



## Calibração da Plataforma de um Sistema de Visão Omnidirecional composto por uma Câmara e um Espelho Cônico

### *Platform Calibration of an Omnidirectional Vision System composed of a Camera and a Conical Mirror*

José Marcato Junior <sup>1</sup>, Thales Shoiti Akiyama <sup>2</sup>, Antonio Maria Garcia Tommaselli <sup>3</sup>, Marcus Vinícius Antunes de Moraes <sup>4</sup> e Vanessa Jordão Marcato Fernandes <sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, Brasil. [jose.marcato@ufms.br](mailto:jose.marcato@ufms.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9096-6866>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Campo Grande, Brasil. [akiyama.thales@gmail.com](mailto:akiyama.thales@gmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1397-3501>

<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, Brasil. [a.tommaselli@unesp.br](mailto:a.tommaselli@unesp.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0483-1103>

<sup>4</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Cartografia, Presidente Prudente, Brasil. [antunesdemoraes@gmail.com](mailto:antunesdemoraes@gmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2024-1197>

<sup>5</sup> Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, Brasil. [vanessafernandes@ufgd.edu.br](mailto:vanessafernandes@ufgd.edu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4958-5030>

Recebido: 08.2019 | Aceito: 03.2019

**Resumo:** Os sistemas de visão omnidirecional permitem um campo de imageamento de 360° e são aplicados em diversas áreas do conhecimento, incluindo a Fotogrametria à curta distância. Para obter medidas confiáveis, objetivo da Fotogrametria, exige-se a calibração do sistema, em que os parâmetros dos modelos matemáticos são estimados. A calibração do sistema é dividida em calibração interna e da plataforma. O objetivo principal desse trabalho consiste em realizar a calibração da plataforma de um sistema de visão omnidirecional composto por uma câmara e um espelho cônico. Na calibração da plataforma foram estimados os parâmetros que relacionam o sistema de imageamento com o sistema de georreferenciamento direto, composto por receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema global de navegação por satélite) e IMU (*Inertial Measurement Unity* – Unidade de Medida Inercial). Estimaram-se os ângulos de desalinhamento (*boresight*) da IMU com relação ao referencial do cone e os deslocamentos (*lever arm*) do vértice do cone ao centro da antena GNSS. A incerteza na estimativa do *lever arm* é, no mínimo, 10 vezes menor que a precisão obtida com o receptor GNSS no modo cinemático, o que indica uma qualidade adequada para o valor estimado. Com relação aos ângulos de desalinhamento, a RMSE (*Root Mean Square Error*) foi maior para o ângulo de rotação  $\kappa_{IMU}^{Cone}$ , em torno de 30 minutos de arco, sendo que para os demais ângulos, a RMSE ficou em torno de 10 minutos de arco.

**Palavras-chave:** Fotogrametria. GNSS. IMU.

**Abstract:** Omnidirectional vision systems allow for a 360° imaging field and are applied in many areas of knowledge, including close range Photogrammetry. Obtaining reliable measurements, the Photogrammetry's goal, requires calibration of the system, a step in which the parameters of the mathematical models are estimated. The calibration of the system is divided into internal calibration and platform calibration. The main objective of this work is to perform the calibration of the platform of an omnidirectional vision system composed of a camera and a conical mirror. In the calibration of the platform we estimated the parameters that relate the imaging system to the georeferencing system, composed of a GNSS (*Global Navigation Satellite System*) receiver and an IMU (*Inertial Measurement Unit*). In the calibration of the platform the boresight angles of the IMU were estimated related to the cone reference and the lever arm of the vertex of the cone to the center of the GNSS antenna. The uncertainty in the estimation of the lever arm is at least 10 times less than the precision obtained with the GNSS receiver in kinematic mode, which indicates an adequate quality for the estimated value. Regarding the misalignment angles, the RMSE (*Root Mean Square Error*) was higher for the rotation angle  $\kappa_{IMU}^{Cone}$ , around 30 minutes of arc, and for the other angles, the RMSE was around 10 minutes of arc.

