



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

## O Uso do Laser Scanner Terrestre na Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto: uma Revisão Bibliográfica

Suelen Pavi<sup>1,4</sup>, Fabiane Bordin<sup>2,4</sup>, Maurício Roberto Veronez<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)/ Graduação em Engenharia Civil/  
su\_pavi@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)/ Engenharias Civil, Cartográfica e de Agrimensura/  
fabianebor@unisin.br

<sup>3</sup> Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) / Programa de Pós-Graduação em Geologia /  
veronez@unisin.br

<sup>4</sup> VizLab – Laboratório de Visualização Avançada – Universidade do Vale do Rio dos Sinos(UNISINOS),  
São Leopoldo, RS, Brasil

### Resumo

Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes e os viadutos são de suma importância para o desenvolvimento das cidades. Essas estruturas, chamadas de Obras de Arte Especiais (OAE's), são elementos indispensáveis de um sistema viário e sua eficiência depende das manutenções regulares a que são submetidas. Segundo pesquisa recente, realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 86% das OAE's sob responsabilidade da autarquia, precisam de reforço, manutenção e alargamento. Esse número poderia ser menor caso fossem adotados, de forma preventiva, procedimentos sistemáticos para inspeções de pontes e viadutos. As inspeções de OAE's, da maneira como são realizadas hoje, são bastante rudimentares. A presença do dano não é quantitativamente padronizada e depende exclusivamente dos critérios qualitativos do inspetor. Além disso, a produtividade é baixa, pois os inspetores fazem anotações em fichas de papel, que posteriormente são digitalizadas no escritório. Outra limitação são as inspeções em estruturas de difícil acessibilidade que, muitas vezes, acabam representando risco à segurança do inspetor. Neste sentido, o presente trabalho investigou os estudos recentes na área de Sensoriamento Remoto aplicado à Engenharia Civil, com o objetivo de avaliar o potencial de utilização do equipamento Laser Scanner Terrestre (LST) na detecção de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto. O LST pode ser utilizado de maneira complementar à metodologia atual de inspeção das Obras de Arte Especiais. A partir da revisão bibliográfica foi visto que alterações dimensionais, deformações, eflorescências, fissuração, umidade e biodeterioração, podem ser detectadas pelo LST. Por não necessitar de contato direto com a estrutura, o LST possibilita a inspeção de partes de pontes e viadutos que estão inacessíveis ao inspetor. Além disso, toda a informação gerada na inspeção é armazenada em forma de nuvem de pontos em 3D ou imagens que podem ser posteriormente analisadas para a escolha da técnica de reparo adequada.

### Palavras-chave

Obras de Arte Especiais; Pontes e Viadutos; Inspeção; Laser Scanner Terrestre; Sensoriamento Remoto.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



## 1 Introdução

Entre as muitas obras de infraestrutura, as pontes e os viadutos são de suma importância para o desenvolvimento das cidades, tanto do ponto de vista econômico como do social. Essas estruturas, chamadas de Obras de Arte Especiais (OAE's), são elementos indispensáveis de um sistema viário, e sua eficiência depende das manutenções regulares a que são submetidas.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), das 4300 pontes que estão sob responsabilidade da autarquia, 86% precisam de reforço, manutenção ou alargamento e os 14% restantes precisam de manutenção e reforço. (THORMANN, 2011). Esses números evidenciam a falta de uma cultura de manutenção preventiva das OAE's no país e poderiam ser muito menores caso fossem adotados procedimentos sistemáticos para inspeções e manutenções de pontes e viadutos.

Em geral, as inspeções das OAE's no país, são realizadas de maneira bastante rudimentar (não há o emprego de nenhuma tecnologia, além de uma câmera fotográfica). A produtividade é baixa e a presença do dano não é quantitativamente padronizada, dependendo exclusivamente dos critérios qualitativos do inspetor. Há também limitações quanto às inspeções em estruturas de difícil acessibilidade que, muitas vezes, representam riscos à segurança do profissional que as executa.

Justifica-se, portanto, o investimento em novas técnicas e o estudo de novas tecnologias que possam auxiliar no sistema de inspeção e manutenção das OAE's, de forma a complementar a metodologia existente.

