SISTEMA DE VARREDURA A LASER TERRESTRE (SVLT): UM ESTADO DA ARTE E POSSIBILIDADES NO MEIO URBANO

Adriano Antonio Tronco[1], Bianca Ferraz[2], Joandson Fernandes Campos[3], Roney Berti de Oliveira[4] e Marcelo Luiz Chicati[5]

[1]Universidade Estadual de Maringá, Rua Antônio Correia Fontana, 215 – Maringá. adrianotronco@hotmail.com; [2]Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790 - Maringá, biancamfferraz@gmail.com; [3]Universidade Estadual de Maringá, Rua João Luis Dias, 507 - Maringá, jhoandsom@gmail.com; [4]Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790 – Maringá, rboliveira@uem.br; [5]Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790 – Maringá, mlchicati@hotmail.com.

RESUMO

O Sistema de Varredura a Laser Terrestre (SVLT) é uma técnica para coleta de dados por meio de pulsos eletromagnéticos que gera uma nuvem de pontos do local onde é feita a análise, a partir do qual é possível fazer uma modelagem tridimensional e ainda combinar dados provenientes de outras fontes como GNSS, estação total e outros sensores para maior detalhamento em função do objetivo final. Neste artigo foi feito um pequeno estudo de aprofundamento no que tange ao funcionamento e caracterização do SVLT além de uma análise do estado da arte do uso do sistema de varredura à laser terrestre, abordando alguns artigos nas áreas de maior uso e contemplando alguns referentes aos usos urbanos.
SVLT. Sensoriamento remoto. Estado da arte. Aplicações do SVLT.

Palavras-chave — SVLT. Sensoriamento remoto. Estado da arte. Aplicações do SVLT.

ABSTRACT

The Terrestrial Laser Scanning system (TLS) is a technique for collecting data using electromagnetic pulses generating a point cloud of the location where the analysis is made, from which it is possible to do a three-dimensional modeling and still combine data from other sources such as GNSS, total station and other sensors for greater detailing depending of the final objective. In this article, a small study was carried out on the operation and characterization of the TLS as well as an analysis of the state of the art of the use of the terrestrial laser scanning system, approaching some articles in the areas of most use and contemplating some referring to the urban uses. Keywords: TLS. Remote Sensing. State of art. TLS uses.

Key words — *One, two, three, four, five. TLS. Remote Sensing. State of art. TLS uses.*

1. INTRODUÇÃO

O sistema de varredura a laser terrestre (SVLT) é um método utilizado em várias engenharias para coleta de dados de caráter geométrico em campo, tais como estudos topográficos, modelagens de terrenos e superfícies diversas, análise de edificações, cobertura vegetal, estudos geomorfológicos entre outros. O SVLT é baseado no LIDAR, ou Light Detection and Ranging.

Análogo ao sonar e ao radar, o LIDAR se utiliza da propagação de ondas eletromagnéticas e detecção das mesmas por meio de um sensor. O sonar utiliza ondas sonoras, o radar faz uso das ondas de rádio e o LIDAR trabalha com a faixa do espectro referente à luz visível e suas proximidades. Iremos analisar mais profundamente os princípios básicos do SVLT e verificar alguns trabalhos realizados na atualidade em várias áreas do conhecimento com ajuda deste sistema do sensoriamento remoto, sendo que uma destas abordagens se refere aos usos no ambiente urbano.

2. SISTEMA DE VARREDURA A LASER TERRESTRE

O princípio de funcionamento de um equipamento que faz a varredura terrestre (scanners a laser) é o mesmo de todos aqueles que fazem medidas de distância com uso da luz. O scanner emite um pulso de luz e um sensor interno vai captar o retorno deste mesmo pulso. Com o tempo da trajetória conhecido, dividido pela metade e multiplicado pela velocidade da luz resulta na distância absoluta entre o objeto visado e o equipamento. Os scanners são capazes de analisarem milhares de pontos por segundo, adquirindo também dados como a posição do objeto refletido num eixo de coordenadas cartesiano (XYZ), a intensidade da reflexão e sua cor (RGB). Um posicionamento relativo na casa de milímetros de acurácia pode ser obtido com o SVLT.

