadutos e barragens são particularmente atrativas para integrar sistemas de monitoramento (Figueiredo, 2006).

O enfraquecimento da estrutura pode ser ocasionado por processos de deterioração, sendo este por desgaste ao uso ou por solicitações naturais. Segundo Bernasconi (2011) acompanhamentos e manutenção preventiva auxiliam no controle desastres estruturais, fazendo com que os processos de deterioração não se acelerem e se acentuem. A manutenção da estrutura tornou-se essencial, mesmo que o projeto e a obra tenham sido construídos da melhor forma possível. Faz-se necessário que haja um plano de monitoramento contínuo e/ou periódico, de acordo com as grandezas admissíveis de cada estrutura.

Obras de artes especiais estão sujeitas a ações de forças estáticas e dinâmicas, podendo causar deslocamentos que caracterizam-se por sua amplitude, direção e comportamento temporal. Tais deslocamentos podem ser ocasionados por enfraquecimento da estrutura e principalmente pelo excesso de peso em cargas nos veículos de grande porte. Os valores destes deslocamentos tornam-se essenciais para os estudos do comportamento da estrutura, na identificação de possíveis fissuras (dentre outras patologias) e na fiscalização pontual de cada veículo pesado que por ali transita. Sua amplitude pode variar de milímetros a metros, dependendo do tipo de estrutura, tamanho e rigidez dos elementos estruturais (LAROCA, 2004).

Com a modernização do sistema e melhoria na acurácia, o GNSS vem ganhando mercado nos mais diversos campos de trabalhos, destacando-se como uma tecnologia capaz de dar suporte no controle de deformações de estruturas, tornando-se essencial ao estudo e emprego de métodos e tecnologias de monitoração, contribuindo assim para a prevenção de catástrofes envolvendo obras artificiais e naturais. (CHAVES e SEGANTINE, 2014).

Com o objetivo de identificar os valores referentes ao comportamento da estrutura utilizando a técnica RTK, via protocolo de internet NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*) e promover um software de monitoramento comercial de baixo custo, foi desenvolvido o SiGE - Sistema de Gerenciamento Estrutural. Por meio das coordenadas obtidas no monitoramento, o SiGE consegue analisar a movimentação na estrutura, bem como quantificar estes deslocamentos. Para uma melhor confiabilidade na análise, além dos possíveis descolamentos na estrutura, o sistema armazena dados importantes como data e horário de coleta das observações. Todas estas informações podem ser visualizadas em tempo real pelo operador, através de gráficos, lista de coordenadas e suas respectivas variações. Com a obtenção destes dados em tempo real, torna-se possível ao gestor ou a equipe técnica avaliar a segurança da estrutura em serviço, a segurança do tráfego com o controle de cargas e também no aprimoramento de projetos futuros, com a definição de deslocamentos verticais máximos.

2. REVISÃO DA TEORIA

A incorporação de métodos de monitoramento no comportamento estrutural torna-se crescente devido ao alto custo de recuperação de obras com deficiência estrutural. Estes permitem comparar valores especificados em projetos com os valores comportamentais da estrutura. Tornam-se indispensáveis aos engenheiros a utilização de instrumentos de medição capazes de monitorar o comportamento estrutural em suas fases de construção, operação e manutenção. (LAROCA, 2004).

Chaves (2001) afirma que deslocamentos estruturais correspondem às variações das coordenadas de pontos com relação a um referencial. Os deslocamentos relativos entre os pontos resultam numa mudança de configuração, ou seja, em uma deformação.

Com as observações oriundas de satélites artificiais, fez-se necessária a criação de novos métodos de posicionamento, para isto, é necessário definir a técnica do levantamento GNSS, a precisão e a acurácia compatíveis com a aplicação do monitoramento a ser executado. O posicionamento relativo pode ser pós-processado ou em tempo real, sendo este denominado como RTK (Real Time Kinematics) que têm possibilitado o desenvolvimento de metodologias que viabilizam a sua utilização pelo usuário numa diversidade de aplicações. O conceito RTK tem como princípio básico a alta correlação dos erros provocados pela ionosfera, troposfera e órbita dos satélites na estação de referência e em uma estação próxima de interesse (BARBOSA, et al. 2010).

O sistema RTK normalmente é constituído por dois receptores (preferencialmente de dupla frequência) com as respectivas antenas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) e um link de rádios UHF (modem), necessários para transmitir/receber as correções da estação de referência (MONICO, 2008). Embora sejam inegáveis as vantagens do uso da tecnologia RTK com transmissão de dados via rádio UHF, observa-se alguns fatores que interferem diretamente em seu desempenho. Uma solução desenvolvida foi a utilização da internet para transmissão de dados de correção para aplicações da técnica RTK, utilizando a tecnologia de telefonia celular, em especial,

a conexão GSM (*Global System for Mobile Communications*) disponível no próprio receptor GNSS, podendo obter dados de correções a partir de um servidor NTRIP Caster (MONICO, 2008).