Seguindo o que já foi proposto por González-Jorge et al. (2012) e Armesto-González et al. (2010), acredita-se que o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, especificamente a utilização dos dados advindos do escaneamento com o Laser Scanner Terrestre (LST), possa ser de grande valia para a identificação e o monitoramento das manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto. O LST é uma técnica não-destrutiva e não-invasiva, onde não há o envolvimento de contato direto. O produto final de um escaneamento com o LST é uma nuvem de pontos com as coordenadas (x,y,z), o que permite a visualização da estrutura em três dimensões (3D), juntamente com o atributo de cor (red, green, blue - RGB) e suas intensidades correspondentes.

O LST já foi utilizado com êxito em diversos campos como a arqueologia (LAMBERTS et al., 2007), o estudo do patrimônio cultural (SHARAF; YAHLA; HAALA, 2009), a geologia (FERRARI et al., 2012; SOUZA et al., 2013; INOCENCIO et al., 2014; NELSON et al., 2011) e na área florestal (LINGNAU et al., 2008; BORDIN et al., 2013a; BORDIN et al., 2013b). Trabalhos significativos na área de Engenharia Civil também foram produzidos nos últimos anos por González-Aguilera, Gómez-Lahoz e Sánchez (2008), Lubowiecka et al. (2009), Armesto et al. (2010), Bosché (2010), Rabah, Elhattab e Fayad (2013), entre outros.

Neste sentido, o presente trabalho propõe-se a investigar os estudos recentes na área de Sensoriamento Remoto aplicado à Engenharia Civil, com o objetivo de avaliar o potencial de utilização do sistema Laser Scanner Terrestre para detectar a presença de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado e protendido.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Além de explorar a utilização do LST na Engenharia Civil, a revisão bibliográfica pretende contemplar conceitos gerais sobre Inspeção de Obras de Arte Especiais, bem como sobre Sensoriamento Remoto e Laser Scanner Terrestre, de modo a contextualizar temas relacionados.

É importante salientar que, neste estudo, a diferenciação entre pontes e viadutos é somente nominal, visto que diversos autores, inclusive o próprio DNIT, apresentam a mesma definição para ambas as estruturas.

## 2 Metodologia

O presente trabalho constituiu-se de uma revisão bibliográfica acerca da utilização do Laser Scanner Terrestre (LST) na detecção de manifestações patológicas no concreto. O estudo resume, analisa e discute informações já publicadas na área de Sensoriamento Remoto aplicado à Engenharia Civil, para avaliar a possibilidade da utilização do LST na identificação de problemas patológicos em OAE's de concreto armado e protendido.

A pesquisa desenvolveu-se a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, nacionais e internacionais, bem como artigos de jornais, revistas e periódicos especializados na área de Sensoriamento Remoto. Também foram consultadas teses e dissertações relacionadas ao tema, além de documentos normativos referentes às Inspeções de Obras de Arte Especiais.

## 3 Resultados

### 3.1 Inspeção de pontes e viadutos

A detecção das manifestações patológicas nas obras de infraestrutura se dá durante as inspeções. As inspeções fazem parte do processo de manutenção das OAE's, sendo indispensáveis para assegurar seu correto funcionamento e preservação e garantir a segurança para o usuário.

A Norma DNIT 010/2004 – PRO, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, define inspeção de ponte como:

Atividade técnica especializada que abrange a coleta de elementos, de projeto e de construção, o exame minucioso da ponte, a elaboração de relatórios, a avaliação do estado da obra e as recomendações, que podem ser de nova vistoria, de obras de manutenção, de obras de recuperação, de reforço ou reabilitação. (DNIT, 2004, p. 3).

As vistorias utilizam como normas norteadoras a NBR 9452:2012 - Vistoria de pontes e viadutos de concreto – Procedimento (ABNT, 2012), a Norma DNIT 010/2004 – PRO (DNIT, 2004) e o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do DNIT (BRASIL, 2004). Além da inspeção visual de todo o elemento estrutural, que segundo a DNIT 010/2004 - PRO, é garantida pelas Fichas de Inspeção, também é exigido um documento fotográfico com, no mínimo, seis fotografias. Inspeções físicas, como leves batidas na estrutura são recomendadas para detectar vazios e desagregações na massa de concreto. As inspeções são realizadas por



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



engenheiros e técnicos do DNIT, aos quais é exigida experiência em projeto, execução e inspeção de pontes e viadutos. Em alguns casos, podem ser contratadas empresas terceirizadas. (BRASIL, 2004).

