

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE MAPEAMENTO MÓVEL TERRESTRE DE BAIXO CUSTO PARA CADASTRO TERRITORIAL URBANO

*Assessment of a low-cost terrestrial mobile mapping system for city
mapping applications*

Letícia Ferrari Castanheiro

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus Presidente Prudente

Rua Roberto Simonsen, 305

castanheirolf@gmail.com

Mariana Batista Campos

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus Presidente Prudente

Rua Roberto Simonsen, 305

Marianaabcampos@gmail.com

Antonio Maria Garcia Tommaselli

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus Presidente Prudente

Rua Roberto Simonsen, 305

a.tommaselli@unesp.br

Resumo:

A atualização sistemática das bases cartográficas é função inerente ao Cadastro Territorial Multifinalitário, o que pode ser considerada uma tarefa complexa que envolve a disponibilidade de recursos administrativos e financeiros. Em geral, as bases cartográficas dos municípios brasileiros são obtidas a partir de levantamentos aerofotogramétricos ou topográficos. A Fotogrametria aérea, apesar de ser uma das técnicas mais utilizada para a coleta de dados cadastrais urbanos, possui como principal limitação a oclusão de feições relevantes ao cadastro urbano, disponíveis apenas na perspectiva terrestre, como limite da testada e uso do solo. Portanto, este artigo apresenta um sistema de mapeamento terrestre de baixo custo para a obtenção de informações cadastrais urbanas complementares aos levantamentos aerofotogramétricos convencionais, sendo, também, uma alternativa aos métodos topográficos tradicionalmente utilizados. O sistema proposto permite a obtenção de imagens omnidirecionais com 360° de cobertura a partir de uma câmara com duas lentes *fisheye* e dados de navegação inerciais acoplados em uma plataforma do tipo mochila. A partir dos dados coletados com este sistema a reconstrução 3D do ambiente urbano mapeado foi realizada no programa comercial Agisoft PhotoScan, permitindo a extração de feições e medidas. Para a análise de qualidade dos dados foram realizadas medidas diretas das testadas de edifícios bem definidas na trajetória com o uso de uma trena de lona de 30m. Os resultados obtidos mostram a viabilidade do sistema para a geração de modelos urbanos em que a discrepância média entre a medida na nuvem de pontos gerada e as medidas diretas de referência foi de 4 cm com desvio padrão de 5 cm.

Palavras-chave: Fotogrametria a curta distância; mapeamento terrestre móvel; imagens omnidirecionais

Abstract:

The Multipurpose Cadastre is a complex task that involves the availability of administrative and financial resources. In general, the Brazilian cartographic databases are obtained from digital aerial Photogrammetry or/and topographic methods. Despite of aerial Photogrammetry been a standard technique for urban data acquisition, some relevant features for Cadastre are only available from a terrestrial perspective, such as building's façade and land use. Therefore, this article presents a low-cost and light-weight Terrestrial Mobile Mapping System (TMMS) to obtain complementary urban data to the conventional aerial photogrammetric surveys. TMMS is an alternative to the traditional topographic methods used to collect terrain perspective data. The TMMS proposed enables the simultaneous acquisition of omnidirectional images, from a poly-dioptric system and inertial navigation data from a GPS/IMU system, embedded in a backpack platform. From this data acquisition, a 3D reconstruction of the urban environment mapped was performed in the commercial software Agisoft PhotoScan. Urban features, such as well-defined buildings façades were measured in the generated point cloud. Then, these measurements were compared to direct measurements realized with a topographic tape. Results show the feasibility of the TMMS for the generation of urban models, in which the average discrepancy between the measurements in the TMMS point cloud and the reference (direct measurements) was 4 cm with a standard deviation of 5 cm.

Keywords: City mapping; terrestrial mobile mapping; omnidirectional images.

1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento do cadastro territorial tem por objetivo atender às necessidades de natureza legal, fiscal e administrativa que envolvam a ocupação e a forma de domínio do território. A necessidade legal ou jurídica consiste na garantia da propriedade; a necessidade fiscal consiste na cobrança de impostos sobre o uso do solo e a necessidade administrativa compreende as demais atividades relacionadas ao planejamento e à gestão do território (BRANDÃO e SANTOS FILHO, 2008). Nesse sentido, os principais objetivos do Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) urbano são a coleta dos dados descritivos que caracterizam a área urbana ao nível de detalhamento da parcela, a atualização das informações de cada propriedade imobiliária e a interligação dessas informações com dados cartográficos para diferentes fins, como por exemplo, planejamento urbano, administração pública, desenvolvimento sustentável, proteção ambiental, registro de imóveis e desapropriação, além de preservar a função social da propriedade visando à melhoria da qualidade de vida da população (LOCH, 2007).

Apesar da relevância do CTM para a administração pública ser reconhecida desde a revolução francesa (LOCH, 2007), no Brasil, a história do cadastro é mais recente, sendo que poucas iniciativas governamentais foram implantadas visando a padronização dos dados cadastrais e o cadastro urbano sistemático. Segundo a Portaria nº 511/2009, recomenda-se que os limites físicos das parcelas devem ser obtidos por métodos de levantamento topográficos, geodésicos e fotogramétricos. No entanto, a precisão mínima requerida não é especificada em nenhuma normativa. Logo, diferentes abordagens podem ser utilizadas no intuito de obter estas informações de maneira confiável, no nível de precisão do centímetro, como, por exemplo, medidas diretas ou indiretas.