O sistema de varredura a laser terrestre apresenta muitas vantagens. Este sistema provê uma densidade sem precedentes de informação espacial através de um conjunto de vetores tridimensionais que vão de encontro ao ponto em que se encontra o scanner (nuvem de pontos). O scanner pode ser controlado por um computador portátil que também é usado para aquisição dos dados e um processamento inicial. Outra vantagem do SVLT é a possibilidade de combinação com o sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), permitindo um conjunto de dados completamente georreferenciados.

A nuvem de pontos tridimensional gerada no scanner é uma transformação cartesiana do dado recebido pelo pulso do laser (transformação do alcance do laser e da refletância do ponto, além das coordenadas XYZ calculadas) em um sistema onde o scanner é o centro de referência. A nuvem tridimensional gerada de um local específico deriva da superposição do alcance e imagem de refletância de cada pulso do laser. Com a nuvem, tem-se uma base para subsequente análise e são utilizadas para criação de modelos em plataformas CAD ou em Sistemas de Informação Georreferenciadas (SIGs).

A captura da refletância pelo pulso do laser no scanner tridimensional é análoga ao funcionamento de um sensor de satélite. O produto gerado é uma imagem com níveis de cinza e terá feição de uma fotografia em preto e branco do local de cobertura. Os pontos individualmente medidos são definidos em função de valores de refletância da seguinte forma: pontos de alta refletância (claros) são exibidos na forma de um pixel cinza claro; pontos de grande absorbância (escuros) são exibidos na forma de um pixel cinza mais escuro e na inexistência de uma medição será exibido um pixel preto. Estes pixels podem ser manipulados para transformar a escala de cinza em cores para maior conveniência.

Um aparelho de scanner 3D possui vários parâmetros que devem ser avaliados em função da necessidade. Cada trabalho pode exigir algo diferente do equipamento, tanto em função de precisão, acurácia ou logística necessária de caso a caso. A seguir são apresentados alguns dos parâmetros de maior relevância.

Divergência do pulso eletromagnético: o raio emitido possui um diâmetro na saída do equipamento que pode variar de poucos milímetros a centímetros. Seu diâmetro aumenta com a distância em que o alvo se apresenta. O diâmetro final vai ser igual ao inicial mais a distância do alvo multiplicado pelo fator de divergência do scanner. Este fator de divergência também varia com o equipamento.

Passo angular: o passo angular se refere ao ângulo que um pulso do laser vai ter de diferença entre o próximo pulso. Quanto menor for o passo angular maior vai ser a precisão da coleta. Um passo angular de 0,002 graus pode gerar pontos distanciados de aproximadamente 3,5 cm um do outro a uma distância de 1000 metros.

Alcance: A refletância do alvo pode fazer variar o alcance de um pulso unitário em centenas de metros. Além disso, o próprio equipamento possui laser e sensor com características que definem o alcance máximo e mínimo do pulso, variando entre distâncias mínimas de 5 metros até máxima de milhares de metros dependendo do alvo e equipamento.

Campo de visão: a base rotativa permite uma rotação horizontal de 360 graus, já na vertical o espelho do equipamento permite uma cobertura de aproximadamente 90 graus. A imagem final gerada poderá ter aparência de uma panorâmica do alvo visado se a cobertura horizontal for muito grande.

Pontos por segundo: vai influenciar diretamente no tempo de coleta dos dados. Os equipamentos atuais têm capacidade de coletar até dezenas de milhares de pontos por segundos

Tamanho e peso: fator a se considerar para organização de logística de campo na coleta dos dados.

Vemos que a divergência do pulso e o passo angular são fatores que influenciam diretamente a acurácia do scanner a laser. Outo fator de grande influência na precisão dos dados coletados é a refletividade da superfície. A refletividade é diferente em função da distância do objeto ao scanner, da atmosfera, do ângulo de incidência do pulso, do albedo da superfície (capacidade de reflexão). Os fatores ambientais também devem ser considerados na busca por maior precisão na coleta. É importante operar o equipamento dentro da temperatura especificada, as condições atmosféricas modificam levemente a velocidade de propagação. Poeira, neblina, e humidade podem gerar erros e dificultam a coleta. A radiação solar também interfere, a onda eletromagnética proveniente do sol é muito forte em relação ao sinal do equipamento e deve-se prevenir ou evitar a coleta sob luz do sol direta.