Da maneira como são realizadas hoje, as inspeções das OAE's apresentam como problemática o fato de serem bastante rudimentares (não há o emprego de nenhuma tecnologia, além de uma câmera fotográfica). O problema deste método é o fato de que a presença do dano não é quantitativamente padronizada e depende exclusivamente dos critérios qualitativos do inspetor. Estudos também levantaram falhas nas fichas de inspeção utilizadas nas vistorias, na medida em que estas desconsideram a influência do entorno e dos fatores ambientais na degradação das estruturas. (LENCIONE, 2005). Além disso, a produtividade é baixa, pois os inspetores fazem anotações em fichas de papel que, posteriormente, são digitalizadas no escritório. Somam-se a isto, as limitações das inspeções em estruturas de difícil acessibilidade que, muitas vezes, acabam representando risco à segurança do profissional que as executa.

Diante de tudo isto, aumenta a relevância do desenvolvimento de novas técnicas de inspeção e o uso da tecnologia de Sensoriamento Remoto, especificamente de um sistema LST, mostra-se como um grande aliado nas atividades de vistoria de OAE's.

### 3.2 Laser Scanner Terrestre (LST)

A utilização do Laser Scanner Terrestre (LST) tem se expandido muito nos últimos anos no campo da documentação gráfica e métrica de objetos, principalmente, por ser uma técnica não-destrutiva e não-invasiva, que não envolve contato direto. Lasers Scanners são equipamentos de Sensoriamento Remoto que possibilitam o levantamento de um grande número de dados da superfície observada, com elevada precisão e uma rápida taxa de aquisição (milhares e até milhões de pontos por segundo). (BELLIAN; KERANS; JENNETE, 2005).

O princípio básico de funcionamento do LST é a medida do tempo necessário para que um pulso de laser viaje do transmissor até a superfície refletora do alvo e de volta ao receptor. O feixe luminoso emitido pelo equipamento viaja através da atmosfera e interage com o objeto alvo. Os átomos e moléculas constituintes do alvo refletem ou absorvem a radiação eletromagnética e seu retroespalhamento dá origem à detecção remota do laser. (WEITKAMP, 2005). Os arquivos gerados pelo LST baseiam-se em uma estrutura onde são armazenadas as coordenadas dos pontos no espaço ( $x, y, z$ ), o valor de intensidade de retorno do pulso laser ( $I$ ) e, caso haja disponibilidade, os valores provenientes da câmera fotográfica digital acoplada ao equipamento (RGB). (BORDIN et al., 2013c). O produto final de um escaneamento é uma nuvem de pontos com coordenadas espaciais e suas intensidades correspondentes, formando uma imagem em 3D da estrutura escaneada. (GONZÁLEZ-JORGE et al., 2012).

O LST é montado em um tripé ou em veículos e pode digitalizar a paisagem em torno da sua localização. Scanners panorâmicos digitalizam a área circundante num padrão sistemático com cobertura de 360° no plano horizontal e aproximadamente 270° em relação ao plano vertical. (POPESCU, 2011).



### 3.3 Aplicações do Laser Scanner Terrestre na Engenharia Civil

Diversas são as aplicações do LST no campo da Engenharia Civil. A utilização dos dados de intensidade é bastante recente. A maioria dos estudos explora com maior frequência as informações geométricas por meio das coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  e as imagens com os atributos RGB.

Lubowiecka et al. (2009) utilizaram o LST em análise dimensional e estrutural de uma ponte medieval na Espanha. Os dados geométricos resultantes da varredura foram usados para definir um modelo em 3D para a modelagem do comportamento estrutural da ponte, conforme figura 1. O estudo faz uso do Sensoriamento Remoto para detecção de danos estruturais e manutenção do patrimônio.



**Figura 1 – Perspectiva da nuvem de pontos completa.**

Fonte: Lubowiecka et al. (2009, p. 2669).

