

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SENSOR LiDAR NA MEDIÇÃO DE DESNÍVEIS.

Mauro Menzori

Professor – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
R. Paschoal Marmo, 1888 - Jd. Nova Itália - CEP: 13484-332 - Limeira, SP.
E-mail: mauro@ft.unicamp.br

Christian Larouche

Professor – Laval Université Laval Québec
Pavillon Louis-Jacques-Casault 1055, Avenue du Séminaire – Québec - CA
E-mail: christian.larouche@scg.ulaval.ca

Resumo: Light Detection And Ranging (LiDAR) é uma tecnologia que surgiu nos últimos anos como uma das melhores tecnologias para se capturar informações tridimensionais de feições que existem na superfície da Terra e até mesmo em seu interior. As medições LiDAR podem ser feitas de maneira estática com o sensor, ou escâner, fixo em um tripé, que nesse caso, recebe o nome de Terrestrial LiDAR Sensor (TLS). As medições também podem ser feitas em movimento, com o escâner fixo em uma plataforma que é transportada por aeronaves, carros, barcos e até mesmo em veículos especiais que trabalham em minas subterrâneas e galerias. Nessa segunda forma de medição o escâner é chamado de Mobile LiDAR Sensor (MLS). Para ser operado em movimento o escâner é conectado a um Sistema de Navegação Inercial (INS) e a um receptor de dupla frequência, que capta os sinais transmitidos por satélites GNSS. Assim o MLS obtém, respectivamente, a orientação e a posição da plataforma e consequentemente a sua posição georreferenciada durante o trajeto. O foco do estudo aqui apresentado foi avaliar a qualidade de distâncias verticais medidas em uma nuvem de pontos adquirida com um escâner TLS. Nesse estudo foi capturada uma nuvem de pontos na fachada de um edifício onde algumas distâncias verticais foram medidas para serem comparadas com as mesmas distâncias medidas feitas com o uso de Estação Total e aplicando um método topográfico convencional para medir distâncias verticais ou desníveis.

Palavras-chave: LiDAR, Nuvem de Pontos, Escâner Terrestre, Topografia, Desnível.

LiDAR SENSOR PERFORMANCE ANALYSIS IN MEASUREMENT OF LEVELS.

Abstract: Light Detection And Ranging (LiDAR) is a technology that arose in the last years as one of the best technologies to capture tridimensional information about features on the Earth's surface. LiDAR measurements can be carried out over the ground in a static mode with the scanner fixed on a tripod. This mode is known as Terrestrial LiDAR (TLS). Measurements with LiDAR technology can also be acquired in a kinematic method when the scanner is assembled over a platform and transported on aircrafts, cars, boats and even in special vehicles that operate in underground mines and galleries. That second mode is called Mobile LiDAR (MLS) where LiDAR scanner is connected to an Inertial Navigation System (INS) and a dual frequency GNSS receiver that respectively provide the orientation and the position of the platform and consequently the direct georeferencing. This paper focus is to evaluate the quality of some vertical distances measured over point clouds acquired with a TLS scanner. This study has captured one point cloud of a building and some vertical distances were measured on its façade to be compared to the same vertical distances measured with a conventional topographic technique using Total Station.

KeyWords: LiDAR, Point Cloud, Terrestrial Scanner, Topography, Levelling.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento a respeito do ambiente sempre foi de fundamental importância para os trabalhos de engenharia e sempre foi muito difícil de produzir. Mesmo empregando as mais avançadas técnicas disponíveis, como a topografia de precisão, que usa os métodos e instrumentos que são considerados como a última palavra em tecnologia, a exemplo da estação total robotizada e dos receptores GNSS que trabalham no método real time kinematic (RTK), a

reprodução de uma parcela da superfície física da Terra na forma de um modelo digital de terreno (MDT) é uma tarefa de alto custo e requer um longo período de medições.

A tecnologia Light Detection And Ranging (LiDAR) é uma tecnologia relativamente nova que tem auxiliado na aquisição rápida e precisa de dados a respeito do ambiente tridimensional. Trata-se de um método de sensoriamento remoto que emprega escâneres digitais que podem ser transportados por uma pessoa ou em veículos, para medir conjuntos de pontos tridimensionais, criando o que se chama de nuvens de pontos. O escâner é um sensor que produz informações tridimensionais de alta precisão a respeito das características de superfícies, objetos, pessoas e coisas.

