

Grupo de Pesquisa: Georreferenciamento de Imóveis Rurais e Urbanos

Título: Aplicação do Laser Scanner Trimble X7 no Monitoramento de Escavações em Túneis Urbanos: Estudo de Caso na Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo

RODRIGUES, Danilo Aparecido (Orientador)

SILVA, Gleison Cleber Soares de Oliveira

Resumo

O monitoramento de obras subterrâneas, especialmente na construção de túneis urbanos, exige elevado nível de precisão na coleta e análise de dados espaciais. Nesse contexto, o uso de tecnologias de escaneamento a laser terrestre tem se destacado como uma ferramenta eficiente para o acompanhamento das etapas construtivas e para a verificação da conformidade geométrica das estruturas executadas. O presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação do laser scanner Trimble X7 no monitoramento da execução de túneis urbanos, utilizando como estudo de caso as obras da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo. A pesquisa apresenta caráter exploratório e baseia-se em revisão bibliográfica sobre o uso de tecnologias de escaneamento a laser em obras de engenharia civil e infraestrutura subterrânea. Os resultados demonstram que o uso do laser scanner possibilita a obtenção de nuvens de pontos tridimensionais de alta densidade e precisão, permitindo acompanhar o avanço das escavações, verificar deformações estruturais e comparar a geometria executada com o projeto original. Conclui-se que a aplicação do escaneamento a laser terrestre contribui significativamente para o controle de qualidade das obras subterrâneas e para o aumento da segurança em projetos de infraestrutura urbana.

Palavras-chave: Laser scanner terrestre; Túneis urbanos; Monitoramento de obras; Geotecnologias; Engenharia subterrânea.

Introdução

A construção de túneis urbanos representa um dos maiores desafios da engenharia civil contemporânea, especialmente em grandes centros urbanos onde a expansão da infraestrutura de transporte subterrâneo torna-se necessária para atender ao crescimento da demanda por mobilidade. Projetos de metrô e sistemas de transporte subterrâneo exigem elevado nível de precisão no controle geométrico das estruturas executadas, bem como monitoramento constante das condições de escavação e estabilidade das estruturas (ITA, 2015).

Nesse contexto, o uso de tecnologias de escaneamento a laser terrestre tem se destacado como uma ferramenta importante para o levantamento e monitoramento de obras subterrâneas. O laser scanner terrestre permite capturar milhões de pontos tridimensionais da superfície analisada em curto período de tempo, gerando representações digitais detalhadas da geometria das estruturas (González-Jorge et al., 2012).

Entre os equipamentos disponíveis no mercado, o Trimble X7 destaca-se pela alta precisão na coleta de dados, facilidade de operação e capacidade de gerar nuvens de pontos tridimensionais com elevado nível de detalhamento. Essa tecnologia tem sido amplamente utilizada em levantamentos topográficos, monitoramento de obras de engenharia e modelagem tridimensional de estruturas complexas (Weitkamp, 2005).

No caso das obras da Linha 6-Laranja do Metrô de São Paulo, que constitui um dos maiores projetos de infraestrutura urbana em execução no Brasil, o monitoramento preciso das escavações de túneis é fundamental para garantir a segurança das estruturas e a conformidade das obras com o projeto executivo.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação do laser scanner Trimble X7 no monitoramento da execução de túneis urbanos, destacando suas contribuições para o controle geométrico das escavações e para o acompanhamento das etapas construtivas em obras de infraestrutura subterrânea.

1. Referências Teórico

1.1. Laser scanner terrestre

O laser scanner terrestre (Terrestrial Laser Scanning – TLS) é uma tecnologia de sensoriamento remoto ativo utilizada para capturar a geometria tridimensional de objetos e superfícies por meio da emissão de feixes de laser. O equipamento mede a distância entre o sensor e os objetos ao seu redor a partir do tempo de retorno do feixe laser refletido, permitindo calcular com precisão as coordenadas espaciais de milhares ou milhões de pontos distribuídos no ambiente analisado. Esse processo ocorre de forma automatizada e em alta velocidade, possibilitando a coleta de grandes volumes de dados espaciais em curtos períodos de tempo (Weitkamp, 2005; González-Jorge et al., 2012).