Há que se fazer um controle de campo quando da necessidade de utilizar o scanner em vários pontos diferentes para integrar a coleta de um único trabalho. Este controle pode ser feito com auxílio de câmeras fotográficas, estações totais, aparelhos GNSS e essencialmente pontos materializados estrategicamente alocados em campo. A instalação do scanner em vários pontos pode ser realizada para análise mais detalhada de uma única superfície ou para a análise de várias superfícies que não são possíveis de visualizar de um único ponto de instalação. O primeiro caso é utilizado para a diminuição de “sombras”, pontos que o laser não consegue captar devido a um obstáculo qualquer ou a rugosidade da própria superfície de estudo.

Poderemos verificar no decorrer deste trabalho que muitos dos estudos realizados sobre o SVLT estão relacionados ao desenvolvimento de algoritmos para o processamento dos dados coletados, de maneira que seja possível identificar feições desejadas automaticamente, seja para motivos de contagem, cadastramento, modelagem, análise ou até para eliminação destas feições do conjunto de dados.

Em várias áreas se usam o SVLT, analisaremos alguns trabalhos voltados para áreas principalmente ambientais e com possíveis usos em ambientes urbanos.

3. USOS DO SVLT

3.1. Árvores e vegetação

O sistema de varredura a laser terrestre está sendo estudado para análise de ambientes florestais no sentido de criar e validar algoritmos para detecção de árvores e criação de base de dados destas espécies. Buck et al. [1] demonstram um método para detecção de árvores a partir de uma nuvem de pontos 3D de plantios florestais. Utilizando apenas uma

seção transversal da nuvem de pontos (cerca de 1 metro), como na Figura 1, com a utilização de um algoritmo de segmentação, foi aplicado um segundo algoritmo para detectar a posição das árvores com base no padrão de alinhamento do povoamento. Este método foi aplicado em povoamentos de *Eucalyptus spp.*, a partir de parcelas circulares levantadas por varreduras simples e múltiplas do SVLT. Este trabalho chega a algumas conclusões que podem ser úteis para muitos trabalhos utilizando o SVLT, como por exemplo: manipulação de forma a excluir itens da nuvem de pontos, contribuindo para a melhoria dos resultados e erros devido ao sombreamento das varreduras simples. Neste caso houve uma subestimativa da quantidade de espécimes presentes nas parcelas quando analisadas com varreduras simples devido ao efeito do sombreamento, no caso das parcelas analisadas com varreduras múltiplas o efeito do sombreamento foi eliminado e 100% das árvores foram identificadas.

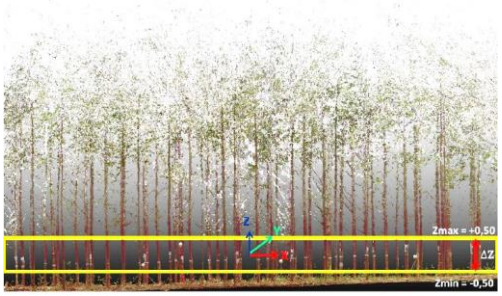

Figura 1. Recorte da nuvem de pontos
Fonte: Buck et al.[1].

Ainda tratando de florestas e vegetação, Liang et al.[2] discutem em seu artigo um estado da arte do uso do SVLT para o registro arbóreo. A nuvem de pontos rapidamente se tornou uma fonte de coleta de dados favorável para modelagem de árvores a partir da introdução do SVLT devido sua rapidez e automação no processo de aquisição das informações e também de sua representação detalhada e tridimensional da árvore.

A modelagem á a base para estimativa das espécies e seus atributos e comumente dois tipos de modelagem são realizados: o primeiro considera a modelagem detalhada de uma única árvore e o segundo considera a modelagem em um nível de ação. O primeiro método possui grande potencial para ser usado em aplicações como simulações e realidade virtual. Neste método apenas uma arvore existe nos dados e a mesma é gravada na nuvem de pontos de maneira mais detalhada possível para a construção de um modelo mais próximo do real, sendo uma boa modelagem para casos em que as árvores estão sozinhas, como em ambientes urbanos, em laboratório, isoladas no campo ou mesmo separadas do resto da nuvem de pontos. Buck et al. [3] apresenta a utilização do SVLT e uma filtragem da nuvem de pontos em função de eliminar aqueles que não representem a superfície do tronco. O segundo método objetiva detectar a maior quantidade possível a partir de um recorte da nuvem de pontos para extrair vários atributos das espécies. Para os dois métodos ainda há como quantizar o nível de detalhe destes modelos, sendo categorizados de 1 a 5, onde o nível 1 é o menos detalhado, sendo possível caracterizar apenas altura da árvore e o diâmetro à altura do peito (DAP) e o nível 1 consegue diferenciar a folhagem, detalhes nos galhos e arbustos [2].