Um escâner LiDAR é capaz de capturar milhares de pontos por segundo, medir as suas coordenadas tridimensionais e registrar as suas características de cor, significando dizer que ele é capaz de medir e capturar pontos que reproduzem de forma digital o ambiente 3D real (Crosby, 2011). Esse ambiente virtual pode, então, ser gerenciado e manipulado com o uso de programas computacionais especialmente desenvolvidos para se fazer o tratamento das nuvens de pontos. Algumas fotos de alta resolução são batidas durante o processo de captura dos pontos, de forma a associar cada um deles à sua verdadeira cor no mundo real.

O conceito básico da medição é o mesmo utilizado em métodos topográficos clássicos, onde a partir de uma posição de coordenadas conhecidas pode-se medir as coordenadas 3D de um novo ponto localizado a certa distância e segundo um azimute conhecido. A principal diferença, no entanto, é que usando a tecnologia LiDAR, muitos milhares de pontos são medidos, com alta precisão, em poucos minutos. Um escâner LiDAR mede o tempo que um feixe de luz leva para ser refletido em alguma superfície e retornar para ele.

Numa abordagem simples, podemos dizer que o azimute que vai do escâner LiDAR até um ponto considerado é determinado em função da orientação interna do escâner. A distância até cada um dos pontos 3D é medida através de um feixe de luz, que após ser disparado reflete no ponto e retorna para o escâner fornecendo a distância em função do seu tempo de propagação. Uma vez que a posição do escâner seja conhecida pode-se calcular a posição 3D do ponto, através de cálculo vetorial. Alguns escâneres LiDAR empregam a técnica de mudança de fase, “*phase shift technique*”, para medir as distâncias. Essa técnica compara a onda que retorna ao sensor com a onda inicial contida no feixe de luz disparado, e, dessa forma, obtém a diferença de tempo que a onda levou para chegar ao ponto e retornar ao escâner. A técnica da mudança de fase baseia-se na modulação da amplitude da luz emitida pelo escâner e na medição da diferença de fase entre a luz emitida e a luz recebida. Uma vez que a diferença de fase ($\Delta\phi$), a modulação, a frequência (f) e a velocidade da luz (c) são conhecidas, a distância pode ser determinada por:

$$d = c \frac{t}{2} = \frac{c \Delta\phi}{4\pi f} \quad (1)$$

Esse tipo de escâner tem a capacidade de medir algo em torno de 100.000 pontos por segundo, com precisão de milímetro. Segundo Cox (2015) outros tipos de escâneres LiDAR medem a distância empregando a técnica do feixe de luz pulsado, conhecida como “*pulsed time of flight technique*” e conseguem medir até 50.000 pontos por segundo, com precisão que varia de 3 a 6 milímetros. Em trabalhos onde a rapidez de cobertura de grandes áreas é mais importante do que a precisão dos detalhes esse tipo de escâner é o mais indicado.

Particularmente, o escâner LiDAR Terrestre (TLS) usa a técnica de mudança de fase, “*phase shift technique*”, sendo mais indicado para trabalhos onde a clareza dos detalhes é mais importante do que o tempo de imageamento. Devido às suas limitações de alcance ele é indicado para ser utilizado em ambientes fechados, como a parte interna de salas e galpões ou, então, em pequenas áreas externas. Conceitualmente parecido com alguns instrumentos topográficos

convencionais, como a estação total, o escâner LiDAR difere deles pelo fato de possuir um prisma rotativo que espalha o feixe de laser varrendo em 360 graus certo plano vertical. O escâner LiDAR terrestre (TLS) também executa um lento movimento circular horizontal em torno da linha vertical que passa sobre o seu centro óptico, e por esse motivo, ele faz simultaneamente uma varredura horizontal medindo o retorno do feixe de raios e registrando todos os pontos existentes no ambiente 3D real dentro da sua área de cobertura.

Assim como o TLS, o escâner LiDAR móvel (MLS) também possui um sistema rotativo para espalhar o feixe de laser e varrer o plano vertical em 360 graus, mas, não executa o movimento circular horizontal. Para capturar os detalhes de interesse, o MLS é transportado em uma plataforma fixa em um veículo que se desloca pela área de interesse, fazendo com que a sua cobertura seja praticamente ilimitada. A velocidade do veículo determina o espaçamento entre dois planos verticais de captura.

São esses milhares de pontos digitalmente registrados que geram o que se chama de nuvem de pontos, independente de eles terem sido capturados usando um sensor fixo (TLS) ou um sensor móvel (MLS). Apesar da tecnologia LiDAR ter sido criada na década de 1970 e as nuvens de pontos não serem um produto tão recente, ela chegou às atividades da engenharia brasileira apenas na última década.