O uso da técnica RTK/NTRIP tem por finalidade a diminuição das interferências na transmissão das ondas de rádio através da disponibilidade dos serviços de Internet e telefonia celular. O serviço NTRIP foi projetado para disseminar as observações de fase para diversos usuários da Internet fixa ou móvel, simultaneamente. Este serviço transmite o protocolo RTCM (*Radio Technical Commission for Maritime Services*), assim como o faz a conexão de rádio convencional, diferenciando apenas pelo método de envio (COSTA, *et al.* 2008).

Poleto (2010) e Cintra (2011) relatam que a variação da acurácia da técnica RTK/NTRIP está diretamente relacionada à distância entre as estações de referência e de interesse, bem como ao tipo de equipamento utilizado, a precisão que esse equipamento pode fornecer e à técnica de observação realizada.

No que diz respeito ao monitoramento de estruturas construídas e de encostas, Burity (2016) descreve que o uso de técnicas de posicionamento por satélite, traz a agilidade, a precisão necessária (em poucos centímetros) e um sistema de monitoramento de baixo custo para tomada de decisões preventivas. Estudos realizados no Reino Unido por Tang, *et al.* (2017), demonstram a potencialidade da técnica RTK/NTRIP no comportamento de grandes estruturas, como exemplo a ponte Severn, onde as observações realizadas ao longo da ponte mostram deslocamento centimétrico.

Embora o sistema GNSS apresente características únicas, ou seja, restrições ao monitoramento em pontes de concreto armado, Laroca (2014) e Araújo Neto (2017) propõem o monitoramento GNSS em tempo real como uma ferramenta capaz de auxiliar de forma integrada aos instrumentos e técnicas tradicionais já existentes (como sensores geotécnicos e estruturais) no monitoramento destas estruturas.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

Este experimento foi realizado no município de Ouro Fino, no estado de Minas Gerais, mais precisamente, em uma ponte de concreto armado sobre o Ribeirão Palmeiras, próxima ao quilometro 50 da rodovia MG-290, conforme ilustrado na Figura 1. A ponte possui 66 metros de extensão em curva, dimensionada conforme NB-6/1960, para classe 36 (veículo-tipo de 36 toneladas), com dois vãos de aproximadamente 25 metros entre pilares.

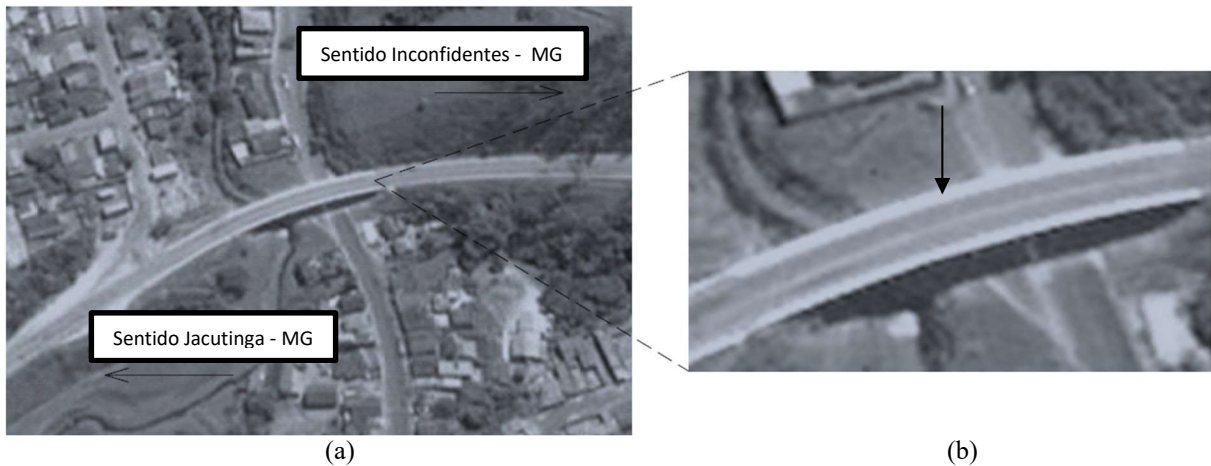


Figura 1: (a) Localização da área de estudo; (b) Localização do pino de centragem forçada
Fonte: Google Earth.