Os métodos diretos (topográficos ou geodésicos) de aquisição de informações do terreno consistem em medições de terrenos no próprio local utilizando equipamentos como trena, estação total ou receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*). No entanto, apesar de precisa, esta abordagem pode ser considerada onerosa, pois a qualidade e rapidez da aquisição dos dados está diretamente relacionada com os recursos humanos alocados no levantamento. O CTM necessita que a base cartográfica seja periodicamente atualizada, porém, o alto custo deste processo pode

inviabilizar essa atualização e conseqüentemente a aplicabilidade do CTM. Nesse contexto, duas questões principais têm motivado as pesquisas relacionadas a aquisição de dados em ambientes urbanos: como adquirir os parâmetros cadastrais de maneira indireta, considerando um método preciso e economicamente viável? E, em seguida, como processar os dados adquiridos em complemento as técnicas tradicionais?

A Fotogrametria pode ser definida como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes (THOMPSON e GRUNER, 1980). A visualização das imagens aliada à parte gráfica dos modelos constitui uma documentação completa com informações geométrica e radiométrica. Viollet-Le-Duc (2007), por exemplo, afirma a importância da fotografia e de documentos precisos, por exemplo, a documentação fotogramétrica, como fonte de investigação científica para diferentes projetos urbanos. Nesse sentido, muitas pesquisas em Fotogrametria foram realizadas no intuito de responder as duas questões principais, adquirindo feições na área urbana de maneira indireta e sistemática, principalmente utilizando sistemas de mapeamento móvel terrestre (SILVA, 2001).

Em geral, os Sistemas de Mapeamento Móvel (SMM) são compostos por sensores remotos, como câmaras e/ou LASER scanner, e sensores de navegação integrados em uma única plataforma móvel, proporcionando a aquisição rápida e eficiente dos dados devido ao deslocamento dinâmico dos sensores (SCHUWARZ e EL-SHEIMY, 2004). As plataformas terrestres permitem mapear a cena ao redor do sensor de um ponto de vista do solo, o que permite extrair feições não disponíveis ou oclusas na perspectiva aérea, como as fachadas das edificações, fundamentais para o mapeamento de cidades e obtenção de dados cadastrais. Recentemente, com o aumento e diversidade de sensores de imageamento e navegação disponíveis no mercado e os avanços nas pesquisas em integração e aplicabilidade de sensores de baixo custo, as plataformas de mapeamento móvel tem se tornado cada vez mais acessíveis.

Nesse sentido, este trabalho analisa a viabilidade da aquisição de feições urbanas, utilizando um sistema de mapeamento móvel terrestre de baixo custo composto por uma plataforma portátil (mochila), uma câmara omnidirecional, com duas lentes olho de peixe (*fish-eye*), e um receptor GPS (*Global Navigation Satellite System*) integrado a uma unidade de medida inercial (IMU). Logo, o sistema móvel proposto permitirá a aquisição dinâmica de imagens panorâmicas, registrando um conjunto de cenas urbanas de diferentes perspectivas, simultaneamente, o que possibilitará um levantamento sistemático das feições de interesse ao CTM. O conjunto de dados obtidos pode ser utilizado em complemento ao levantamento cadastral convencional por Aerofotogrametria, além de ser uma alternativa à coleta de dados de perspectiva terrestre de maneira direta.

2. SISTEMA DE MAPEAMENTO MÓVEL PORTÁTIL (SMMP)

O SMM proposto neste trabalho, denominado Sistema de Mapeamento Móvel Portátil (SMMP), consiste em uma plataforma terrestre (mochila) transportada por um operador humano, no intuito de adquirir medições do ambiente enquanto o mesmo se desloca (Figura 1). Nesta plataforma foram embarcados um sistema omnidirecional (Ricoh Theta S) e um sistema de navegação, que integra um receptor GPS e uma IMU (Figura 1.c). Esta plataforma permite a

aquisição de dados em ambientes onde automóveis não possuem mobilidade, tais como edifícios interiores e caminhos estreitos.