A grande quantidade de pontos existentes em uma nuvem permite reproduzir qualquer superfície com elevada fidelidade e, particularmente, a superfície do terreno pode ser produzida com elevado grau de confiabilidade. Segundo Ballesteros et All (2014), a nuvem de pontos é um dos recursos empregados para gerar o que se conhece como Dense Surface Matching (DSM) uma modelagem altimétrica digital do terreno e também para gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT), um produto largamente utilizado em obras de Engenharia e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Uma nuvem de pontos contém o registro de todas as feições existentes no entorno da posição do escâner, dentro dos seus limites de captura, e contém muitos elementos de interesse vertical, como os vãos das pontes, as torres de transmissão, os postes e as fachadas dos prédios e edifícios.

O presente estudo foi desenvolvido no sentido de verificar a compatibilidade das distâncias verticais medidas em nuvens de pontos capturadas com um Terrestrial Lidar Sensor (TLS), quando comparadas com as mesmas distâncias verticais medidas usando o método trigonométrico de nivelamento, que é um procedimento clássico da Topografia, consagrado e reconhecido em trabalhos de engenharia por medir desníveis e distâncias verticais com precisão centimétrica.

1.1 CAPTURA DA NUVEM DE PONTOS

Quando usamos a tecnologia LIDAR precisamos definir claramente os objetivos do trabalho para escolher um tipo adequado de escâner e para aplicar o melhor método de captura dos pontos 3D, uma vez que métodos diferentes de captura requerem maneiras diferentes de se fazer as medições com um scâner LiDAR.

Usando um escâner LiDAR terrestre (TLS), que tem um alcance considerado pequeno por cobrir, no máximo, um raio de 200 metros a partir da sua posição, e, trabalhando em uma posição fixa, é quase sempre impossível se concluir o imageamento de uma área porque surgem as chamadas zonas de oclusão, que são regiões não mapeadas localizadas atrás de algumas superfícies que forcem o retorno do feixe de luz ao sensor, sem registrar o que de fato interessa,

requerendo que o sensor TLS seja posicionado em outras posições para fazer uma captura completa.

As atividades executadas em uma posição, os registros e os arquivos produzidos constituem o que se conhece como sessão de captura. O imageamento de uma grande área usando um escâner TLS, portanto, pode exigir mais de uma sessão de captura, levando à produção de vários arquivos de pontos capturados.

A nuvem de pontos que é produzida a partir de cada uma das posições do escâner é, a princípio, um arquivo independente, com o seu próprio sistema de coordenadas, e, todos os pontos 3D nela contidos estão referidos a esse sistema individual.

As várias nuvens de pontos individuais que são produzidas em um trabalho precisam ser ligadas digitalmente umas às outras para produzir uma nuvem de pontos única que representa em formato digital 3D o ambiente real capturado. Para se fazer a conexão entre diferentes nuvens de pontos usam-se pontos que aparecem claramente identificados em duas ou mais nuvens vizinhas e, para assegurar essa clareza na identificação, usam-se alvos, que podem ser esferas ou impressos em papel, colocados entre as posições onde o escâner fará as sessões de captura. A escolha dos locais para o posicionamento dos alvos requer um planejamento prévio à sessão de captura para evitar que eles sejam capturados numa condição de coplanaridade horizontal ou de coplanaridade vertical.

Espera-se que os resultados das medições feitas com escâneres da tecnologia LiDAR apresentem compatibilidade com os resultados obtidos com técnicas convencionais de medição, independente do tipo de escâner utilizado. Do ponto de vista vertical, há que existir compatibilidade nos desníveis entre pontos no terreno e nas distâncias verticais de uma mesma feição, seja essa feição uma árvore, um poste de iluminação ou a fachada de um edifício.