**Keywords:** Photogrammetry. GNSS. IMU.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de visão omnidirecional (SVO) apresentam como vantagem a capacidade de observar em todas as direções (360°), os quais são usados em diversas aplicações, destacando-se: robótica, realidade virtual e telepresença. Na Fotogrametria à curta distância, esses sistemas podem ser usados, por exemplo, na reconstrução 3D de objetos bem como na geração de cenas de controle (TOMMASELLI et al., 2013; TOMMASELLI; BERVEGLIERI, 2014).

As imagens omnidirecionais podem ser adquiridas com os seguintes sistemas de imageamento: câmaras com objetiva olho de peixe (*fisheye lens camera*); câmaras de varredura por rotação; sistemas catadióptricos, formados por câmaras e espelhos; e conjunto de câmaras divergentes - utilizado no Google Street View, por exemplo (STURM et al., 2011). Os sistemas catadióptricos, usados nesse estudo, permitem a formação de imagens omnidirecionais, por meio da combinação de lentes e espelhos (BAKER; NAYAR, 1999). Dentre os diversos tipos de espelhos utilizados para essa finalidade, destacam-se: os espelhos com curvatura (parabólico, hiperbólico, dentre outros); a pirâmide de espelhos planos; e os espelhos cônicos.

O espelho cônico, utilizado no presente estudo, combina os benefícios dos espelhos planos, não apresentando distorção radial e perda da resolução radial, e as vantagens dos sensores catadióptricos simetricamente rotacionados, proporcionando imagens isotrópicas (SPACEK, 2005). Espelhos com esse formato, quando comparados aos espelhos com curvatura, apresentam também um menor custo de fabricação.

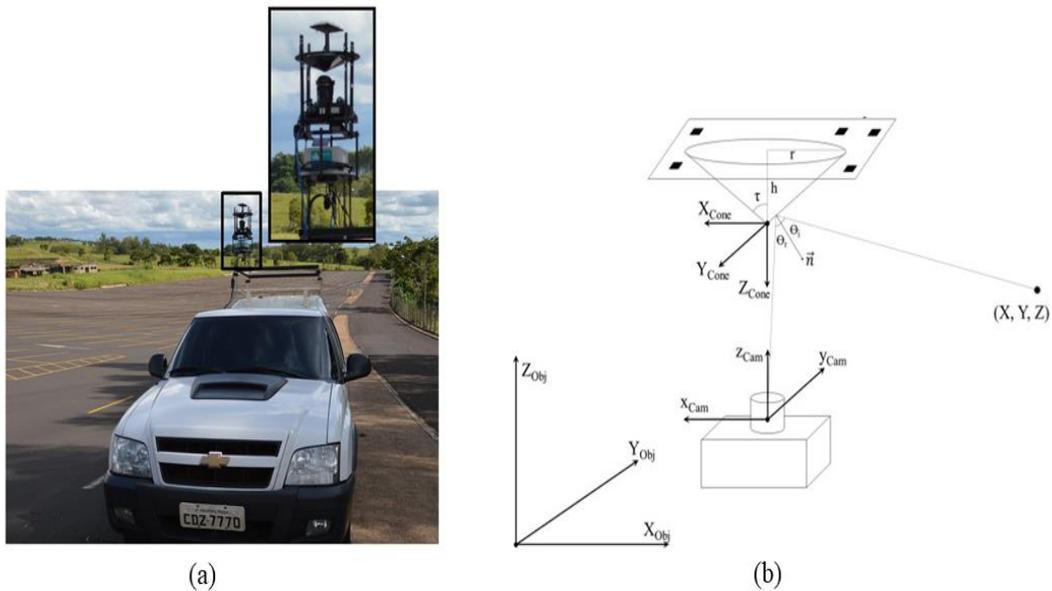
Para obter medidas confiáveis, objetivo da Fotogrametria, exige-se a calibração do sistema, em que os parâmetros dos modelos matemáticos são estimados. A calibração do sistema é dividida em calibração interna e da plataforma. Marcato Junior et al. (2014) realizaram a calibração interna do sistema catadióptrico composto por uma câmara e um espelho cônico. No entanto, nesse artigo os autores não realizaram a calibração da plataforma.

O objetivo principal desse trabalho consiste em realizar a calibração da plataforma de um SVO composto por uma câmera e um espelho cônico.