Armesto et al. (2010) desenvolveram uma metodologia para estimar a deformação de arcos e abóbadas, baseada na simetria de cortes obtidos ao longo da diretriz da abóbada. A geometria exata dos arcos e as coordenadas  $(x, y, z)$  foram obtidas por meio de levantamento com LST. A partir disso, a nuvem de pontos gerada foi processada por um algoritmo capaz de gerar superfícies e seções transversais.

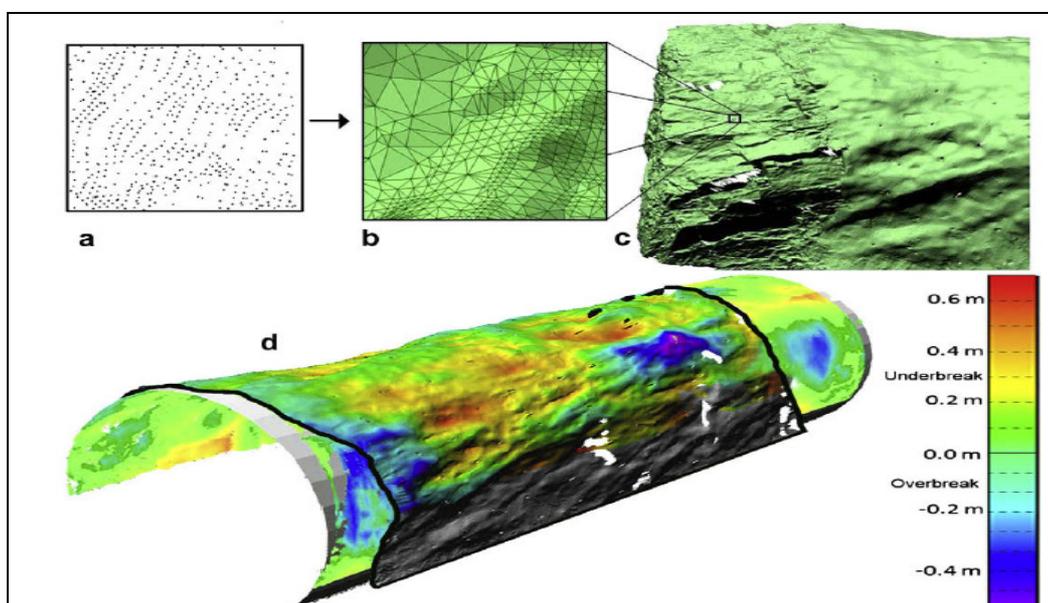
Pesci, Casula e Boschi (2011) digitalizaram as torres Asinelli e Garisenda, localizadas na cidade de Bologna, Itália, para avaliar as deformações e os desvios de inclinação dessas estruturas. A nuvem de pontos gerada mostrou a existência de diversas áreas afetadas por deformações significativas e mudanças de inclinação.

Bosché (2010), em um estudo aplicando o LST para a obtenção de projetos *as-built*, concluiu que o equipamento, aliado ao uso de algoritmos de reconhecimento, pode ser eficiente e eficaz para rastrear automaticamente em 3D o status de projetos de construção civil, principalmente para controlar a conformidade dimensional das construções.

Fekete, Diederichs e Lato (2010) utilizaram o LST para a varredura de túneis em processo de escavação e perfuração, em Oslo, Noruega. Os dados obtidos no levantamento foram: a espessura do concreto projetado, o espaçamento dos parafusos e as regiões de vazamento em potencial. Os autores também concluíram que os dados do escaneamento, quando interpretados corretamente, podem fornecer informações detalhadas para a



caracterização do maciço rochoso. A caracterização geométrica das superfícies de descontinuidade incluindo localização, orientação, frequência e rugosidade, também pode ser obtida. Podem ser feitas comparações entre a estrutura projetada e a construção executada, identificando erros ou alterações a serem feitas no projeto de escavação. Além da rapidez no levantamento e da alta taxa de aquisição de dados, o uso do LST possibilitou a obtenção de informações detalhadas da escavação do maciço rochoso sem a interrupção do fluxo de trabalho de construção. A figura 2 mostra um esquema do processamento de dados de um escaneamento a laser. A imagem (a) representa a nuvem de pontos em estado bruto, (b) é a malha triangular obtida a partir da nuvem de pontos (c) é a superfície reconstruída a partir da malha. A imagem (d) mostra a diferença entre o projeto e a execução da concretagem do túnel.