2. ESTUDO DE CASO

Alguns locais foram vistoriados no interior do Campus da Laval Université, buscando aquele que oferecesse as condições mais adequadas para se fazer a coleta de dados que seriam usados no estudo. O local deveria ser amplo e aberto, com alguma variação vertical e com posições desobstruídas onde o escâner terrestre pudesse ser posicionado para realizar as sessões de captura e assim capturar nuvens de pontos de boa qualidade. A cobertura vegetal também foi levada em conta na escolha do local de interesse porque o programa computacional de processamento de nuvens de pontos considera como sendo da mesma classe os pontos na fachada dos edifícios e os pontos nas árvores e nos postes que se encontram muito próximos à ela. Em função disso, um local com pouca ou nenhuma cobertura vegetal foi escolhido evitando que o programa computacional se confundisse no momento da seleção dos pontos para se fazer as medições verticais na nuvem. Certamente, fazendo um trabalho de edição da nuvem de pontos, poder-se-ia limpar manualmente a superfície virtual da fachada, removendo as árvores e os arbustos que existissem sobre ela, desenvolvendo uma atividade que oferece algum risco de dano à nuvem de pontos e que exige um tempo adicional de trabalho, diretamente proporcional à densidade dessas interferências.

Ao término das inspeções de campo escolheu-se o Pavillon Louis-Jacques-Casault, uma igreja construída na década de 1950, que atualmente abriga alguns departamentos e faculdades da Universidade Laval.



Figura 1: Local Escolhido.

Trata-se de uma elegante construção que possui na sua entrada principal duas torres que se elevam a 39 metros de altura, sendo um dos mais altos edifícios da Universidade. A fachada do pavilhão possui várias janelas e oferece muitos detalhes estruturais que auxiliaram nas medições verticais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse estudo foi utilizado um Terrestrial Lidar Sensor (TLS), que trabalha fixo em uma posição de captura. O escâner foi o modelo X130, que segundo o fabricante Faro (2018) usa a técnica de mudança de fase para fazer as medições, sendo capaz de medir de 122.000 a 976.000 pontos por segundo, com precisão de ± 2 mm, desde que eles estejam dentro de um raio máximo de 130 metros (426 pés) da sua posição.



Figura 2: Escâner LiDAR Terrestre (TLS).

A nuvem final de pontos que representa a fachada do Pavillon Louis-Jacques-Casault e o seu entorno foi capturada com esse TLS, a partir de duas posições diferentes no terreno, afastadas de 30 metros entre si e aproximadamente 15 metros da parte frontal do pavilhão. Em duas sessões de captura, foram gravados dois arquivos de pontos que juntos produziram uma nuvem única usada no estudo. Esse escâner possui um receptor GPS integrado, que trabalha em tempo real quando conectado a uma rede geodésica externa de onde adquire um sistema de coordenadas georreferenciadas a partir do qual ele produz as coordenadas dos pontos na nuvem.

Foram, portanto, produzidos dois arquivos de captura, com pontos onde aparecem, além do local de estudo, também a Avenue du Séminaire, a Rue des Arts, a fachada do Pavillon Louis-Jacques-Casault, como mostra a Figura 3.

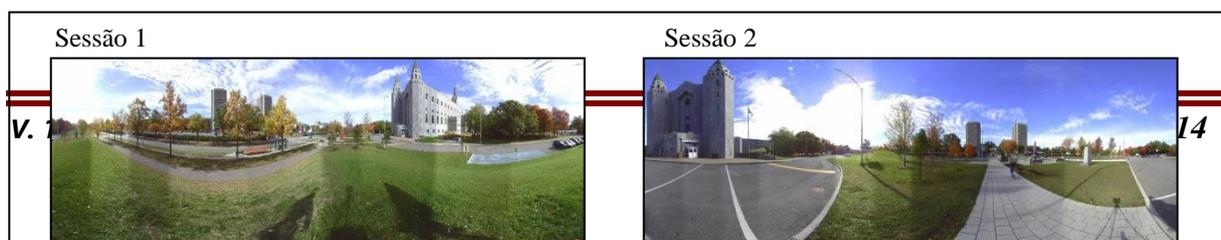


Figura 3: Arquivos produzidos nas sessões de captura.

O programa computacional utilizado em todas as etapas de edição das nuvens de pontos foi o programa comercial “*RealWorks*” do fabricante “*Trimble*”. Dentre os vários recursos de edição que esse programa oferece está o recurso conhecido como “*registration*” que permite unir duas ou mais nuvens para gerar uma única nuvem que represente o ambiente 3D como um todo. Foi com esse recurso que os dois arquivos independentes produzidos neste estudo foram unificados e geraram uma nuvem única com 38.030.879 pontos. A aplicação desse recurso depende da identificação inequívoca do conjunto alvos visíveis em duas ou mais nuvens que serão unificadas. Na etapa de configuração do programa computacional informa-se o tipo de alvo que foi utilizado para que ele os localize automaticamente e junte as nuvens individuais em uma só. Em nosso caso, os alvos foram as 10 esferas mostradas na Figura 4, com 139 milímetros de diâmetro, fabricadas na cor branca para facilitar a reflexão do feixe de laser e permitir de maneira automatizada a sua identificação nas nuvens de pontos.