Com estas modelagens são realizadas estimativas de atributos diversos das árvores, como detecção de troncos e densidade de troncos em uma área, diâmetro a altura do peito, altura das árvores, inclinação dos troncos, volume dos troncos, qualidade dos troncos, medidas de biomassa entre outros como mudanças no decorrer do tempo.

3.2. Geomorfologia

Santo et al.[4] utilizam o a técnica SVLT em conjunto com avaliações fotogramétricas em um estudo que avalia a susceptibilidade ao colapso de uma caverna cárstica localizada ao longo de uma encosta no sul da Itália. Na região de estudo, várias cavernas de origem cárstica com volumes variando entre 1000 e mais de 10.000 m³ foram cadastradas e seus processos de formação geológica mais prováveis foram identificados. Este estudo também é referente ao meio urbano, visto que essas cavernas estão em sua maioria localizadas morro acima ou muito próximas de resorts locais. Uma análise geológica, geomorfológica e geoestrutural detalhada foi feita especialmente em uma caverna comprida e profunda (caverna Saraceno) sob a qual o resort "Conca de Marini" foi construído, como mostra a Figura 2A. Com a reconstrução geométrica da caverna e da encosta utilizando os dados do SVLT (modelo tridimensional renderizado como mostra a Figura 2B) foi possível reconstruir o modelo geológico da caverna, conseguindo avaliar os tipos de rocha presentes no local, as possíveis falhas entre rochas e o direcionamento provável do fluxo da agua.

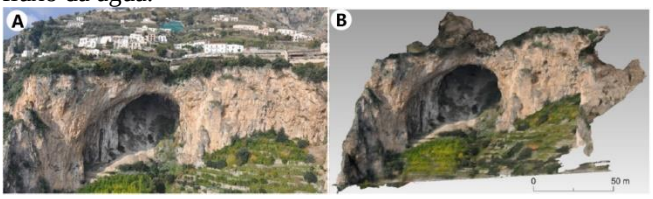

Figura 2. (A) Fotografia do resort (B) Modelo tridimensional com uso do SVLT e integração com fotografias.
Fonte: Santo et al.[4].

Muitos estudos utilizam o SVLT para análise de processos movimentos de massa, como o processo de aparecimento e desenvolvimento erosão.

Neugirg et al.[5] fazem um estudo com pretensão de quantificar e analisar os processos de aparecimento de ravinas e erosão em uma região central da Itália durante um período de um ano. Dados provenientes do SVLT com alta resolução temporal e espacial são utilizados para identificar os processos envolvidos no desenvolvimento das ravinas. Áreas de taludes de teste foram monitoradas com medidas repetitivas do SVLT com a finalidade de analisar as diferenças sazonais. Ainda é possível analisar neste estudo a

utilização de vários pontos de coleta de dados e a integração dos mesmos com dados coletados com aparelhos GNSS, com estação total, fotografias, e também com LiDAR, tudo para a criação do modelo tridimensional e criação de modelo de elevação digital e ortofotografias de toda a região. Na Figura 3A vemos os diversos pontos de instalação do scanner e na figura 3B vemos a configuração da erosão e deposição de massa na área num período entre outubro de 2014 e abril de 2015.

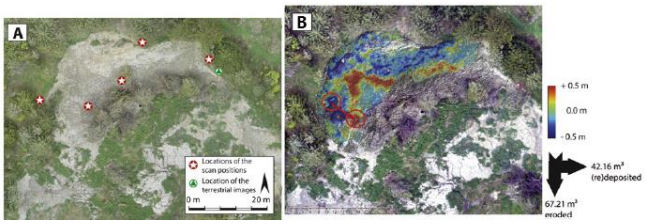

Figura 3. (A) Pontos de instalação do scanner (B) Erosão e deposição de massa.
Fonte: Neugirg et al.[5].