Identificou-se os pinos de centragem forçada já existentes na ponte, devido a estudos realizados anteriormente por Silveira (2017) na detecção de veículos pesados que trafegavam nesta mesma ponte (objeto de estudo) através das técnicas de posicionamento GNSS. Há três pinos instalados sobre o guarda-corpo da ponte em perfeitas condições. Optou-se em utilizar o pino instalado ao meio da estrutura (Figura 2), por coincidir com a maior distância entre os pilares de sustentação e assim, identificar de forma mais eficaz seu deslocamento vertical.



Figura 2: Receptor fixado a ponte

Para obter a coordenada referência deste ponto, utilizou a técnica de posicionamento relativo estático pós-processado, por meio dos dados brutos coletados pelo mesmo receptor, simultaneamente aos dados coletados via NTRIP, totalizando mais de duas horas de rastreamento. Os arquivos brutos foram processados pelo programa Topcon Tools, utilizando a RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo com a estação MGIN - Inconfidentes-MG como estação referência. O motivo deste procedimento é obter as coordenadas com melhor acurácia.

As campanhas decorreram nos períodos matutino e vespertino. A primeira campanha ocorreu no dia 28 de dezembro de 2017, das 9:05 as 10:29 horas e a segunda campanha no dia 18 de janeiro, das 14:15 as 15:26 horas. O receptor GNSS foi programado para coletar a cada 1 hertz (Hz), ou seja, a cada um segundo uma coordenada (N,E h) foi coletada.

O receptor GNSS foi programado para comunicar-se com a RBMC-IP (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo em Tempo Real) mais próxima da estrutura, sendo a MGIN (Inconfidentes -MG), com 6,58 quilômetros de linha de base do pino de centrarem forçada fixado a ponte até a estação. O receptor recebe as correções de fase e as envia ao sistema por meio da codificação NMEA (National Marine Electronics Association). O SiGE recebe as coordenadas e consigo suas respectivas variações, tendo assim o comportamento da estrutura em tempo real (Figura 3).



Figura 3: Fluxograma do processamento dos dados em tempo real.

Para efeitos de análise do comportamento da estrutura, com a passagem dos veículos pesados, registrou-se o horário de passagem dos veículos de acordo com a classificação referente a quantidade de eixos, conforme site DER-SP (2017). Veículos leves e médios causaram impactos mínimos nas medições. Veículos a partir de três eixos foram registrados, pois a movimentação vertical da ponte é vulnerável com a passagem destes tipos de veículos.

3.2 Equipamentos utilizados

Para coleta dos dados, utilizou-se o equipamento GNSS SP80 da fabricante Spectra Precision, com comunicação GSM, para operações com a técnica RTK e a correção em tempo real via protocolo NTRIP. A precisão nominal do equipamento para técnica RTK/NTRIP é de 8 mm + 0.5 ppm para medições no plano horizontal e 15 mm + 0.5 ppm no plano vertical.

Para identificar o comportamento da estrutura, por meio das observações obtidas pela técnica RTK/NTRIP, utilizou-se o sistema SiGE. Com o SiGE, toda campanha realizou-se em tempo real, analisando-se o comportamento da estrutura *in loco*. Para isto, é necessário que as informações iniciais da estrutura a ser monitorada sejam cadastradas.

A figura 4 demonstra o layout do software desenvolvido. Para facilitar a explanação, a tela contendo as informações iniciais da estrutura foi dividida em cinco campos. O campo 1 são informações correspondente a estrutura a ser estudada. O campo 2 diz respeito às coordenadas do ponto fixado a estrutura. Os campos 3, 4 e 5 são referentes as coordenadas topográficas locais, configurações geográficas do ponto de estudo e configurações do sistema, respectivamente.