**Figura 2 – Processamento de dados gerados no escaneamento do túnel.**

Fonte: Fekete, Diederichs e Lato (2010, p. 616).

Teza, Galgaro e Moro (2009), desenvolveram um método computacional para o reconhecimento automático de danos superficiais relacionados com a perda de massa de uma estrutura de concreto armado, por meio de dados adquiridos por LST.

Outra aplicação do LST é dada por Pu e Vosselman (2009). Os autores utilizaram a nuvem de pontos gerada no escaneamento para a reconstrução de modelos de fachadas de edificações. Observe na figura 3, o modelo final da fachada reconstruída.

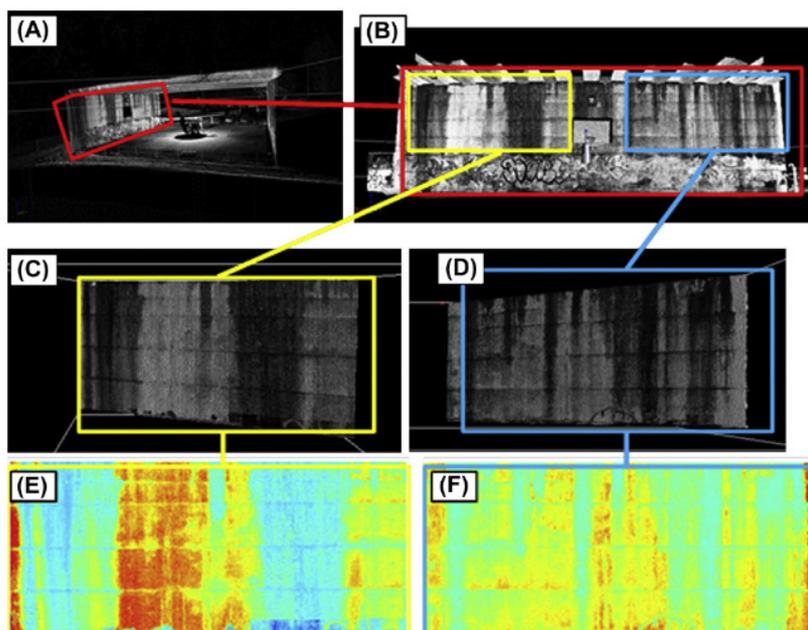


**Figura 3 – Modelo final da fachada reconstruída.**

Fonte: Pu e Vosselman (2009, p. 583).

Dados de intensidade do LST foram utilizados para o reconhecimento e a caracterização de manifestações patológicas em materiais que constituem a construção de edifícios históricos. Armesto-González et al. (2010), identificaram eflorescências em rochas graníticas da parede de edificações, através das imagens geradas no escaneamento com o LST.

González-Jorge et al. (2012) também utilizam os dados de intensidade do LST em seus estudos. Os autores apresentam uma metodologia para detectar a proliferação de musgos em estruturas de concreto armado e comparam diferentes equipamentos Laser Scanner e algoritmos de classificação. A figura 4 demonstra a aquisição e o processamento de dados do escaneamento. Em (A), observa-se a visão geral de digitalização, em (B), o escaneamento de um pilar, em (C) e (D), a seleção das áreas de estudo e em (E) e (F), a imagem gerada pelos dados de intensidade. A partir do processamento e classificação das imagens geradas pela intensidade do LST, foi possível identificar água, concreto sadio e partes da estrutura acometidas pela biodeterioração.



**Figura 4 – Aquisição e processamento de dados do escaneamento em pilares de pontes.**

Fonte: González-Jorge et al. (2012, p. 124).



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Um estudo recente realizado por Rabah, Elhatab e Fayad (2013), sobre a detecção e o mapeamento automático de fissuras na superfície do concreto, concluiu que o LST gera uma informação precisa sobre o tamanho, a disposição e a direção das fissuras. O método proposto no estudo mostrou-se mais preciso no mapeamento de fissuras que a utilização de Estação Total ou o acompanhamento com registros manuais.

## 4 Conclusões

A análise das informações levantadas na revisão bibliográfica, indica um grande potencial de utilização do Laser Scanner Terrestre na identificação de manifestações patológicas em pontes e viadutos de concreto armado e protendido. Esta técnica pode ser incorporada à atividade de inspeção de OAE's, de modo a complementar a metodologia existente.