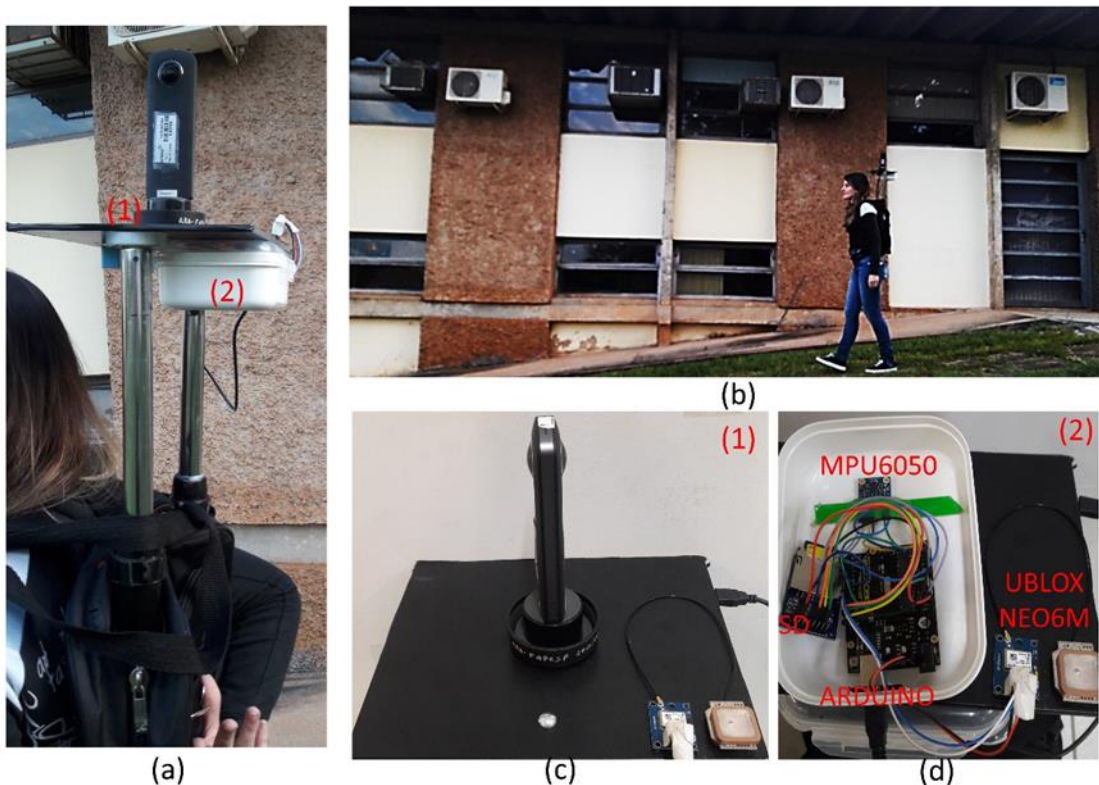


Figura 1 – (a) Estrutura do SMMP, (b) exemplo de aquisição dos dados e, (c) e (d) os componentes do sistema.

Sensores multi-câmaras vêm ganhando visibilidade em diversas aplicações na Fotogrametria a curta distância, como a navegação autônoma e o mapeamento móvel de cidades, principalmente motivado pelo seu amplo campo de visada, sua portabilidade e seu sistema óptico compacto, sem a necessidade de espelhos externos (sistema catadióptricos) ou dispositivos rotativos (câmaras de varredura por rotação). A Figura 1(a) ilustra o sistema omnidirecional utilizado, conhecido como Ricoh Theta S (THETA DEVELOPERS, 2017), o qual pode ser definido como um arranjo de duas câmaras digitais (1/2.3" CMOS – 7,2 Mpx) com lentes do tipo olho de peixe (campo de visada superior a 180°) em uma única estrutura (dimensão: 44 mm × 130 mm × 22.9 mm – peso: 125 g), rotacionadas aproximadamente 180° entre si. Esta combinação permite obter um campo de imageamento esférico de 360°, a partir das imagens obtidas simultaneamente pelo conjunto de câmaras que compõe o sistema omnidirecional.

A Figura 1(b) ilustra o SMMP sendo utilizado e a Figura 1(d) mostra os componentes do sistema, os quais um receptor GPS Ublox NEO-6M e uma IMU MPU6050, integrados em um microprocessador Arduino (BlackBoard/RoboCore). A integração dos dados de navegação foi realizada a partir de um script em linguagem Arduino, que possibilita o processamento em tempo real dos dados de navegação (posição e atitude do sensor) e o registro dos mesmos em um cartão SD considerando uma frequência de 1Hz, ou seja, a cada 1 segundo (CAMPOS et al., 2018a).

O Ublox NEO-6M é um receptor GPS de simples frequência e de baixo custo. Devido a sua arquitetura compacta, este receptor possui baixo consumo de energia, sendo ideal para sistemas operados por bateria, como o SMMP proposto. Os dados processados em tempo real são obtidos no formato NMEA (*National Marine Electronics Association*), que fornece os dados de posição (latitude, longitude e altitude geométrica), velocidade e tempo (PVT) calculados pelo receptor e informações detalhadas sobre os satélites rastreados. A acurácia estimada das coordenadas obtidas com o Ublox NEO-6M é de 30 cm em planimetria e de 1 a 4 metros em altimetria.

A unidade de medida inercial usada, denominada MPU 6050 (INVENSENSE, 2013), é uma combinação de sistemas MicroEletroMecânicos (MEMS) - acelerômetros e giroscópios - integrados em uma placa eletrônica (GY-521). A MPU 6050 fornece acelerações e dados gravimétricos para os eixos X, Y e Z. Os ângulos de atitude da plataforma (*omega*, *phi* e *kappa*) são estimados em tempo real a partir dos dados brutos, utilizando um filtro de Kalman estendido (EKF) associado ao script do Arduino (MPU 6050 *library*). A atitude da plataforma é estimada com precisão de 3 graus. Apesar do sistema de navegação ser pouco acurado em relação a outros sistemas de navegação mais robustos, parâmetros de orientação exterior iniciais são obtidos à um baixo custo, cerca de 100 vezes mais acessível que os sistemas de navegação convencionais.

Visando uma aquisição dinâmica e sequencial de imagens, a câmara Ricoh Theta S é utilizada no modo vídeo, permitindo a extração de 29 frames do tipo *dual-fisheye* (Figura 2) por segundo, com resolução de 1920×1080 pixels e autonomia para 65 minutos de levantamento. Cada frame *dual-fisheye* dá origem a dois frames individuais referentes à câmara 1 (Figura 2.b) e a câmara 2 (Figura 2.c), com resolução de 1080×960 pixels e tamanho do pixel igual a 0,005 mm, os quais serão nomeados ao longo deste trabalho como imagens omnidirecionais. Estas imagens são automaticamente obtidas a partir de um script desenvolvido no MATLAB. A Figura 2 apresenta em (a) um exemplo de *dual-fisheye* obtido com o sistema Ricoh Theta S e em (b) e (c) o resultado da conversão para imagens omnidirecionais obtidas pelas câmaras 1 e 2, respectivamente.