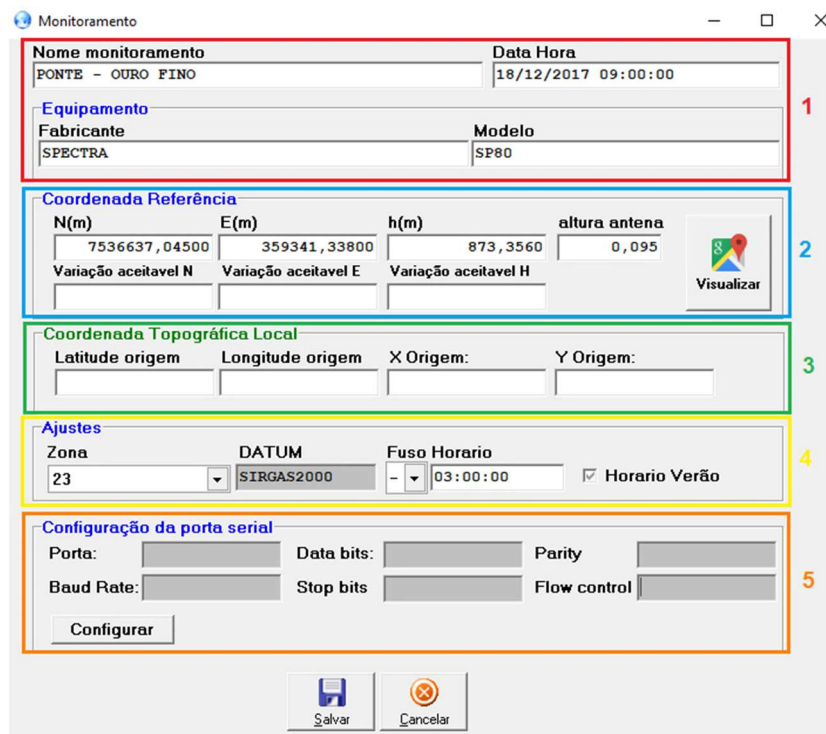


Figura 4: Informações iniciais do sistema SiGE

Os campos mais importantes para o monitoramento são os campos 2 e 3. O Campo 2 obrigatoriamente insere-se a coordenada referência pós-processada do ponto observado na projeção UTM, podendo assim identificar as variações em metros. Juntamente com as coordenadas referência, insere-se a altura da antena, a variação máxima aceitável e seus respectivos desvio padrão, sendo esta recomendada pelo engenheiro calculista da estrutura a ser monitorada. No mesmo campo, há o botão “visualizar” que após preenchido o campo “coordenada referência” o aplicativo Google Maps poderá buscar a localização do ponto onde está sendo realizado o monitoramento, facilitando a identificação da estrutura monitorada. O Campo 3 traz a opção de coletar as coordenadas no plano topográfico local, podendo trabalhar simultaneamente com as coordenadas UTM, exigindo apenas que se insira as coordenadas geodésicas da origem do sistema (φ_0, λ_0) correspondente aos termos constantes 150.000,000 m e 250.000,000 m, respectivamente, para a abscissa (X) e para a ordenada (Y), conforme descrito pela NBR 14166 (ABNT,1998). Por se tratar de um ponto fixo, neste estudo serão abordados apenas as variações correspondentes ao movimento vertical da ponte (h), não diferenciando a abordagem da coleta pela projeção UTM ou pela Topográfica local.

Com a instalação e configuração do receptor ao SiGE inicia-se a coleta de dados. Neste caso os dados do receptor são encaminhados ao SiGE via cabo serial. Conforme as observações são encaminhadas ao SiGE e a partir da coordenada referência pós processada, a variação (Δ) passa

a ser identificada, a partir da coordenada recebida (h') pelo receptor, menos a coordenada referência (h''), conforme Equação 1:

$$\text{Equação 1: } \Delta h = h' - h''$$

Outro fator importante são as variações máximas admitidas pela estrutura. Se a variação altimétrica ultrapassar a variação aceitável, ou seja, considerando o valor do desvio padrão inserida no cadastro, o sistema muda a coloração da variação para vermelho, chamando assim a atenção do operador.

Os dados além de armazenados no banco de dados do sistema, também são emitidos em relatórios (arquivo em formato excel), contendo todas as informações iniciais do monitoramento, suas coordenadas e respectivas variações, conforme Figura 3. Ressalta-se que o SiGE também tem a opção em trabalhar com mais pontos de controle (mais receptores) instalados na mesma estrutura, basta que as informações iniciais sejam inseridas. Há também a possibilidade em se trabalhar de modo *off*, ou seja, os dados de levantamentos registrados somente pela coletora podem ser inseridos através da opção em “inserir dados” por arquivos em formatos texto (txt).

Projeto	PONTE - OURO FINO					
Referencia:	7536637,04500		359341,33800		873,35600	
Data Hora	Leitura N(m)	Variacao N(m)	Leitura E(m)	Variacao E(m)	Leitura h(m)	Variacao h(m)
28/12/17 09:05:17	7536637,03700	-0,00800	359341,33400	-0,00400	873,29700	-0,0590
28/12/17 09:05:19	7536637,03500	-0,01000	359341,32900	-0,00900	873,30100	-0,0550
28/12/17 09:05:21	7536637,03800	-0,00700	359341,32800	-0,01000	873,30400	-0,0520
28/12/17 09:05:23	7536637,04100	-0,00400	359341,32900	-0,00900	873,30400	-0,0520
28/12/17 09:05:25	7536637,04100	-0,00400	359341,32800	-0,01000	873,30400	-0,0520
28/12/17 09:05:27	7536637,04500	0,00000	359341,32700	-0,01100	873,30100	-0,0550
28/12/17 09:05:29	7536637,04500	0,00000	359341,33100	-0,00700	873,30500	-0,0510
28/12/17 09:05:31	7536637,04600	0,00100	359341,32700	-0,01100	873,30700	-0,0490
28/12/17 09:05:33	7536637,04600	0,00100	359341,32800	-0,01000	873,30600	-0,0500
28/12/17 09:05:35	7536637,04500	0,00000	359341,32900	-0,00900	873,29700	-0,0590