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

Na calibração da plataforma objetiva-se estimar os parâmetros de orientação da câmara ou do SVO com relação ao referencial do espaço objeto. A orientação pode ser realizada de forma direta, indireta ou integrada. Em Fotogrametria, a orientação direta de imagens consiste na determinação dos parâmetros de orientação exterior (posição e atitude) da imagem no instante da exposição fotográfica (CRAMER; STALLMANN; HAALA, 2000) com sensores externos à câmara. Os Sistemas Terrestres de Mapeamento Móvel (STMM), em geral, são dotados de sistemas de georreferenciamento direto compostos por receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e IMU (*Inertial Measurement Unit*). Apresenta-se, por meio da Figura 1.a, o SVO embarcado em STMM, o qual contém um sistema de georreferenciamento direto SPAN-CPT da Novatel. A partir dos dados do sistema de georreferenciamento direto é possível calcular as coordenadas de um ponto imageado no referencial do espaço objeto. Para tanto, é necessário conhecer os ângulos de *boresight* do referencial da IMU para o referencial do cone, e o *lever arm* (braço) da antena GNSS para o vértice do cone. A calibração da plataforma consiste em calcular esses parâmetros, três translações ( $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$ ) e três rotações  $\omega_{IMU}^{Cone}$ ,  $\phi_{IMU}^{Cone}$  e  $\kappa_{IMU}^{Cone}$ . A geometria de aquisição das imagens omnidirecionais e os referenciais envolvidos nesse processo são apresentados na Figura 1.b.

Figura 1 – SVO: (a) Sistema Terrestre de Mapeamento com o SVO embarcado; (b) Geometria de aquisição de imagens omnidirecionais.



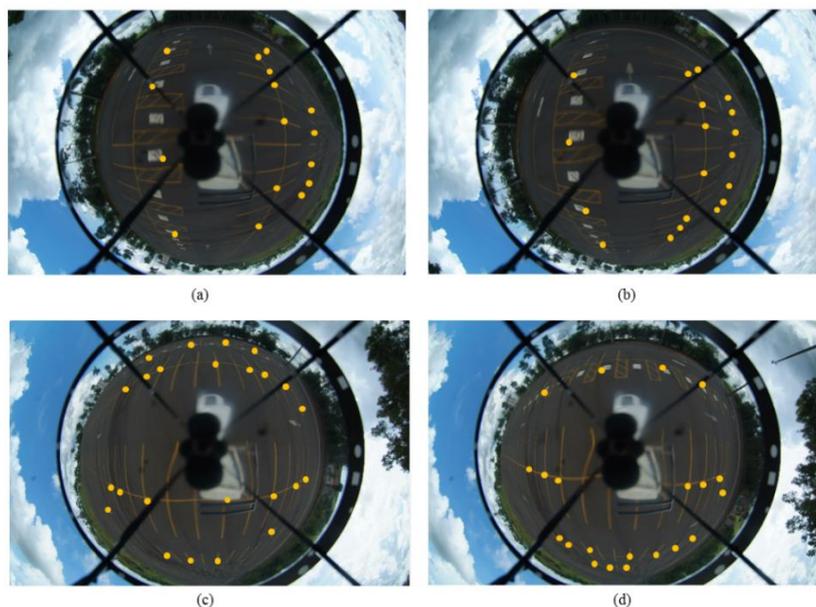
Fonte: MARCATO JUNIOR; TOMMASELLI; MORAES (2016).

### 2.1 Estimação dos ângulos de boresight

Para estimar os ângulos de *boresight* ( $\omega_{IMU}^{Cone}$ ,  $\phi_{IMU}^{Cone}$  e  $\kappa_{IMU}^{Cone}$ ) foram usadas quatro imagens coletadas pelo SVO no estacionamento do campus III da Unoeste (Universidade do Oeste Paulista). As quinas entre as linhas que definem as vagas do estacionamento possibilitam gerar uma rede de pontos. Optou-se por esse estacionamento por se tratar de um local amplo com boa distribuição de pontos.