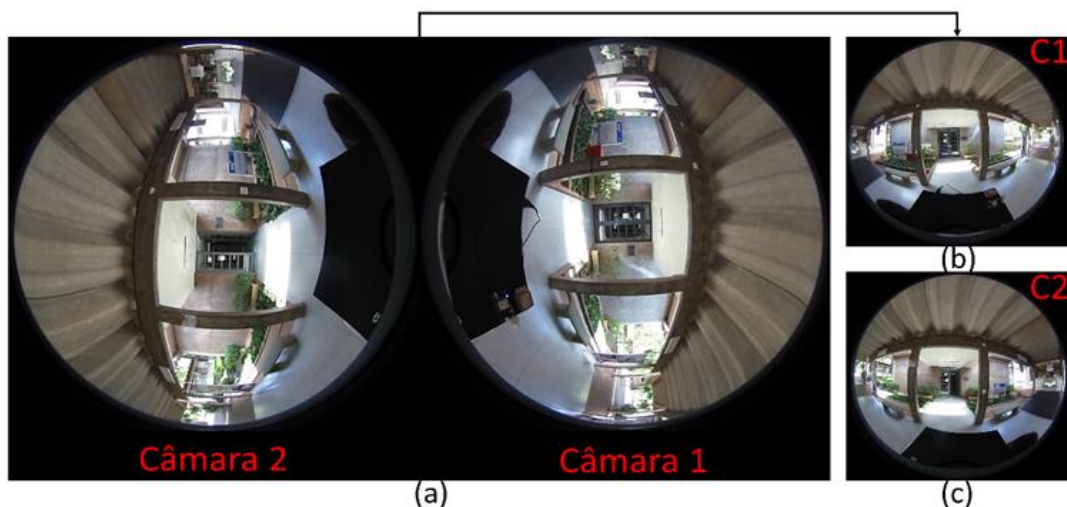


Figura 2 – (a) Imagens *dual fisheye* obtidas pelo sistema Ricoh Theta S e imagens omnidirecionais da (b) câmara 1 e (c) da câmara 2.

Ao fim da aquisição dos dados utilizando o SMMP proposto, são obtidas imagens omnidirecionais (360°) e dados de navegação que proporcionam uma posição e atitude inicial da plataforma a cada 1 segundo. Porém, ainda é necessário associar a posição rastreada no sistema de navegação com a imagem omnidirecional referente, assim como, mensurar os desalinhamentos entre o sistema omnidirecional e o de navegação (*lever-arms* e *boresight*). Devido à dificuldade de comunicação eletrônica entre o sistema omnidirecional e o sistema de navegação, esta sincronização foi realizada de maneira analógica, em que um pequeno LED associado à frequência de coleta do GPS posicionado na plataforma é registrado na imagem omnidirecional (Figura 2.a). Assim como a frequência de coleta de imagens (29 frames/s) é superior à frequência de coleta dos dados de navegação (1/s), é possível, em uma etapa de pós-processamento, realizar uma seleção visual/manual das imagens omnidirecionais correspondentes à sequência de posições rastreadas. Quanto aos deslocamentos, as diferenças posicionais (*lever-arms*) entre o sistema omnidirecional e a antena GPS foram medidas de maneira direta utilizando um paquímetro com precisão de 0,05mm. As diferenças angulares (*boresight*) foram estimadas em um processo indireto considerando a atitude das câmaras estimadas em um processo independente de fototriangulação e a posição da plataforma estimada com a MPU 6050 (CAMPOS et al., 2018a).

3. EXPERIMENTOS: ANÁLISE DE VIABILIDADE DO SISTEMA

3.1 Aquisição e Processamento dos Dados

Para verificar a viabilidade do sistema proposto para fins cadastrais, uma coleta de dados com o SMMP foi realizada, considerando como área de estudo, a Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente - SP (FCT/UNESP - 22°07'18" S e 51°24'27" O). Um caminhar de aproximadamente 70 metros, com cerca de 5 edificações com diferentes feições antrópicas (Figura 3.a), foi mapeado. Ao final de uma sessão de coleta com o SMMP, foram obtidas imagens omnidirecionais e as posições e orientações das mesmas. Os dados sincronizados foram obtidos a partir das etapas descritas na Seção 2. Adicionalmente, as posições da câmara em diferentes instantes de aquisição (coordenadas do receptor GPS) foram mensuradas em latitude, longitude e altitude geométrica, sendo convertidas para UTM (Universal Transversa de Mercator), no intuito de padronizar os sistemas de coordenadas com relação aos pontos de controle.

Uma vez que o objetivo do trabalho é complementar o levantamento cadastral convencional por Aerofotogrametria sem a necessidade de medidas diretas, uma alternativa é extrair informações de controle de imagens aéreas ou de dados obtidos a partir de um sistema de varredura à LASER aerotransportado. Assim, os pontos de controle utilizados no processamento são provenientes de uma nuvem de pontos de dados LASER (RIEGL LMS-Q680i) da mesma área de teste, com densidade de 5.8 pontos/m² e acurácia planialtimétrica de aproximadamente 30 cm (TOMMASELLI et al., 2018). A Figura 3 apresenta em (a) a área da FCT/UNESP onde foram obtidas as imagens omnidirecionais bem como o caminho percorrido com o SMMP, destacado em amarelo. Em (b) tem-se a distribuição dos pontos de controle, representados por triângulos amarelos, sobre a nuvem laser utilizada.