Ainda na questão da geomorfologia podemos citar os estudos de Goodwin et al.[6] e Frodella et al.[7]. Goodwin et al. [6] fazem um estudo da usabilidade do SVLT para quantificar sua acurácia na medição de mudanças geomorfológicas. Em seu estudo foi utilizado o SVLT para testar a repetição na coleta de dados no mapeamento de ravinas, estas coletas foram feitas em grupos de três, uma antes de uma precipitação próxima de 100 mm e duas após a precipitação em dias consecutivos. Para verificar a acurácia do SVLT, houve também coleta de dados usando métodos tradicionais com técnicas de estação totais. Os resultados do trabalho confirmaram que os dados gerados pelo SVLT podem ser utilizados no registro multitemporal em níveis subcentimétricos de acurácia nas três dimensões.

Frodella et al. [7] fazem o monitoramento de quedas de rochas durante o período de um ano na cidade de San Leo na Itália. A cidade é locada no topo de um massivo rochoso isolado e em fevereiro de 2014, o setor nordeste do massivo entrou em colapso. Pequenos danos estruturais foram sentidos na área urbana e alguns edifícios foram evacuados por precaução. Apesar de não ocorre nenhuma fatalidade e nem perdas de patrimônios culturais, quedas rochosas de menor intensidade continuaram acontecendo na nova formação rochosa, piorando a situação já em risco (Figura 4). Em função disso, um sistema de monitoramento, baseado em técnicas de sensoriamento remoto, incluindo o SVLT, foi desenvolvido para monitorar a deformação do solo na área investigada e quantificar o risco residual.

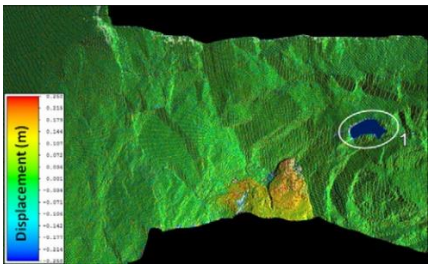

Figura 4. Composição entre scans de 7/março e 9/abril mostra o primeiro destaque de rocha (área azul) e o setor caracterizado pela deposição das mesmas (áreas amarelas).
Fonte: Frodella et al.[7].

3.3 Ambientes urbanos

A maioria dos artigos apresentados mostraram métodos e estudos utilizados em meios urbanos ou que tem possibilidades para ser utilizados nas cidades

Enquanto a tecnologia de hardwares continua avançando, o processamento de nuvens de pontos 3D em modelos informativos continua complexa e consumindo enorme quantia de tempo [8]. Neste sentido, temos o trabalho de Yang et al. (2016) que propõe um método de tratamento dos dados, baseado em análise geométrica e semântica dos pontos coletados de modo a transformar a nuvem de pontos em um modelo geométrico preciso do local. Primeiramente, ele analisa a geometria dos objetos para classificação (construção, carros, postes), em seguida um algoritmo vai delinear esses objetos por meio de algumas limitações geométricas propostas e finalmente vai construir um modelo análogo ao da nuvem de pontos, mas eliminando a vastidão de dados da nuvem. Este trabalho mostra uma grande eficiência em ambientes urbanos e em cenários internos. Mahmoudabadi et al. [8] explora a possibilidade de segmentar automaticamente os dados coletados na nuvem de pontos pelo SVLT de maneira estruturada usando algoritmos. Usualmente, os métodos mais comuns para segmentação da nuvem de pontos a laser requerem trabalho manual considerável, usando na maioria das vezes abordagens com extensa complexidade e acurácia limitada [8]. Neste sentido temos trabalhos como Yang et al. [9], que propõe um método de tratamento de dados baseado em análise geométrica e semântica dos dados de modo a transformar a nuvem de pontos em um modelo geométrico preciso do local. Trabalhos como de Zhang et al. [10] e Li et al. [11] também podem ser citados, estes também desenvolvem algoritmos para análise dos dados no SVLT para a construção e modelagem de modelos tridimensionais em escalas urbanas.