Figura 4: Alvos e Nuvem Final de Pontos.

Quando se emprega a tecnologia LiDAR é impossível determinar os limites específicos a serem respeitados pelo sensor durante as sessões de escaneamento de uma área. Por esse motivo as nuvens de pontos capturadas contêm mais informações do que a área de interesse propriamente dita, Carter J. et All (2012). Em função disso, a área de interesse deste estudo precisou ser extraída da nuvem de pontos unificada antes de ser avaliada verticalmente. Isso exigiu que algumas tarefas preliminares fossem feitas, como preparar a fachada do pavilhão sobre a qual seriam feitas as medições.

A edição de uma nuvem de pontos é feita para preparar adequadamente o ambiente 3D que será trabalhado. A extração de partes de uma nuvem de pontos é um procedimento corriqueiro na etapa de edição e a segmentação é o recurso mais comum a ser usado no particionamento de uma nuvem. A segmentação é uma ferramenta similar à ferramenta “*cropping*” disponível nos programas de edição de imagem, (e.g. “*PhotoShop*”), com a fundamental diferença que a segmentação é uma ferramenta que além de trabalhar no espaço plano, também trabalha no espaço 3D. Uma vez extraída a área de estudos, chegou-se à uma

nuvem menor, contendo especificamente a fachada Pavillon Louis-Jacques-Casault e alguns poucos detalhes das suas proximidades, como mostra a Figura 5.

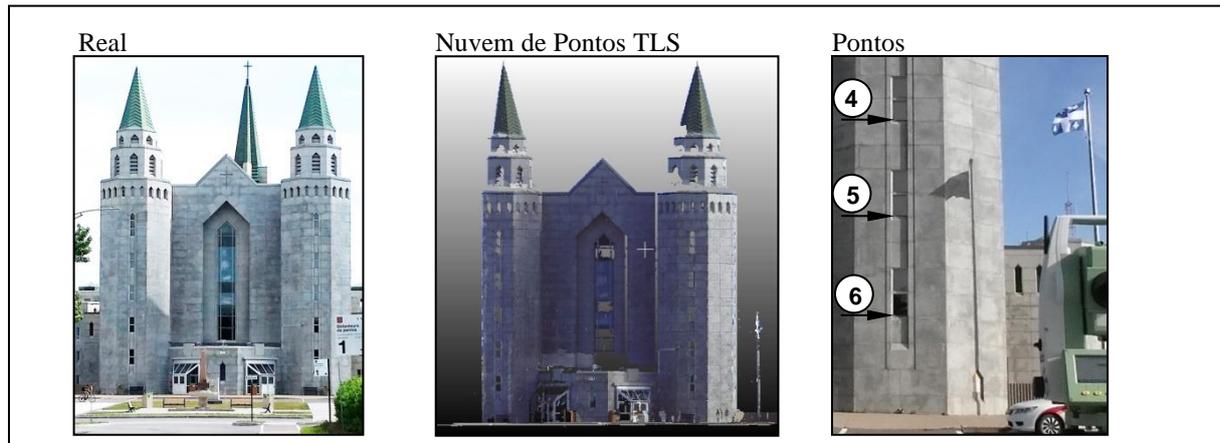


Figura 5: Fachada do Pavilhão na Nuvem Final de pontos.

A partir da nuvem corretamente segmentada foi isolada a fachada do pavilhão e nela foram escolhidos seis pontos que foram usados nas medições das distâncias verticais, três dos quais são mostrados na Figura 5. Em cada janela da torre direita da fachada existe um peitoril de mármore com espessura de 10 mm, que serviu de referência para as medições verticais uma vez que esse peitoril aparece claramente nas nuvens capturadas. As distâncias verticais foram medidas usando o programa “RealWorks” (RW), após o que a nuvem de pontos trabalhada foi exportada no formato LiDAR Data Exchange File (LAS), que é um formato de exportação dos pontos de uma nuvem e seus atributos (ASPRS, 2013). Assim a área de interesse pode ser trabalhada com o programa aberto “CloudCompare” (CC).