Os pontos de apoio foram medidos na nuvem LASER de referência, utilizando o programa FrugoViewer (Figura 4), em que é possível identificar feições de controle a partir de perfis (Figura

4.b) e visualizações tridimensionais (Figura 4.c). Nove pontos de controle foram selecionados, sendo quatro para o Sensor 1 e cinco para o Sensor 2. Para garantir a geometria no ajustamento por feixe de raios, os pontos de controle foram distribuídos no começo, no meio e no fim do caminhamento (Figura 3.b) e em diferentes alturas, ou seja, distribuídos tanto no chão quanto em telhados. Na Figura 4 (a) e (b) os círculos amarelos representam dois pontos de apoio utilizados, com visualização em diferentes perspectivas, e em (c) um exemplo de como foram obtidas as informações dos pontos a partir da nuvem LASER utilizando o FugroViewer.

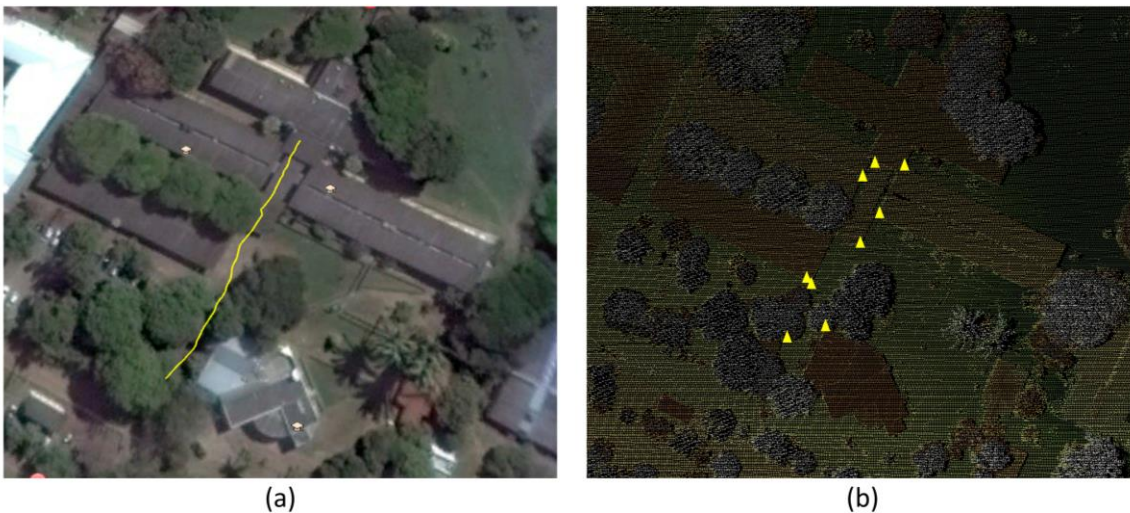


Figura 3 - (a) Área de coleta das imagens. (b) Nuvem laser aérea e a distribuição dos pontos de apoio.

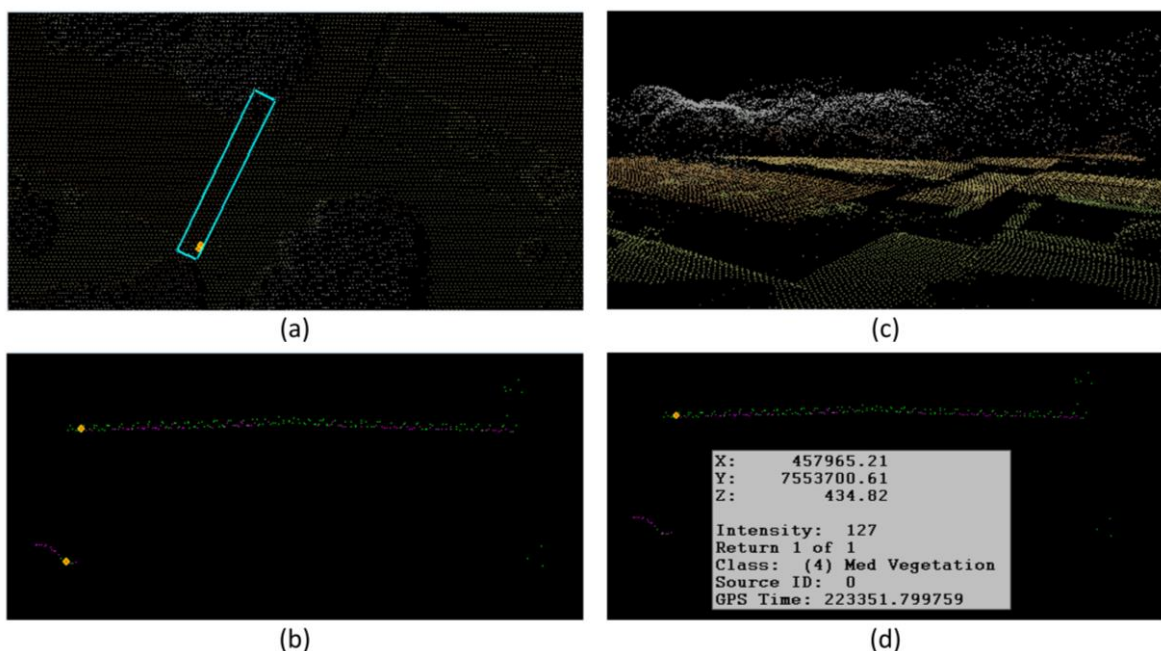


Figura 4 – Visualização (a) aérea, (b) do perfil e (c) 3D da nuvem LASER e (d) exemplo de aquisição das informações de controle no FugroViewer.