As imagens do SVO foram orientadas indiretamente utilizando 24 pontos de apoio, os quais foram levantados com receptores GNSS no modo RTK (*Real Time Kinematic*). No levantamento em tempo real, a precisão das coordenadas planimétricas foi de aproximadamente 1,5 cm, e da coordenada altimétrica de aproximadamente 2,5 cm. A Figura 2 apresenta as quatro imagens usadas na estimação dos ângulos de *boresight* e a distribuição dos pontos de controle nessas imagens.

Figura 2 – Imagens coletadas pelo SVO usadas na estimação dos ângulos de *boresight* e distribuição dos pontos de apoio.



Fonte: Os autores (2020).

Os ângulos de orientação do referencial do cone para o referencial do espaço objeto ( $\omega_{Cone}^{Obj}$ ,  $\phi_{Cone}^{Obj}$ ,  $\kappa_{Cone}^{Obj}$ ) foram estimados por orientação indireta das quatro imagens por meio do procedimento descrito em (ROMERO-RAMIREZ; MUNÓZ-SALINAS; MEDINA-CARNICER, 2018; GARRIDO-JURADO et al., 2016). O sistema de georreferenciamento direto proporciona a posição da antena GNSS e a matriz de rotação da IMU em relação ao referencial do terreno. A partir destas duas matrizes, pode-se determinar os ângulos de *boresight*. A Eq. 1 apresenta o cálculo da matriz de rotação do referencial da IMU com relação ao referencial do cone, denominada de matriz dos ângulos de *boresight*.

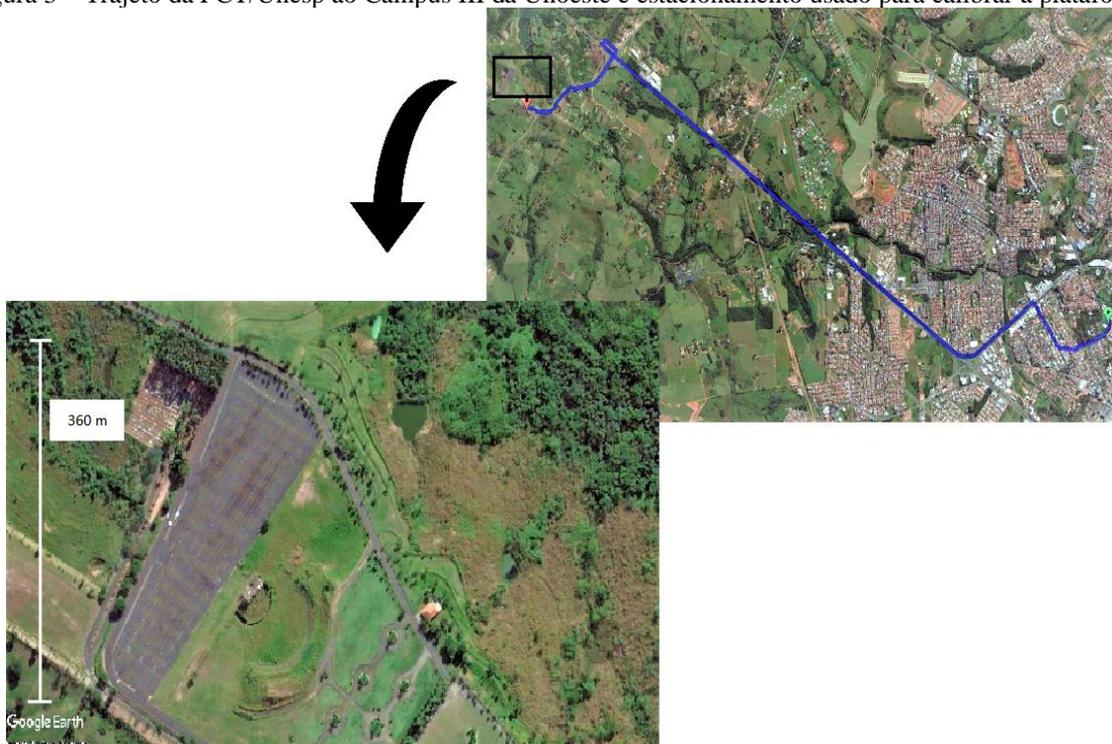
$$R_{IMU}^{Cone} = R_{IMU}^{Obj} R_{Obj}^{Cone} \tag{1}$$

A estimação dos ângulos de *boresight* foi realizada com o uso do *software Waypoint Grafnav*. A qualidade dos ângulos de rotação proporcionados pela matriz  $R_{IMU}^{Obj}$  está diretamente relacionada ao processo de alinhamento do sistema de georreferenciamento direto com o norte magnético, que nesse caso foi realizado de forma dinâmica, em movimento. No processo de alinhamento dinâmico são realizadas manobras em formato de 8 (*eight patern maneuver*), forçando o sistema inercial a mudanças bruscas de orientação e, conseqüentemente, à realização de medidas do campo magnético da Terra em diferentes orientações, necessárias à realização do alinhamento do sistema.