Figura 5: Relatório SiGE

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta pesquisa, conforme descrito na metodologia, utilizou-se a técnica RTK/NTRIP para coleta de dados em tempo real. Para uma melhor análise dos dados, os gráficos referentes a Figura 6 (a) e (b), demonstram o comportamento da estrutura pelo teste dinâmico, referente as duas campanhas. Ambos os gráficos abordam uma linha de tendência polinomial para melhor análise do comportamento vertical da estrutura. As setas indicam as discrepâncias altimétricas máximas e mínimas, pontos de maior interesse que serão abordadas detalhadamente a seguir.

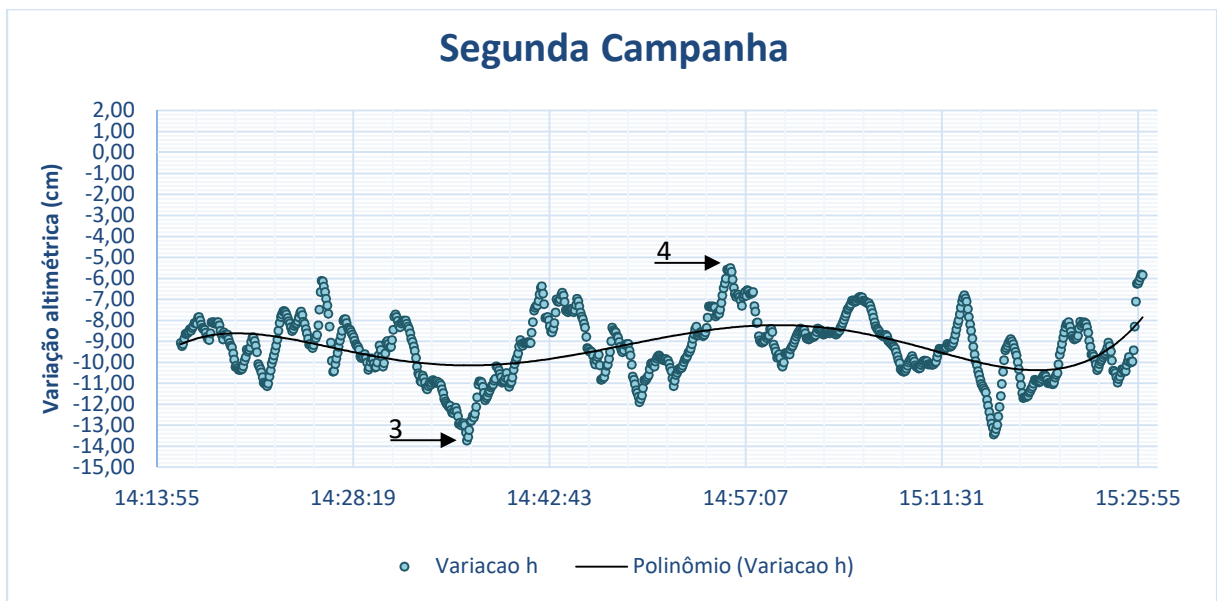
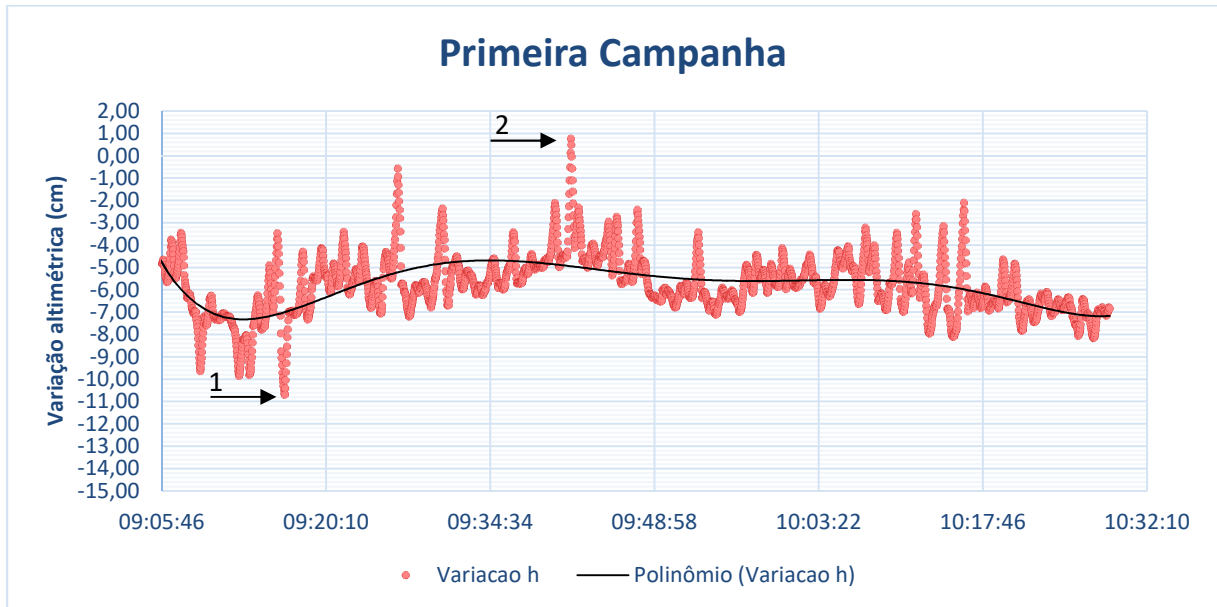