Ainda no meio urbano, O SVLT é utilizado com frequência para análise e acompanhamento de estruturas de um modo geral. Rabah et al. (2013)[12] apresentam um estudo para detecção e mapeamento automático de fissuras no concreto. Yang et al. [13] utilizam o SVLT para fazer uma análise da deformação de estruturas em arco e também uma modelagem de sua geometria. Kim et al. [14] utilizam o

SVLT para fazer a avaliação do controle de qualidade dimensional na instalação de painéis do concreto pré-moldados.

Armesto et al. [15] desenvolveu uma metodologia para estimar a deformação de arcos utilizando cortes provenientes do modelo digital. A geometria exata dos arcos foi obtida através de levantamento com SVLT e a nuvem de pontos processadas por um algoritmo capaz de gerar superfícies e seções transversais [16].

É possível encontrar também muitos trabalhos na literatura referentes ao acompanhamento geométrico e estrutural de túneis. Wang et al. [17] fazem um estado da arte sobre o assunto e demonstram como o scanner pode auxiliar na detecção de características geológicas, monitoramento da geometria durante os processos de escavação, realização de medidas de deformação e outras medições pertinentes.

4. REFERÊNCIAS

[1] Buck, A. L. B., Lingnau, C., Machado, Á. M. L., & Netto, S. P. (2017). Detecção De Árvores Em Nuvens De Pontos De Varredura Laser Terrestre. *Boletim De Ciências Geodésicas*, *23*(1), 21–38.

[2] Liang, X., Kankare, V., Hyyppä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., … Vastaranta, M. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *115*, 63–77.

[3] Buck, A. L. B., Silva, M. N., Lingnau, C., Machado, Á. M. L., & Neto, R. P. M. (2014). Um algoritmo para filtragem do tronco em nuvem de pontos laser terrestre de árvores de pinus spp. *Boletim De Ciências Geodésicas*, *20*(4), 806–829.

[4] Santo, A., Budetta, P., Forte, G., Marino, E., & Pignalosa, A. (2017). Karst collapse susceptibility assessment: A case study on the Amalfi Coast (Southern Italy). *Geomorphology*, *285*, 247–259.

[5] Neugirg, F., Stark, M., Kaiser, A., Vlacilova, M., Seta, M. D., Vergari, F., … Haas, F. (2016). Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys. *Geomorphology*, *269*, 8–22.

[6] Goodwin, N. R., Armston, J., Stiller, I., & Muir, J. (2016). Assessing the repeatability of terrestrial laser scanning for monitoring gully topography: A case study from Aratula, Queensland, Australia. *Geomorphology*, *262*, 24–36.

[7] Frodella, W., Ciampalini, A., Gigli, G., Lombardi, L., Raspini, F., Nocentini, M., … Casagli, N. (2016). Synergic use of satellite and ground based remote sensing methods for monitoring the San Leo rock cliff (Northern Italy). *Geomorphology*, *264*, 80–94.

[8] Mahmoudabadi, H., Olsen, M. J., & Todorovic, S. (2016). Efficient terrestrial laser scan segmentation exploiting data structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *119*, 135–150.

[9] Yang, B., Dong, Z., Liang, F., & Liu, Y. (2016). Automatic registration of large-scale urban scene point clouds based on semantic feature points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *113*, 43–58.

[10] Zhang, L., Li, Z., Li, A., & Liu, F. (2018). Large-scale urban point cloud labeling and reconstruction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *138*, 86–100.

[11] Li, L., Li, D., Zhu, H., & Li, Y. (2016). A dual growing method for the automatic extraction of individual trees from mobile laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *120*, 37–52.

[12] 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.

[13] Yang, H.; Omidalizarandi, M.; Xu, X.; Neumann, I. Terrestrial laser scanning technology for deformation monitoring and surface modeling of arch structures. *Composite Structures*, v. 169, p. 173–179, 2017.

[14] Kim, M.-K.; Sohn, H.; Chang, C.-C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. *Automation in Construction*, v. 45, p. 163–177, 2014.

[15] 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

[16] Pavi, S; Bordin, F; Veronéz, M. R. O potencial do uso do laser scanner terrestre para a identificação de manifestações patológicas em obras de arte especiais: uma revisão bibliográfica. *Anais do X Congresso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras*, Chile, 2014

[17] Wang, W.; Zhao, W.; Huang, L.; Vimarlund, V.; Wang, Z. Applications of terrestrial laser scanning for tunnels: a review. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, v. 1, n. 5, p. 325–337, 2014.