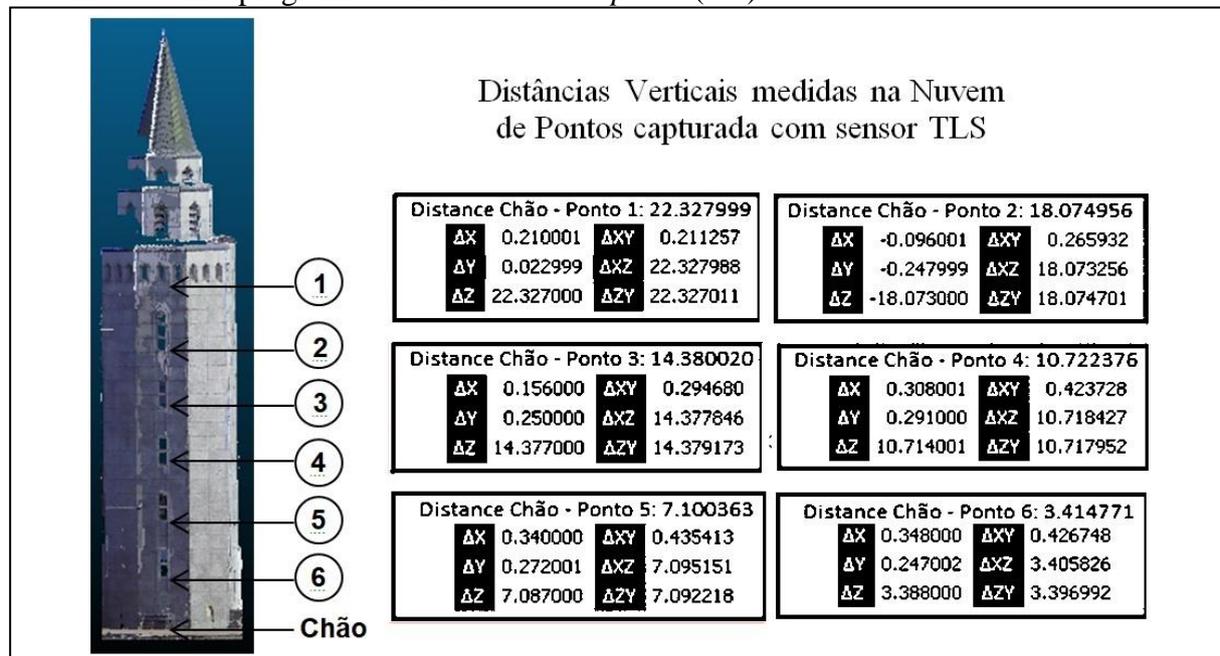


Figura 6: Distâncias Verticais Medidas na Nuvem de Pontos.

Em ambos os programas, as distâncias verticais foram sempre medidas a partir da base da torre, onde a fachada encontra a calçada, até a parte inferior dos peitoris das janelas, como mostra a Figura 6.

Para validar as distâncias verticais medidas na nuvem de pontos foi aplicado o método de nivelamento trigonométrico, que segundo Menzori e Pascini (2013) é um método de nivelamento baseado nas relações trigonométricas existentes em triângulos retângulos que possibilita determinar a distância vertical entre dois pontos medidos no terreno. Esse é um método bastante adotado em trabalhos topográficos regulares para fins de engenharia porque que oferece precisão centimétrica. O método foi aplicado no presente estudo de caso usando uma estação total do fabricante Leica, modelo TS06, com 5 segundos de precisão angular, horizontal e vertical, e, precisão linear de $\pm (1,5 + 2 \text{ p.p.m.} \times D)$ mm, onde D é a distância informada em quilômetros. Com esse instrumento foi feito um conjunto de medições nos mesmos pontos da etapa anterior, tomados como referência na nuvem de pontos.

A medição das distâncias verticais usando a estação total foi iniciada com a criação de um plano vertical perpendicular à fachada do edifício, de tal forma que esse plano contivesse os seis pontos usados para se fazer as medições verticais na nuvem de pontos. Para estacionar a estação total foram escolhidas duas posições no jardim existente em frente ao pavilhão, afastadas da fachada do edifício em distâncias diferentes, mas, na condição de pertencerem ao plano perpendicular criado, como mostra a Figura 7. A distância horizontal (DH_1), que vai da posição 1 até a fachada do pavilhão, com 69,971 m, foi medida inicialmente inclinada, com o auxílio de um prisma; e a distância horizontal (DH_2), que vai da posição 2 até a fachada do pavilhão, com 44,335 m, foi igualmente medida com o auxílio do prisma. Isso significa dizer que a posição 1 está afastada horizontalmente 25,636 m da posição 2. Por último, cada ponto escolhido da fachada do prédio que já havia sido utilizado na medição das distâncias verticais na nuvem de pontos, foi observado com a estação total para se obter os ângulos verticais (α_1 e α_2) entre o plano horizontal e a sua direção. Os seis pontos foram, portanto, observados tanto da posição 1, quanto da posição 2.