3.2 Geração da nuvem de pontos – Processamento no PhotoScan

Os dados coletados com o SMMP na área de estudo foram processados no programa PhotoScan com o objetivo de reconstruir tridimensionalmente as feições cadastrais de interesse. Foram utilizados 80 imagens de cada sensor com GSD (*Ground Sample Distance*) variando entre 2 e 5 cm, bem como as respectivas coordenadas do sensor obtidas com o sistema de navegação no momento da tomada da imagem. No início, configurou-se o projeto para o modelo *fish-eye* (modelo equidistante, HUGHES et al., 2010) e inseriu-se os Parâmetros de Orientação Interior (POI) da câmara, obtidos em um processo de calibração simultâneo de câmaras, sendo a distância focal de 1,43mm e tamanho do pixel de 5 μ m (CAMPOS et al., 2018b).

A orientação exterior das imagens foi estimada a partir das posições iniciais da câmara dadas pelo GPS e os pontos de apoio. O projeto foi configurado no sistema de referência e projeção WGS84/UTM, zona 22S, compatível com o sistema dos pontos de controle. Em seguida, importou-se as imagens e as respectivas coordenadas dadas pelo receptor GPS. A versão do PhotoScan utilizada não permite inserir pesos diferentes para as coordenadas planimétricas e altimétricas iniciais. Assim foi inserido peso de 5m para as coordenadas planialtimétrica iniciais da câmara, correspondente a precisão altimétrica do receptor GPS embarcado, a qual é menos precisa que a planimétrica.

O alinhamento das imagens foi feito no modo *high*, gerando os pontos de passagem e os valores estimados dos Parâmetros de Orientação Exterior (POE). A filtragem destes pontos foi realizada no modo manual e automático, por meio de uma ferramenta de seleção do PhotoScan (*reprojection error*), mantendo apenas pontos com erro residual de no máximo 1 pixel. Em seguida, inseriu-se os pontos de controle recalculando os POEs. Este processo foi feito para os dois sensores igualmente, com diferença que no projeto do sensor 1 foi utilizado os dados estimados no PhotoScan para o sensor 2.

O erro dos pontos de controle ao final da fototriangulação dos dois sensores, foi de aproximadamente 1 pixel na imagem e de 36 cm no terreno, com desvio padrão de 8,6 cm, o que é compatível com a precisão da nuvem laser aérea. O valor estimado das coordenadas dadas pelo receptor GPS teve uma diferença de 4 m. Como apontado por Campos et al. (2018a), essa discrepância é compatível com a precisão planialtimétrica do receptor GPS de baixo custo, Ublox NEO-6M, o que é principalmente influenciado pela estimativa pouco acurada da altitude em áreas urbanas devido a oclusão de sinais e a ocorrência frequente de multicaminho. Apesar dos dados posicionais do receptor GPS terem precisões de 1 a 4 m, esta informação inicial auxiliou na orientação das imagens e diminuiu o número de pontos de apoio necessário para estimar os POE. Visando uma melhor reconstrução 3D dos prédios, as duas nuvens densa de pontos (sensores 1 e 2) foram geradas no modo *ultra high*, o qual tem densidade média de 1 ponto a cada 1,7 cm (DEWEZ et al., 2016). A filtragem de resíduos e reconstruções incompletas foi realizada manualmente.

3.3. Controle de Qualidade

A análise da viabilidade do SMMP para a aquisição de informações urbanas relevantes ao CTM foi realizada a partir do controle de qualidade das nuvens de pontos geradas, considerados os elementos de avaliação da qualidade dos dados geográficos: acurácia posicional (geométrica) e completude, sugeridos pela ISO 19157. A análise da acurácia posicional consiste em verificar o

grau de concordância entre o valor calculado e um valor de referência (ISO 19157). A acurácia posicional ou geométrica pode ser subdividida em acurácia externa ou absoluta e acurácia interna ou relativa.

Diferentes abordagens podem ser conduzidas para avaliar a acurácia posicional de uma nuvem de pontos e consequentemente a aplicabilidade da mesma (LEHTOLA et al., 2017). Para analisar a acurácia posicional, a nuvem de pontos avaliada pode ser comparada a uma nuvem de referência obtida na mesma época e com instrumentos ou métodos mais precisos, utilizando métricas como distância euclidiana entre modelos de superfície. Outra possibilidade é utilizar medidas de referência como pontos de verificação ou distância de controle e comparar as medidas das mesmas feições obtidas na nuvem de pontos gerada. Neste sentido, a acurácia posicional foi avaliada a partir das medidas de distâncias de referência entre feições bem distribuídas nas nuvens, que possibilitam verificar a consistência interna entre os dados, o que desconsidera os erros sistemáticos. As medidas de referência foram feitas em campo com uma trena de lona de 30 m com precisão milimétrica. As respectivas medidas nas nuvens de pontos geradas foram realizadas no programa PhotoScan. Foi escolhido em campo feições de validação bem definidas e estáveis como, por exemplo, fachada de construção, portas, janelas e também outras feições antrópicas como placas, bancos e pilares. A Figura 5 mostra algumas medidas feitas nas nuvens utilizando o PhotoScan. A Figura 5(a) apresenta uma medida de fachada, em (b) de uma placa da FCT/UNESP e em (c) de um pilar.