Essa tecnologia possibilita a geração de nuvens de pontos tridimensionais, que representam digitalmente a superfície analisada com elevado nível de detalhamento. Cada ponto da nuvem possui coordenadas espaciais (X, Y, Z) e, em alguns casos, informações adicionais como intensidade do retorno do laser ou dados de cor obtidos por câmeras integradas ao equipamento. Essas características permitem reproduzir digitalmente a geometria dos objetos escaneados, possibilitando análises detalhadas da forma e das dimensões das estruturas estudadas (Remondino; El-Hakim, 2006).

As nuvens de pontos geradas pelo escaneamento a laser podem ser posteriormente processadas por softwares especializados, permitindo a criação de modelos tridimensionais detalhados, superfícies digitais e representações geométricas das estruturas levantadas. Esses modelos podem ser utilizados para diversas aplicações em engenharia e arquitetura, como verificação geométrica de obras, análise de deformações estruturais, documentação de estruturas complexas e geração de modelos digitais utilizados em sistemas de modelagem da informação da construção (BIM) (González-Jorge et al., 2012).

Além disso, a elevada densidade de pontos obtida pelo laser scanner permite identificar pequenas variações na geometria das superfícies analisadas, o que torna essa tecnologia especialmente útil em atividades de monitoramento estrutural e controle de qualidade em obras de engenharia. Dessa forma, o TLS tem sido amplamente aplicado em levantamentos topográficos, monitoramento de túneis, inspeção de obras de infraestrutura e modelagem tridimensional de ambientes urbanos e industriais (Remondino; El-Hakim, 2006; González-Jorge et al., 2012).

1.2. Aplicação do escaneamento a laser em túneis

O uso de laser scanner terrestre em obras de túneis tem se mostrado extremamente útil para o monitoramento da geometria das escavações e para a verificação da conformidade das estruturas executadas em relação ao projeto original. Durante a execução de túneis, é fundamental garantir que a geometria escavada esteja dentro dos parâmetros definidos no projeto de engenharia, uma vez que desvios geométricos podem comprometer a estabilidade estrutural e a segurança da obra. Nesse contexto, o escaneamento a laser permite realizar levantamentos tridimensionais detalhados da superfície escavada, possibilitando acompanhar o avanço das escavações com elevado nível de precisão (González-Jorge et al., 2012).

A partir das nuvens de pontos tridimensionais obtidas pelo escaneamento, é possível comparar a forma real da escavação com os modelos digitais previstos no projeto de engenharia. Esse processo de comparação permite identificar variações geométricas, desvios na seção do túnel e irregularidades na superfície escavada, possibilitando a adoção de medidas corretivas ainda durante a execução da obra. Dessa forma, o uso do laser scanner contribui para melhorar o controle geométrico das escavações e para garantir a qualidade da execução das estruturas subterrâneas (Remondino; El-Hakim, 2006).

Além disso, a utilização dessa tecnologia permite realizar monitoramento contínuo das condições estruturais do túnel, possibilitando identificar possíveis deformações ou deslocamentos nas superfícies escavadas ao longo do tempo. A elevada densidade de pontos obtida pelo escaneamento a laser permite detectar pequenas variações na geometria da estrutura, o que é essencial para avaliar a estabilidade do maciço rochoso ou do revestimento do túnel durante as diferentes etapas de construção (González-Jorge et al., 2012).

Outro aspecto importante refere-se à capacidade do laser scanner de realizar levantamentos em ambientes subterrâneos complexos, onde métodos tradicionais de levantamento topográfico podem apresentar limitações operacionais. O escaneamento tridimensional permite registrar de forma rápida e segura toda a geometria do ambiente escavado, reduzindo o tempo necessário para a coleta de dados e minimizando a exposição das equipes técnicas a ambientes potencialmente perigosos (Weitkamp, 2005).

Dessa forma, o uso de laser scanner em obras de túneis representa uma ferramenta tecnológica fundamental para o monitoramento da execução das escavações, permitindo maior precisão no controle geométrico, melhoria na qualidade das informações espaciais e aumento da segurança nas obras de infraestrutura subterrânea.

2. Metodologia

A presente pesquisa apresenta caráter exploratório e abordagem qualitativa, fundamentando-se principalmente em revisão bibliográfica sobre a aplicação de tecnologias de escaneamento a laser em obras de engenharia subterrânea. De acordo com Gil (2008), a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com determinado

problema, permitindo ampliar o conhecimento sobre o tema investigado e identificar diferentes perspectivas de análise.