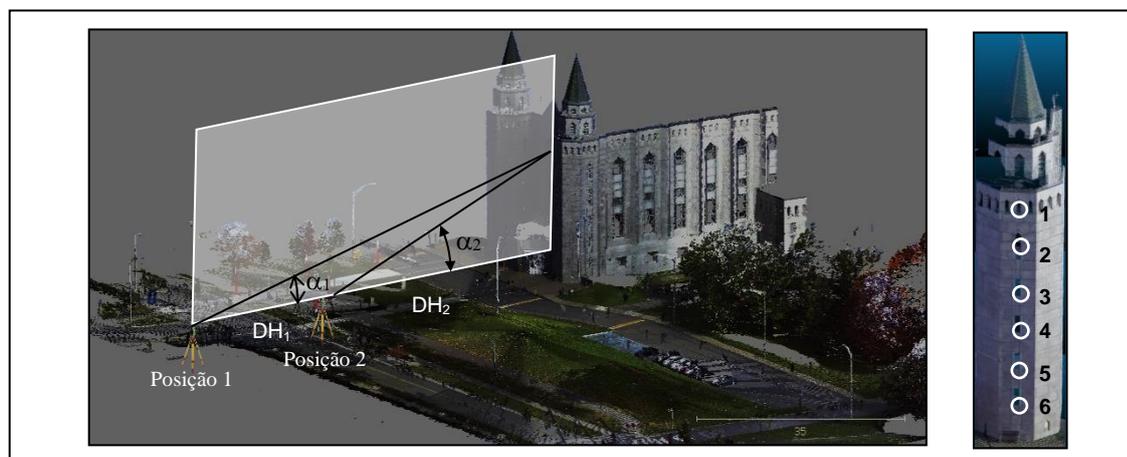


Figura 7: Medição Vertical dos Pontos na Fachada do Pavilhão Casault.

O método de observação dos dados angulares verticais foi sempre o mesmo nas duas posições. As observações verticais foram feitas em 5 séries, de maneira reiterada, com a luneta na posição direta e na posição inversa, para eliminar o erro de colimação, tendo sido tomada a média dos ângulos verticais (α) em cada direção observada para se fazer o cálculo da altura de cada ponto em relação ao terreno, onde a base da torre se encontra com a calçada. Uma vez conhecidas as distâncias horizontais (DH), as alturas do instrumento (A.I.) nas duas posições e a altura do prisma (h.s.) posicionado na base da torre, pode-se fazer o cálculo das distâncias verticais (Δh) aplicando diferenças de alturas determinadas a partir da equação:

$$\Delta h = DH \times \tan(\alpha) + A.I. - h.s. \quad (2)$$

Dessa forma, foi possível medir o mesmo conjunto de seis pontos posicionados na fachada do pavilhão, os mesmos que já haviam sido medidos na nuvem de pontos capturada pelo escâner LiDAR TLS. Com as distâncias verticais medidas usando a estação total foi possível fazer a comparação com as distâncias verticais medidas na nuvem de pontos usando os programas computacionais e quantificar as diferenças encontradas, para então se ter uma visão da compatibilidade das medições verticais feitas com a tecnologia LiDAR.

As distâncias verticais de cada um dos seis pontos em relação à base da torre, medidas na nuvem de pontos com o programa comercial “*RealWorks*” (RW) e com o programa aberto “*CloudCompare*” (CC), assim como as distâncias verticais medidas com a estação total a partir de duas posições diferentes no terreno, são mostradas na Tabela 1, onde é possível ver as diferenças encontradas entre os procedimentos.

Tabela 1: Distâncias Verticais – Medidas e Diferenças.