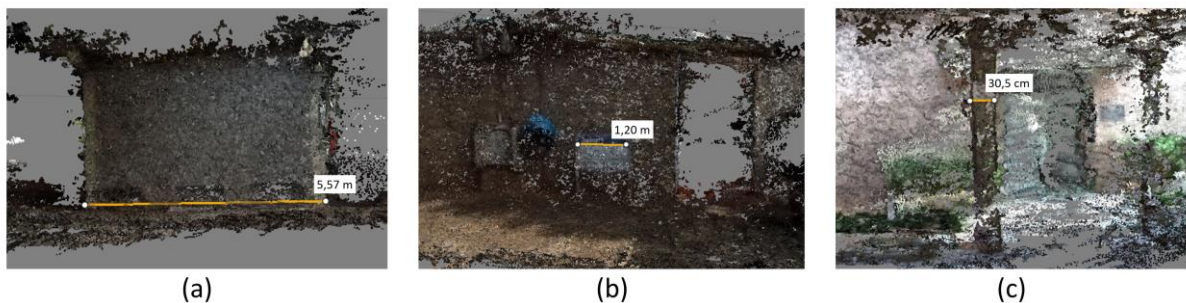


Figura 5 – Medidas de uma (a) fachada (b) placa e (c) pilar nas nuvens densa geradas.

Outro ponto relevante quanto a viabilidade do sistema é a completude do mapeamento, que pode ser definida como a avaliação da presença e da ausência das feições de interesse definidas de acordo com as necessidades do usuário (ISO 19157). Portanto, neste trabalho, a análise de completude consiste em verificar no conjunto de dados se as informações registradas nas nuvens de pontos obtidas com o SMMP são compatíveis com as informações relevantes ao CTM. Nesse sentido, foram definidas a priori quantas e quais feições de interesse deveriam ser mapeadas na área de estudo, as quais a presença ou ausência foram verificadas na reconstrução tridimensional realizada.

4. RESULTADOS

A Figura 6 apresenta as duas nuvens de pontos geradas a partir de imagens omnidirecionais do SMMP para cada sensor. Na Figura 6(a) e (b), estão representados as edificações principais dos sensores 1 e 2, respectivamente, e em (c) e (d) têm-se diferentes pontos de vista do modelo

tridimensional completo da área mapeada, combinando as nuvens geradas pelos sensores 1 e 2. As portas e janelas de algumas edificações não foram completamente reconstruídas, principalmente em regiões de materiais transparentes (vidro), como pode ser observado na Figura 6(a) – Edificação 2. Corredores e objetos muito distantes dos sensores não foram reconstruídos completamente, sendo eliminados na etapa de filtragem das nuvens. Estes casos mencionados é uma limitação do sensor de imageamento, que devido à baixa resolução das imagens omnidirecionais não registram feições que distam mais de 5 m com alta acurácia. A Tabela 1 mostra as 13 feições utilizadas para a análise da acurácia relativa das nuvens e suas respectivas medidas na trena e nas nuvens de pontos geradas.



Figura 6 – Nuvem densa gerada do (a) sensor 1 e (b) sensor 2 e, (c) e (d) diferentes pontos de vista das duas nuvens no modelo 3D.

A Tabela 1 mostra as discrepâncias obtidas entre as medidas de referência e as medidas realizadas nas nuvens de pontos. Uma média de aproximadamente 4 cm e desvio padrão de 5 cm foram obtidos, o que é compatível com o GSD médio das imagens. Estes resultados são consistentes com os obtidos por Campos et al. (2018) para aplicações florestais, podendo-se concluir que este sistema tem potencial para ser usado em levantamentos cadastrais. Algumas feições apresentaram diferenças mais destoante das outras, como a janela da edificação 1, que tem 20 cm de discrepância. Esta disparidade nos resultados pode ser explicada pela limitação dos sistemas ópticos em reconstruir feições em regiões oclusas, homogêneas e com padrão repetitivo,

como por exemplo as portas e janelas mapeadas. Portanto, existe dificuldade na medição destes tipos de feições sobre as nuvens de pontos geradas. Eliminando as feições que apresentaram uma discrepância acentuada em relação as outras medidas (*outliers*), as diferenças passam a ter média de 2,6 cm e desvio padrão de 1,5 cm.

Tabela 1 – Medidas de referência (trena) e medidas da nuvem de pontos.

Referência	Feição	Trena (m)	Nuvem (m)	Diferença (m)
Edificação 1	Fachada	16,650	16,600	0,050
	Janela	2,000	1,800	0,200
	Placa	1,220	1,200	0,020
Edificação 2	Fachada	12,900	12,910	0,010
	Placa	1,220	1,180	0,040
	Pilar	0,300	0,315	0,015
	Banco	1,400	1,390	0,010
Edificação 3	Fachada	5,560	5,570	0,010
Edificação 4	Fachada	10,840	10,800	0,040
	Janela lateral	1,530	1,500	0,030
	Placa	1,220	1,200	0,020
Edificação 5	Fachada	12,910	12,800	0,110
	Pilar	0,300	0,305	0,005
Média				0,043
Desvio padrão				0,055

Analisando a área como um todo, 33 feições podem ser apontadas como de interesse cadastral, por exemplo as testadas das edificações, portas, janelas e outras feições antrópicas, as quais foram considerados para a análise de completude. Na geração das nuvens de pontos 79% das feições de interesse foram reconstruídas, sendo que um total de 7 feições antrópicas estavam ausentes na nuvem. Esta ausência de informação pode ser justificada pela oclusão destas feições em imagens consecutivas.