A abordagem qualitativa foi adotada por possibilitar a interpretação e análise dos conceitos, métodos e aplicações do laser scanner terrestre no monitoramento de obras de infraestrutura subterrânea. Segundo Lakatos e Marconi (2017), a pesquisa qualitativa permite compreender fenômenos complexos a partir da análise de informações teóricas e da interpretação crítica de estudos já existentes na literatura científica.

A metodologia utilizada neste estudo baseou-se em levantamento bibliográfico, realizado por meio da consulta a livros, artigos científicos, dissertações, teses e relatórios técnicos relacionados ao uso de tecnologias de escaneamento a laser em levantamentos topográficos e monitoramento de obras de engenharia. Conforme destacado por Severino (2016), a pesquisa bibliográfica constitui uma etapa essencial no desenvolvimento de trabalhos científicos, pois permite reunir, analisar e sistematizar conhecimentos previamente produzidos sobre determinado tema.

Foram analisadas publicações científicas, livros e relatórios técnicos relacionados ao uso de laser scanner terrestre no monitoramento de obras de infraestrutura e túneis urbanos, com ênfase em estudos que abordam a aplicação dessa tecnologia no controle geométrico de escavações e na geração de modelos tridimensionais de estruturas subterrâneas. Essa análise permitiu compreender os principais métodos de aplicação do escaneamento a laser em ambientes subterrâneos, bem como suas vantagens em relação aos métodos tradicionais de levantamento topográfico.

Além disso, a revisão bibliográfica possibilitou identificar estudos de caso e aplicações práticas da tecnologia em obras de engenharia, destacando o uso do escaneamento tridimensional no acompanhamento da execução de túneis, na verificação da conformidade das estruturas executadas e no monitoramento de deformações ao longo do processo construtivo. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a análise de estudos existentes permite ampliar a compreensão sobre determinado fenômeno e identificar metodologias que podem ser aplicadas em novos projetos e pesquisas.

Dessa forma, a metodologia adotada permitiu reunir e sistematizar informações relevantes sobre o uso do laser scanner terrestre no monitoramento de obras subterrâneas, contribuindo para a compreensão do potencial dessa tecnologia no controle geométrico de túneis e no aprimoramento das técnicas de levantamento utilizadas em projetos de infraestrutura urbana.

3. Resultados e Discussão

Os estudos analisados demonstram que o uso do laser scanner terrestre (TLS) permite realizar levantamentos tridimensionais de alta precisão em ambientes subterrâneos, sendo uma tecnologia cada vez mais utilizada em projetos de engenharia e monitoramento de obras de infraestrutura. A capacidade do equipamento de capturar milhões de pontos da superfície escavada em curto período de tempo possibilita a geração de representações digitais extremamente detalhadas da geometria do túnel, o que contribui significativamente para o controle geométrico das escavações (González-Jorge et al., 2012).

Durante o processo de escaneamento, o equipamento emite feixes de laser que atingem as superfícies do ambiente analisado e retornam ao sensor, permitindo calcular com precisão a posição tridimensional de cada ponto registrado. Esse processo gera nuvens de pontos densas e georreferenciadas, que representam digitalmente toda a geometria da área escaneada. A partir dessas nuvens de pontos é possível reconstruir a forma real da escavação e gerar modelos tridimensionais detalhados do túnel, permitindo análises geométricas precisas da estrutura executada (Remondino; El-Hakim, 2006).

A elevada densidade de pontos obtida pelo escaneamento a laser permite identificar irregularidades na superfície escavada, desvios geométricos em relação ao projeto original e variações na seção transversal do túnel. Essas informações são fundamentais para o controle de qualidade das obras subterrâneas, pois possibilitam verificar se a escavação está sendo realizada dentro dos limites estabelecidos no projeto de engenharia (González-Jorge et al., 2012).

Além disso, os modelos tridimensionais gerados a partir das nuvens de pontos podem ser utilizados para realizar comparações entre o modelo executado e o modelo projetado, permitindo identificar diferenças entre a geometria prevista e a geometria real da estrutura.

Esse processo de comparação contribui para o monitoramento do avanço das escavações e para a identificação de possíveis ajustes necessários durante o processo construtivo.