Figura 6: Variação altimétrica e identificação dos pontos extremos; (a) Primeira Campanha; (b) Segunda Campanha.

Em função da análise estatística geral dos resultados obtidos referentes as discrepâncias altimétricas identificadas graficamente, os termos referentes aos valores máximos, mínimos, médio e desvio padrão são apresentados na Tabela 1.

Tabela1: Análise estatística dos dados

Análise Estatística				
Campanhas	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Média (cm)	Desvio Padrão (cm)
Primeira Campanha - 28/12/2017	0,74	-10,71	-5,79	1,32
Segunda Campanha - 18/01/2018	-5,50	-13,73	-9,27	1,49

Ao analisar as discrepâncias altimétricas, é possível identificar um valor único referente ao comportamento máximo da estrutura, ou seja, um valor referente a amplitude máxima das observações. Os deslocamentos da primeira campanha tiveram os valores máximos e mínimos de 0,74 centímetros a -10,71 centímetros respectivamente, tendo como resultado uma amplitude máxima de 11,45 centímetros. Já na segunda campanha, as altitudes variaram de -5,5 a -13,73 centímetros e uma amplitude máxima de 8,23 centímetros.

As duas campanhas tiveram um número de tráfegos de veículos de grande porte consideravelmente diferenciados. A primeira campanha registrou a passagem de 126 veículos de grande porte sobre a ponte, caracterizando em média a passagem de dois veículos por minuto. Já a segunda campanha, obteve o registro de 67 veículos de grande porte, sendo quase a metade de veículos registrados pela primeira campanha.

Com o intuito de identificar o real comportamento da ponte, analisou-se os intervalos dos dados obtidos pelo teste dinâmico de maior interesse, conforme identificados pelas setas 1, 2, 3 e 4 na Figura 6 (a) e (b). No entanto, para detectar de fato a passagem dos veículos de grande porte, foram feitas combinações com ambos os intervalos destes gráficos com o intuito de facilitar a análise das sessões com maiores amplitudes. A Figura 7 demonstra o comportamento vertical referente a primeira e a segunda campanha.