Logo após a inicialização do sistema foram realizadas as manobras em formato de 8 com o veículo para a realização do alinhamento dinâmico do inercial. No decorrer do trajeto da FCT/Unesp (Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista) ao local de coleta das imagens, o alinhamento foi mantido através da realização de manobras de zig-zag nos trechos sem tráfego da rodovia para possibilitar mudanças de orientação da plataforma, uma vez que longos trechos de deslocamento em trajetória retilínea, ou com pouca variação de azimute, tendem a acelerar o efeito de deriva do sistema inercial.

Já ao chegar na área de estudo, as manobras em formato de 8 foram repetidas antes do início da aquisição das imagens visando o refinamento do alinhamento do sistema inercial. A Figura 3 ilustra o trajeto percorrido de aproximadamente 12 km, bem como o estacionamento usado para realizar a calibração do sistema GNSS/IMU com relação ao referencial do cone.

Figura 3 – Trajeto da FCT/Unesp ao Campus III da Unoeste e estacionamento usado para calibrar a plataforma.



Fonte: Adaptada de Google Earth (2020).

## 2.2 Estimação dos parâmetros de translação

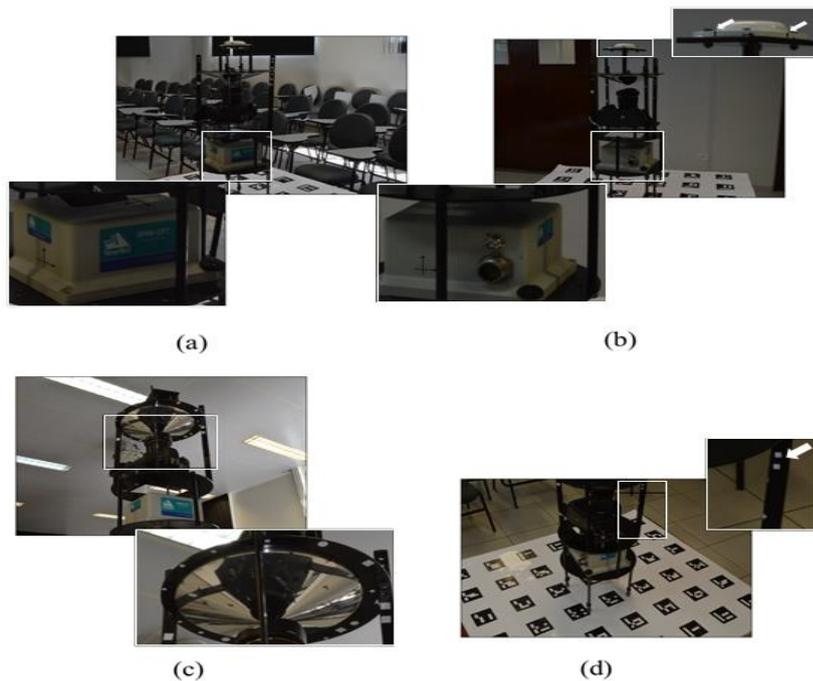
Para estimar o *lever arm* ( $b_x$ ,  $b_y$ ,  $b_z$ ) foram tomadas 27 imagens com a câmara Nikon D3200 do SVO sobre uma placa com alvos ARUCO (ROMERO-RAMIREZ; MUNÓZ-SALINAS; MEDINA-CARNICER, 2018; GARRIDO-JURADO et al., 2016). As coordenadas no referencial da placa 2D dos quatro cantos de cada alvo foram usadas como apoio para fototriangular o bloco de imagens, sendo suas coordenadas imagem determinadas automaticamente (SILVA; TOMMASELLI; ARTERO, 2014). A fototriangulação foi realizada no programa TMS (Triangulação MultiSensor) (MARCATO JUNIOR, 2011), e os pontos na superfície do espelho e os pontos no entorno do espelho foram considerados como fotogramétricos. Como pode-se notar na Figura 4, alguns alvos foram inseridos nas hastes do SVO, e serviram como pontos de enlace entre as imagens na fototriangulação. Isso foi necessário, pois os alvos ARUCO não aparecem em algumas imagens. A Figura 4.c ilustra uma imagem sem alvos ARUCO, e a Figura 4.d mostra pontos localizados em uma das hastes.