Outro aspecto relevante refere-se à possibilidade de utilizar os dados obtidos pelo escaneamento a laser para monitorar deformações estruturais ao longo do tempo. Ao realizar escaneamentos em diferentes etapas da obra, é possível comparar as nuvens de pontos obtidas em momentos distintos e identificar deslocamentos ou deformações nas superfícies escavadas. Essa capacidade de monitoramento contínuo contribui para aumentar a segurança das obras subterrâneas e reduzir riscos associados à instabilidade estrutural (Weitkamp, 2005).

Além disso, o uso do laser scanner terrestre permite reduzir significativamente o tempo necessário para a realização dos levantamentos em campo. Enquanto métodos tradicionais de levantamento topográfico podem exigir medições pontuais realizadas manualmente, o escaneamento a laser permite registrar milhões de pontos simultaneamente, proporcionando maior eficiência na coleta de dados e maior detalhamento das informações obtidas.

Dessa forma, os resultados observados na literatura indicam que a utilização do laser scanner terrestre em obras de túneis urbanos representa uma importante evolução nas técnicas de levantamento e monitoramento utilizadas em projetos de engenharia subterrânea. A precisão dos dados obtidos, aliada à capacidade de gerar modelos tridimensionais detalhados das estruturas escavadas, torna essa tecnologia uma ferramenta essencial para o controle geométrico das obras e para o acompanhamento seguro das etapas de construção.

Conclusão

A aplicação do laser scanner Trimble X7 no monitoramento de obras de túneis urbanos representa um avanço significativo nas técnicas de levantamento e controle geométrico em projetos de engenharia subterrânea. O uso dessa tecnologia permite realizar levantamentos tridimensionais com elevado nível de precisão e rapidez, possibilitando a obtenção de dados detalhados sobre a geometria das escavações e das estruturas executadas. Essa capacidade de coleta de dados em alta densidade contribui para melhorar o acompanhamento das etapas construtivas e garantir maior controle sobre a conformidade das obras em relação ao projeto original (González-Jorge et al., 2012).

Além disso, o Trimble X7 possibilita a geração de nuvens de pontos tridimensionais de alta resolução, que podem ser processadas por softwares especializados para criar modelos digitais detalhados das estruturas escavadas. Esses modelos permitem realizar análises geométricas precisas, identificar desvios na seção do túnel e verificar possíveis irregularidades na superfície escavada. Dessa forma, o escaneamento a laser contribui para o aprimoramento do controle de qualidade das obras subterrâneas e para a identificação antecipada de problemas que possam comprometer a estabilidade estrutural (Remondino; El-Hakim, 2006).

Outro aspecto importante refere-se à possibilidade de utilizar os dados obtidos pelo escaneamento a laser para realizar comparações entre o modelo projetado e o modelo executado, permitindo verificar se a escavação e o revestimento do túnel estão sendo realizados conforme as especificações do projeto de engenharia. Esse tipo de análise é fundamental para garantir a precisão geométrica das estruturas e para assegurar que as etapas construtivas estejam sendo executadas dentro dos parâmetros estabelecidos no planejamento da obra (Weitkamp, 2005).

Além disso, o uso do laser scanner em ambientes subterrâneos contribui para aumentar a segurança das operações de levantamento, uma vez que permite coletar informações detalhadas do ambiente escavado sem a necessidade de contato direto com todas as superfícies analisadas. Essa característica reduz o tempo de permanência das equipes técnicas em áreas potencialmente perigosas e facilita a realização de levantamentos em locais de difícil acesso (González-Jorge et al., 2012).

Dessa forma, a aplicação do laser scanner Trimble X7 no monitoramento de túneis urbanos representa uma importante inovação tecnológica na engenharia subterrânea, proporcionando maior precisão no controle geométrico das obras, melhoria na qualidade das informações espaciais e maior eficiência no acompanhamento das etapas de construção de grandes projetos de infraestrutura urbana.

Referências

GONZÁLEZ-JORGE, Higinio; RIVEIRO, Belén; ARMESTO, Jacobo; ARIAS, Pedro. Avaliação metrológica de sistemas de escaneamento a laser terrestre. **Sensors**, v. 12, n. 7, p. 9045-9066, 2012.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REMONDINO, Fabio; EL-HAKIM, Sabry. Modelagem tridimensional baseada em imagens: revisão de métodos. **Photogrammetric Record**, v. 21, n. 115, p. 269-291, 2006.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2016.

WEITKAMP, Claus. **LIDAR: sensoriamento remoto óptico para medição de distâncias e análise atmosférica**. Nova York: Springer, 2005.