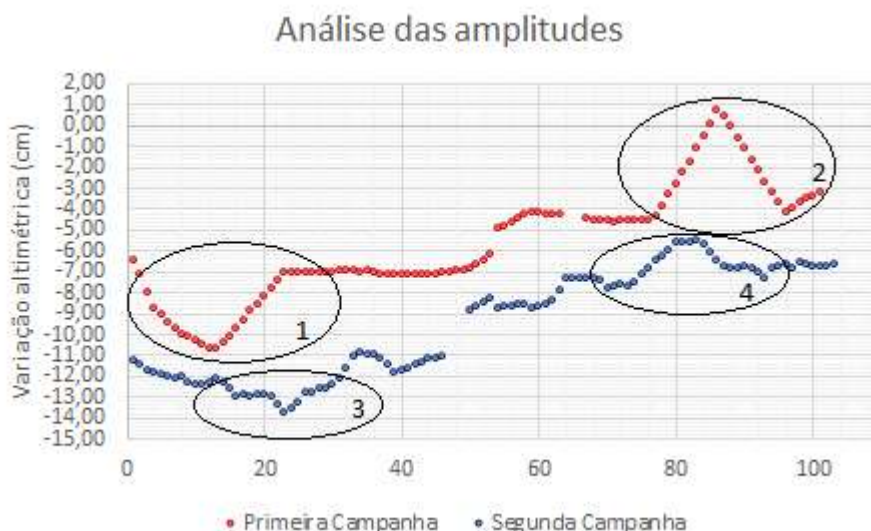


Figura 7: Variações altimétricas e análise das amplitudes máximas

Ao analisar os dados referente a primeira campanha (em vermelho), a sessão 1 identificou um intervalo de registros de tráfego de veículos de grande porte, com a passagem destes veículos seguindo no mesmo sentido da via, que logo após, permaneceu estável sem passagem de nenhum veículo. A sessão 2 aponta um pequeno período de latência das observações e em seguida a passagem de um veículo de grande porte. A segunda campanha (em azul), identificou pela sessão 3 a passagem de uma série de veículos de grande porte, em ambos os sentidos. O mesmo ocorreu com a sessão 4, porém a passagem dos veículos foram feitas somente em um sentido da via. Após a passagem dos veículos de grande porte desta sessão, o trânsito permaneceu apenas por veículos leves. Outro fator importante a ser abordado é a velocidade dos veículos de grande porte em função do peso. Infere-se dizer que a velocidade destes veículos alteram significativamente o comportamento da estrutura e conseqüentemente as amplitudes observadas. Porém os efeitos referente a velocidade e carga destes veículos não foram abordados neste estudo.

Silveira, *et al.* (2017) descreveu o comportamento desta ponte com a técnica RTK por meio de um link de rádio e comparou os dados oriundos da técnica RTK com os dados obtidos através do pós-processamento pelo método cinemático. Esta comparação teve o objetivo validar, a técnica RTK. Os resultados dos estudos foram satisfatórios e apontaram um deslocamento vertical máximo de 7,1 centímetros com desvio padrão de 1,9 centímetros. Com embasamento neste estudo e a comparação destes dados, as medições realizadas pela técnica RTK/NTRIP referentes as duas campanhas, tornaram-se satisfatórios aos deslocamentos verticais obtidos.

Ao identificar o comportamento da estrutura e em função do balanço vertical da ponte a cada veículo de grande porte que por ali transita, uma análise crítica estrutural foi abordada. Com a realização das campanhas *in loco*, foi possível identificar algumas patologias. Aparentemente, estas patologias são referentes a vibrações pela passagem de tráfegos pesados. Os pilares que sustentam a ponte apresentam em suas bases, fissurações, desagregação do concreto e aços expostos com corrosão das armaduras, podendo afetar diretamente sua resistência e durabilidade, conforme ilustrado na figura 6. Por se tratar de um exame visual, torna-se necessário avaliar a estrutura e identificar suas anomalias, por meio de análise do projeto e ensaios laboratoriais, com o intuito de obter um diagnóstico preciso e completo do comportamento estrutural.



Figura 8: Pilares de sustentação da ponte

5. CONCLUSÕES

O SiGE tornou-se uma ferramenta eficiente e eficaz no que diz respeito a utilização do método de posicionamento dinâmico em tempo real e na identificação do comportamento de forma clara e ilustrativa. Sua utilização contempla a organização dos dados monitorados, emissão de relatórios instantâneos e identificação do ponto a ser monitorado (através do aplicativo Google Maps). Também identificou os deslocamentos verticais máximos por meio dos picos de maior amplitude, chegando ao valor de até 11,4 centímetros de deslocamento vertical, com um desvio padrão de 1,3 centímetros para este tipo de posicionamento. Com isso, foi possível garantir a praticidade em dados instantâneos, contribuindo de forma eficaz na fiscalização da segurança no tráfego, na detecção e ocorrência dos veículos de grande porte com relação ao comportamento da estrutura e conseqüentemente na segurança estrutural, mostrando-se assim, válido no que diz respeito ao monitoramento estrutural em tempo real.

Para análise e detecção de deflexões verticais em pontes de concreto armado, em escala milimétrica, com amplitudes inferiores a ordem de 5 milímetros, recomenda-se o uso do equipamento GNSS com frequência de 100 hz, conforme estudos realizados por Laroca; et al. (2015).

Vale salientar que durante as campanhas, veículos leves, médios e pesados trafegaram sobre a ponte, não havendo nenhuma manobra para impedir ou desviar o tráfego local. Com a confrontação dos horários das passagens dos veículos pesados sobre a ponte e a identificação da variação demonstrada pelo SiGE, foi possível identificar os picos ascendentes e descendentes nos valores das altitudes coletadas em tempo real, garantindo assim, o controle pontual de cada veículo pesado e sua ação sobre a ponte.

As observações visuais referentes as patologias devem ser acrescidas ao monitoramento, seja ele contínuo ou periódico, informando ao órgão fiscalizador a atual realidade da estrutura, a necessidade da adequação, avaliação e recuperação estrutural quando necessária, garantindo assim a segurança no tráfego e aos usuários.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (processo nº 134312/2018-6), pela bolsa de estudos concedida; A empresa Alezi Teodolini pelo empréstimo do equipamento GNSS; Ao Departamento de Geotecnia e Transporte – DGT da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO NETO, J. O. **Uso do GPS no monitoramento dinâmico da infraestrutura de transportes: Pontes rodoviárias em concreto**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC. Campinas, p. 201. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-6:Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre. Rio de Janeiro, p. 4. 1960.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 14166: Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 23. 1998.