Na antena GNSS foram marcados quatro pontos (ver Figura 4.b e Figura 5). As coordenadas dos pontos na antena GNSS foram estimadas por meio da fototriangulação no referencial da placa.

Assim como foi realizado na modelagem do espelho cônico (MARCATO JUNIOR; TOMMASELLI; MORAES, 2016), ajustou-se a equação do cone com as coordenadas dos pontos na superfície do espelho. Após a estimação dos parâmetros que relacionam os referenciais da placa e do cone, as coordenadas de todos os pontos, incluindo os quatro pontos na antena GNSS, foram transformadas para o referencial do cone.

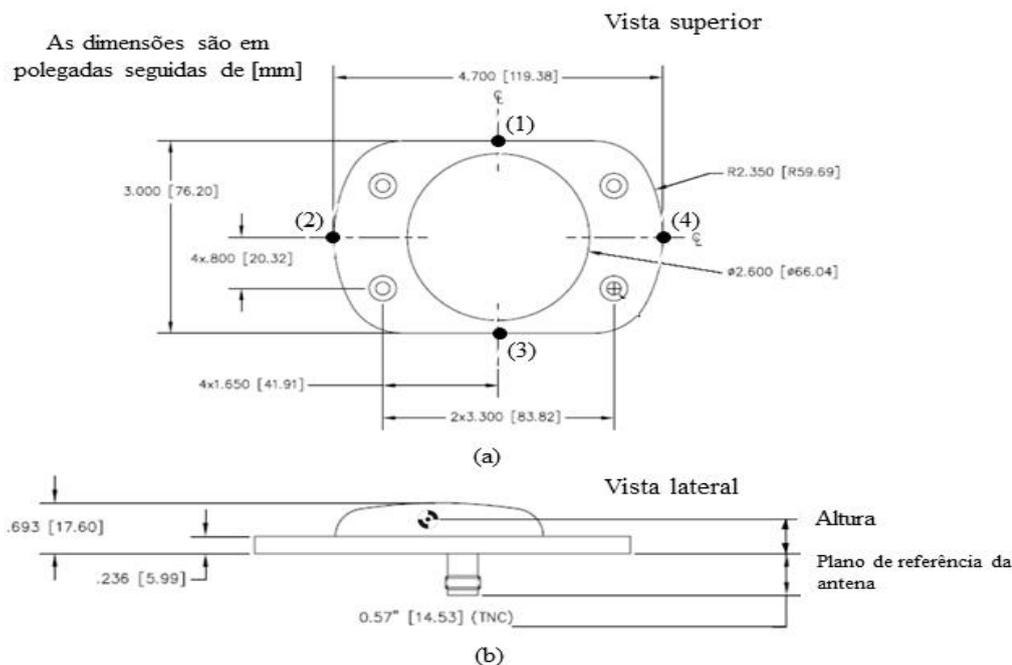
As coordenadas das quatro marcas referenciadas ao sistema do cone na antena GNSS, ilustradas na Figura 5, foram usadas para calcular o centro geométrico da antena no referencial do cone, a partir da intersecção da reta que passa pelos pontos 1 e 3 com a reta que passa pelos pontos 2 e 4.

Figura 4 – Exemplos de imagens usadas para a estimação do *lever arm*: (a) Destaque para a IMU; (b) Marcas na antena GNSS em destaque; (c) Imagem sem alvos ARUCO com destaque para os pontos do espelho cônico; (d) Marcas nas hastes.



Fonte: Os autores (2020).