ID	Estação Total (m)			RW (m)	CC (m)	Diferenças	
	Pos 1	Pos 2	Média			RW(m)	CC(m)
Ponto 1	22,53	22,52	22,53	22,46	22,62	- 0,07	+ 0,09
Ponto 2	17,97	17,96	17,96	18,04	18,41	+ 0,08	+ 0,45
Ponto 3	14,32	14,31	14,32	14,34	14,87	+ 0,02	+ 0,55
Ponto 4	10,67	10,67	10,67	10,64	10,94	- 0,03	+ 0,27
Ponto 5	7,02	7,02	7,02	6,95	7,93	- 0,07	+ 0,91
Ponto 6	3,36	3,37	3,37	3,44	3,73	+ 0,07	+ 0,36

As diferenças encontradas nas medições feitas com o programa comercial “*RealWorks*” (RW) variam de - 0,07 m até + 0,08 m, enquanto que a amplitude das diferenças encontradas nas medições feitas com o programa aberto *CloudCompare* (CC) varia de + 0,09 m até + 0,91 m, o que indica, neste estudo, que as distâncias verticais medidas com o programa “*RealWorks*” apresentou uma compatibilidade maior do que as medidas feitas com o programa “*CloudCompare*”, quando comparadas aos valores medidos com a estação total, aqui tomados como verdadeiros.

4. CONCLUSÕES

O experimento acima demonstra que a tecnologia LiDAR é um recurso confiável para se extrair medições verticais visando aplicações na área da engenharia, porque ao ser validado com um método clássico, de precisão centimétrica, as diferenças encontradas não chegaram ao decímetro para os resultados criteriosamente obtidos com o programa comercial “*RealWorks*”.

Apesar disso, as diferenças encontradas comparando as medições feitas com a estação total e as medições feitas com o programa aberto “*CloudCompare*” não ficaram tão boas apesar do procedimento de execução das medições na nuvem de pontos ter sido igualmente cuidadoso. Uma análise mais profunda precisa ser feita para identificar o motivo dessas diferenças.

Somente os resultados encontrados nesse estudo de caso não são suficientes para se tomar uma decisão final sobre a qualidade da medição de distâncias verticais em nuvens de pontos. Certamente será necessário aumentar o número de estudos de caso, levando em conta maiores distâncias verticais e maior densidade de pontos espalhados pela fachada, sem necessariamente respeitar a condição de coplanaridade entre eles, e talvez, definir uma metodologia mais adequada à captura da nuvem de pontos com os escâneres LiDAR cuja aplicação tenha essa finalidade.

Finalmente há que se levar em conta que aqui está apresentada apenas uma verificação inicial, baseada em um grupo de amostras pequeno e com pouco significado estatístico, mas, que indica uma direção de que se pode usar os resultados obtidos com a tecnologia LiDAR para medições verticais, porque os resultados mostraram compatibilidade entre os valores amostrados.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus sinceros agradecimentos aos estudantes, técnicos e profissionais da Laval Université e da Universidade de Campinas (UNICAMP) que direta ou indiretamente forneceram o suporte técnico necessário para esse projeto. Os autores registram também um agradecimento particular ao Professor Francis Roy, Diretor do Departamento de Ciências Geomáticas da Laval Université que tornou possível a concretização deste estudo.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY & REMOTE SENSING. *LAS file Specification.* Version 1.4 - R13. 2013. Disponível em:

https://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf. Acesso em 25/09/2018.

BALLESTEROS, R. ET ALL. *Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing.* 2014. Disponível em:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11119-014-9355-8.pdf>. Acesso em 28/09/2018.

CARTER J., Schmid K., Waters K., Betzhold L., Hadley B., Mataosky R., Halleran J., National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA). *LIDAR 101: An introduction to LIDAR technology, data, and applications.* 2012. Disponível em:

<https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/lidar-101.pdf>. Acesso em 15/09/2018.

COX, R. *Real-world comparisons between target-based and targetless point-cloud registration in FARO Scene, Trimble RealWorks and Autodesk Recap.* Bachelor's Dissertation. 2015. University of Southern Queensland Faculty of Health, Engineering and Sciences.

CROSBY C. *Introduction to LiDAR.* University NAVSTAR Consortium (UNAVCO), 2011. Disponível em:

https://cloud.sdsc.edu/v1/AUTH_opentopography/www/shortcourses/17Utah/17Utah_Crosby_introLidar.pdf. Acesso em: 15/08/2018.

FARO COMPANY. *Scanner Focus 3D X130 HDR, Technical Specifications.* 2018. Disponível em: <https://faro.app.box.com/s/624vifcl4kkcsn7nl4opceen9ltxbr7>. Acesso em 13/09/2018.

MENZORI M., PASCINI A.G.P, *Topografia.* Editora da Universidade Federal de Juiz de Fora (EDUFJF). Juiz de Fora, 2013.