Conforme observado nos estudos referenciados, o equipamento é capaz de detectar eflorescências, umidade, biodeterioração e fissuras, além de permitir a visualização de alterações dimensionais e deformações na ordem de poucos centímetros. Por possibilitar a visualização e o escaneamento de uma estrutura sem o contato direto com ela, com alcance de distâncias na casa de metros e até de quilômetros, o LST seria uma opção para o caso de inspeções de OAE's cujos pilares, vigas e tabuleiro estivessem inacessíveis ao contato do inspetor.

A característica do LST de gerar imagens em 3D da estrutura escaneada, com dados de intensidade e de cor, possibilita o armazenamento das informações de uma inspeção para o acompanhamento da evolução das manifestações patológicas ao longo da vida útil da estrutura. Técnicas de processamento de imagens e algoritmos de classificação também podem ser usados para criar uma padronização para a incidência/intensidade/quantidade de dano nas estruturas, que na metodologia atual depende do critério qualitativo do inspetor.

Este estudo está em fase inicial e abre uma gama de oportunidades em termos de desenvolvimento científico e inovação, unindo a área de Sensoriamento Remoto e a Inspeção de OAE's no Brasil, atividade fundamental no importante processo de manutenção dessas grandes estruturas. As próximas etapas do estudo envolverão o desenvolvimento e a avaliação de metodologias que possam integrar as vistorias de OAE'S.

## 5 Referências

- ARMESTO, J.; ROCA-PARDIÑAS, J.; LORENZO, H.; ARIAS, P. Modelling masonry arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods. *Engineering Structures*, v. 32, n. 2, p. 607-615, 2010.
- ARMESTO-GONZÁLEZ, J.; RIVEIRO-RODRIGUES, B.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; RIVAS-BREA, T. Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings. *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n. 12, p. 3037-3047, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9452: vistoria de pontes e viadutos de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2012.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

- BELLIAN, J. A.; KERANS, C.; JENNETTE, D. C. Digital Outcrop Models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling. *Journal of Sedimentary Research*, v. 75, n. 2, p. 166-176, 2005.
- BORDIN, F.; TEIXEIRA, E. C.; ROLIM, S. B. A.; TOGNOLIC, F. M. W.; VERONEZ, M. R.; SILVEIRA JUNIOR, L. G.; SOUZA, C. F. N. Methodology for acquisition of intensity data in forest targets using terrestrial laser scanner, *IERI Procedia*, v. 5, p. 238 -244, 2013a.
- BORDIN, F.; TEIXEIRA, E. C.; ROLIM, S. B. A.; TOGNOLIC, F. M. W.; SOUZA, C. N.; VERONEZ, M. R. Analysis of the influence of distance on data acquisition intensity forestry targets by a LIDAR technique with terrestrial laser scanner. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, p. 99-103, 2013b.
- BORDIN, F.; TEIXEIRA, E. C.; ROLIM, S. B. A.; TOGNOLI, F. M. W. Aquisição de dados de intensidade de alvos florestais com Laser Scanner Terrestre: uma abordagem de exploração metodológica. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 6121-6128, 2013c.
- BOSCHÉ, F. Automated recognition of 3D CAD model objects in laser scans and calculation of as-built dimensions for dimensional compliance control in construction. *Advanced Engineering Informatics*, v. 24, n. 1, p. 107-118, 2010.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Manual de inspeção de pontes rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa (IPR). Norma DNIT 010/2004 – PRO: inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- FEKETE, S.; DIEDERICHS, M.; LATO, M. Geotechnical and operational applications for 3-dimensional laser scanning in drill and blast tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 25, n. 5, p. 614-628, 2010.
- FERRARI, F.; VERONEZ, M. R.; TOGNOLI, F. M. W.; INOCENCIO, L. C.; PAIM, P. S. G.; SILVA, R. M. Visualização e interpretação de modelos digitais de afloramentos utilizando Laser Scanner Terrestre. *Geociências*, v. 31, n. 1, p. 79-91, 2012.
- GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; GÓMEZ-LAHOZ, J.; SÁNCHEZ, J. A new approach for structural monitoring of large dams with a three dimensional laser scanner. *Sensors*, Basel, v. 8, n. 9, 5866–5883, 2008.
- GONZÁLEZ-JORGE, H.; GONZALEZ-AGUILERA, D.; RODRIGUEZ-GONZALVEZ, P.; ARIAS, P. Monitoring biological crusts in civil engineering structures using intensity data from terrestrial laser scanners. *Construction and Building Materials*, v. 31, p. 119-128, 2012.
- INOCENCIO, L. C.; VERONEZ, M. R.; TOGNOLI, F. M. W.; SOUZA, M. K.; SILVA, R. M.; SILVEIRA JUNIOR, L. G.; SILVEIRA, C. L. B. Spectral pattern classification in LIDAR data for rock identification in outcrops. *The Scientific World Journal*, v. 2014, p. 1-10, 2014.
- LAMBERTS, K.; EISENBEISS, H.; SAUERBIER, M.; KUPFERSCHMIDT, D.; GAISECKER, T.; SOTOODEH, S.; HANUSCH, T. Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Papa, Peru. *Journal of Archaeological Science*, v. 34, p. 1702-1712, 2007.
- LENCIONI, J. W. Proposta de manual para inspeção de pontes e viadutos em concreto armado – discussão sobre influência dos fatores ambientais na degradação de obras-de-arte especiais. 2005. 187 f. Dissertação (Mestrado em Infraestrutura Aeronáutica) – Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2005.
- LINGNAU, C.; SILVA, M. N.; SANTOS, D. S.; MACHADO, A.; LIMA, J. G. S. Mensuração de alturas de árvores individuais a partir de dados laser terrestre. *Ambiência*, Guarapuava, v. 4, p. 85-96, 2008.



# VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de  
maio de 2014  
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



- LUBOWIECKA, I.; ARMESTO, J.; ARIAS, P.; LORENZO, H. Historic bridge modelling using laser scanning, ground penetrating radar and finite element methods in the context of structural dynamics. *Engineering Structures*, v. 31, n. 11, p. 2667-2676, 2009.
- NELSON, C.E.; JERRAM, D. A.; HOBBS, R. W.; TERRINGTON, R.; KESSLER, H. Reconstructing flood basalt lava flows in three dimensions using terrestrial laser scanning. *Geosphere*, v. 7, n. 1, p. 87-96, 2011.
- PESCI, A.; CASULA, G.; BOSCHI, E. Laser scanning the Garisenda and Asinelli towers in Bologna (Italy): Detailed deformation patterns of two ancient leaning buildings. *Journal of Cultural Heritage*, v. 12, n. 2, p. 117-127, 2011.
- POPESCU, S. C. Lidar remote sensing. In: WENG, Q. (Ed.). *Advances in environmental remote sensing: sensors, algorithms and applications*. New York: CRC Press, 2011. cap. 3, p. 57-84.
- PU, S.; VOSSelman, G. Knowledge based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data. *ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 64, n. 6, p. 575-584, 2009.
- RABAH, M.; ELHATTAB, A.; FAYAD, A. Automatic concrete cracks detection and mapping of terrestrial laser scan data. *Journal of Astronomy and Geophysics*, 6 p., 2013.
- SHARAF, A. K., YAHLA, A. S., HAALA, N. Developing a documentation system for desert palaces in Jordan using 3D laser scanning and digital photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, v. 36, n. 2, p. 537-546, 2009.
- SOUZA, M. K.; VERONEZ, M. R.; TOGNOLI, F. M. W.; SILVEIRA JUNIOR, L. G.; INOCENCIO, L. C.; SILVA, R. M.; MODENA, R. C. C. Terrestrial laser scanning: Application for measuring of structures information in geological outcrops. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, v. 2, n. 1, p. 260-270, 2013.
- TEZA, G.; GALGARO, A.; MORO, F. Contactless recognition of concrete surface damage from laser scanning and curvature computation. *NDT&E International*, v. 42, n. 4, p. 240-249, 2009.
- THORMANN, J. F. F. (Cord.). Programa de reabilitação de obras de arte especiais. Brasília, DF: DNIT, jan. 2011.
- WEITKAMP, C. Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere. New York: Springer. 2005. 455 p.