Os resultados mostram que o SMMP permite obter informações de contexto, como características da fachada e a função social do lote a partir das imagens de perspectivas terrestres, bem como, medidas indiretas das feições de interesse a partir da nuvens de pontos terrestres gerada, com precisão centimétrica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho analisou a viabilidade de um sistema de mapeamento móvel terrestre composto por sensores de navegação e uma câmara omnidirecional, a qual possibilita um amplo campo de visada da cena em uma única imagem. O SMMP é um sistema prático, dinâmico e de baixo custo que apresentou potencial para a atualização sistemática da base cartográfica de cidades, proporcionando a obtenção de atributos importantes para o cadastro urbano com acurácia relativa

centimétrica (≈ 4 cm) e completude de 79%. Além disso, este sistema apresenta vantagens como acessibilidade à lugares onde não é possível a passagem de automóveis e a documentação da área mapeada à partir do registro das imagens aliada à parte gráfica dos modelos. Assim, o SMMP possibilitou através das imagens de perspectiva terrestre a visualização da fachada dos imóveis, permitindo obter, além de medidas, informações do imóvel que são de interesse para o cadastro 2D e 3D, como os materiais de construção, tipo de uso do solo, estado de conservação e o número de pavimentos de um imóvel.

A combinação com um sistema aéreo permitiu obter um modelo completo dos imóveis, a partir de dois pontos de vista. Com os dados aéreos é possível obter informações sobre a edificação e o lote em toda a sua extensão, o que pode ser complementado com a aquisição de feições por sistemas terrestres, como o SMMP proposto. Outra vantagem desta combinação é a possibilidade de obter pontos de controle a partir dos dados aéreos, evitando aquisições onerosas como medidas diretas por Topografia. No entanto, a técnica proposta neste artigo, possui suas limitações. A reconstrução incompleta de feições à uma distância superior à 5 m do sensor, pode ser melhorada com uma câmara omnidirecional de maior resolução. As limitações inerentes aos sensores ópticos podem ser minimizadas, por exemplo, com a combinação de outros sensores complementares como um sistema de LASER terrestre.

Agradecimentos

Agradecimento à Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento e à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP—Grant: 2013/50426-4)

Referências Bibliográficas

BRANDÃO, A.; SANTOS FILHO, A. V. Sistema de cadastro territorial georreferenciado em áreas urbanas. **Revista Veracidade—Ano**, v. 3, 2008.

BRASIL. Portaria Ministerial nº 511, Ministério das Cidades. 07 de dez. de 2009. Institui Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) no Municípios Brasileiros.

CAMPOS, M. B.; TOMMASELLI, A. M. G.; HONKAVAARA, E.; PROJ, F.S.; KAARTINEN, H.; EL, ISSAOUI, A.; HAKAI, A. T. A Backpack-Mounted Omnidirectional Camera with Off-the-Shelf Navigation Sensors for Mobile Terrestrial Mapping: Development and Forest Application. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 827, 2018a.

CAMPOS, M. B.; TOMMASELLI, A. M. G.; MARCATO JUNIOR, I.; HONKAVAARA, E. Geometric model and assessment of a dual-fisheye imaging system. **The Photogrammetric Record**, v.33, n.162, p. 243–263, 2018b. DOI: 10.1111/phor.12240

DEWEZ, T.J.B.; LEROUX, J.; MORELLI, S. Cliff collapse hazard from repeated multicopter uav acquisitions: Return on experience. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.** 2016, 41, 805–811

DOMINGUES, F. A. A. **Topografia e astronomia de posição para engenheiros e arquitetos**. Mac Graw-Hill, 1979.

HUGHES, C., DENNY, P., JONES, E. AND GLAVIN, M., 2010. Accuracy of fish-eye lens models. **Applied Optics**, 49(17): 3338–3347

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19157**: Geographic information- Quality principles. Suíça, 2002.

INVENSENSE Inc., **MPU-6000 Datasheet and MPU 6050 Product Specification**. Document Number: PS-MPU-6000A-00. Revision 3.4, 52p, 2013.

LEHTOLA, V. V.; KAARTINEN, H.; NÜCHTER, A.; KAIJALUOTO, R.; KUKKO, A.; LITKEY, P.; KURKELA, M. Comparison of the selected state-of-the-art 3D indoor scanning and point cloud generation methods. **Remote Sensing**, v. 9, n. 8, p. 796, 2017.

LIMA, O. P. A importância do cadastro no processo civilizatório. In: **4º COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. UFSC. Florianópolis – SC. 2000

LOCH, C.; ERBA, D. A. Cadastro técnico Multifinalitário rural e urbano. **Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy**, 146p. 2007

MIKHAIL, E.; GRACIE, G. **Analysis and adjustment of survey measurements**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981.

SCHWARZ, K. P.; EL-SHEIMY, N. Mobile mapping systems–state of the art and future trends. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 35, n. Part B, p. 10, 2004.

SILVA, J. F. C.; OLIVEIRA CAMARGO, P.; GUARDIA, M. C.; REISS, M. L. L.; COSTA SILVA, R. A.; ARAÚJO GALLIS, R. B.; OLIVEIRA, R. A. Mapeamento de ruas com um sistema móvel de mapeamento digital. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 53, n. 1, 2001.

SILVA, L. M. O. **Terras devolutas e latifúndio: efeitos da lei de 1850**. Centro de Memória Unicamp, 1996.

THETA DEVELOPERS. **Proprietary Technical Information: Lens Parameter Information**. Disponível em: < <http://theta360.guide/community-document/community.html>> Acessado em 19 de abril de 2017.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. **Manual of Photogrammetry**: American Society of Photogrammetry. 4 ed. Virginia: Falls Church, 1980

TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M.; DOS REIS, T. T.; DA SILVA RUY, R.; DE MORAES, M. V. A.; MATRICARDI, W. V. Development and Assessment of a Data Set Containing Frame Images and Dense Airborne Laser Scanning Point Clouds. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 15, n. 2, p. 192-196, 2018.

VIOLET-LE-DUC, E. E. **Restauração**. 3.ed. São Paulo: Ateliê Editorial, Tradução: Kühl, B. M., 2007, 76 p.