BARBOSA, E. M.; MONICO, J. F. G.; ALVES, D. B. M.; OLIVEIRA, L. C. O. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **Boletim de Ciências Geodésicas. On-line version**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 1-12, Dezembro 2010. ISSN 1982-2170.

BERNASCONI, J. R. Infraestrutura - O Brasil não tem cultura de realizar manutenção em obras. **PINI Web**, 24 Novembro 2011. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/infraestrutura/brasil-nao-tem-cultura-de-realizar-manutencao-em-obras-afirma-242228-1.aspx>>. Acesso em: 25 de Agosto de 2017.

BURITY, E. F. **Determinação da vulnerabilidade física em área de risco de deslizamento a partir do posicionamento GNSS, com técnica RTK-NTRIP**. Tese (Doutorado).Universidade de Brasília. Brasília, p. 287. 2016.

CHAVES, J. C. **Uso da Tecnologia GPS na monitoração de deformação: Sistemas, etapas e experimentos**. Tese (Doutorado).Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo - USP. São Carlos. 2001.

CHAVES, J. C.; SEGANTINE, P. C. L. Determinação de parâmetros de deformação com GPS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 66/6, p. 1305-1314, Agosto 2014. ISSN 1808-0936.

CINTRA, J. P.; NERO, M. A.; RODRIGUES, D. GNSS/NTRIP service and technique: accuracy tests. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 17, n. 2, p. 1-11, maio 2011. ISSN 1982-2170.

COSTA, S. M. A.; LIMA, M. A. A.; JUNIOR, N. J. M.; ABREU, M. A.; SILVA, A. L.; FORTES, L. P. S. **RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Diretoria de Geociências - DGC; Coordenação de Geodésia - CGED. Recife, p. p. 08. 2008. (Disponível em: <https://artigos.ibge.gov.br/artigos-home/geodesia/2008-2005/3067-rbmc-em-tempo-real-via-ntrip-e-seus-beneficios-nos-levantamentos-rtk-e-dgps>). Acesso em: 25 setembro 2017.

DER, S. P. Portal do Governo. **Departamento de Estradas de Rodagem - Secretaria de Logística e Transportes**. Disponível em:

<<http://www.der.sp.gov.br/Website/Acessos/Documentos/ClassificacaoVeiculos.aspx>>. Acesso em: 15 dezembro 2017.

FIGUEIREDO, E. J. F. **Monitorização e avaliação do comportamento de obras de arte**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, p. 191. 2006.

LAROCCA, A. P. C.; **O uso do GPS como instrumento de controle de deslocamentos dinâmicos de obras civis - Aplicação na área de transportes..** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo - USP. São Carlos. 2004.

LAROCCA, A. P. C.; ARAUJO NETO, J. O.; TRABANCO, J. L. A.; BARBOSA, A. C. B.; CUNHA, A. L. B. N.; SCHAAL, R. E. Uso de Receptores GPS de 100 hz na Detecção de Deflexões Verticais Milimétricas de Pontes de Concreto de Pequeno Porte. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version**, Curitiba, v. 21, n. 2, p. 290-307, abr-jun 2015. ISSN 1982-2170.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2º. ed. São Paulo: Unesp, 2008.

POLETO, L. J. D. C. **Estudo da aplicação do GPS no monitoramento de deslocamentos em estruturas**. Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, p. 78. 2010.

SILVEIRA, A. W. F. N.; ALBARICI, F. L.; BORGES, P. A. F. Técnicas de posicionamento na detecção de veículos pesados em tempo real. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 561-577, Out/Dez 2017. ISSN 2317-4285.

SPECTRA. Manual de especificações técnicas Spectra Precision. **Receptor GNSS SP80**, 2016. Disponível em: <<http://www.spectraprecision.com/media/custom/upload/File-1474535533.pdf>>. Acesso em: 28 setembro 2017.

TANG, X.; ROBERTS, G. W.; LI, X.; HANCOCK, C. M. Real-time kinematic PPP GPS for structure monitoring applied on the Severn Suspension Bridge, UK. **Advances in Space Research**, n. 60, p. 925–937, May 2017.

Referências Bibliográficas Complementares

DNIT. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, p. 280. 2010. (Publicação IPR 741).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências; Geodésia; RBMC. **RBMC-IP, Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS em tempo real**. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/ntrip/>>. Acesso em: 15 agosto 2017.