Figura 5 – Especificações e geometria da antena GNSS: (a) Visão superior; (b) Visão lateral.



Fonte: Adaptado de NOVATEL (2013).

### 3 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

A calibração da plataforma consiste em estimar o *lever arm* no referencial do cone e os ângulos de *boresight* que relacionam o referencial do cone com o referencial da IMU.

#### 3.1 Estimação dos parâmetros de translação

Aplicou-se a fototriangulação por feixes de raios com as 27 imagens mencionadas na seção 2.2 objetivando estimar as coordenadas dos quatro pontos marcados na antena GNSS.

Na fototriangulação, as coordenadas desses quatro pontos foram estimadas no referencial da placa, que estava sob o SVO. Essas coordenadas foram transformadas para o referencial do cone usando a Eq. 2, e são apresentadas na Tabela 1.

$$\begin{pmatrix} X_{Cone} \\ Y_{Cone} \\ Z_{Cone} \end{pmatrix} = R_{Placa}^{Cone} \begin{pmatrix} X_P - X_C \\ Y_P - Y_C \\ Z_P - Z_C \end{pmatrix} \quad (2)$$

Tabela 1 – Coordenadas dos quatro pontos da antena GNSS no referencial do cone.

ID	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	-0,058	-0,013	-0,145
2	0,012	-0,027	-0,145
3	0,054	0,031	-0,145
4	-0,015	0,045	-0,145
Média	-	-	-0,145
Desvio Padrão	-	-	0,0003

Fonte: Os autores (2020).

Ao analisar as coordenadas apresentadas na Tabela 1, nota-se que o desvio padrão das coordenadas Z é menor que 0,3 mm. Portanto, adotou-se a média das coordenadas Z dos quatro pontos, como sendo o valor de  $b_z$ . A partir da interseção da reta 2D definida pelos pontos 1 e 3, com a reta 2D que passa pelos pontos 2 e 4, calcularam-se as coordenadas do centro geométrico da antena no referencial do cone, que corresponde ao *lever arm*, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – *Lever arm* calculado no referencial do cone.

$b_x$ (m)	$b_y$ (m)	$b_z$ (m)
-0,002	0,009	-0,145

Fonte: Os autores (2020).

Nota-se, pela Tabela 2, que o centro geométrico da antena GNSS está deslocado aproximadamente 1 cm em planimetria (X e Y) com relação ao vértice do cone. A incerteza na estimação do *lever arm* resulta, principalmente, de erros causados pela marcação manual dos quatro pontos na antena GNSS, e realizada com o auxílio de um paquímetro. Nesse caso, supondo-se que o erro na marcação dos pontos foi de 1 mm, o erro gerado na interseção das retas será menor que 5 mm. Embora a posição das marcas foi medida com paquímetro de resolução 0,2 mm, as marcações foram realizadas com uso de marcador permanente (caneta de retroprojeto) cuja ponta é mais grossa que 0,2 mm. Não foi utilizado marcador com pontas mais finas, pois impossibilitaria a visualização da marca. Por isso, foi considerado o erro de marcação de 1 mm.

O erro de 5 mm é, no mínimo, 10 vezes menor que a precisão obtida com o receptor GNSS no modo cinemático, o que indica uma qualidade adequada para o valor estimado para o *lever arm*.

### 3.2 Estimação dos ângulos de *boresight*

O primeiro passo para estimar os ângulos de *boresight* foi orientar indiretamente um bloco com quatro imagens coletadas pelo SVO. Nesse caso, considerou-se um desvio-padrão igual a 0,3 mm para as coordenadas dos pontos de reflexão ( $R_x, R_y, R_z$ ). Adotou-se esse valor pois os resíduos na modelagem do espelho cônico, em alguns pontos, foram maiores que 0,2 mm.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros estimados que transformam do referencial do cone para o referencial do espaço objeto.

Tabela 3 – Parâmetros de transformação do referencial do cone para o referencial do espaço objeto estimados com o modelo de colinearidade de um bloco de quatro imagens.

Im.	$\omega_{Cone}^{Obj}$ (°)	$\phi_{Cone}^{Obj}$ (°)	$\kappa_{Cone}^{Obj}$ (°)	$X_V$ (m)	$Y_V$ (m)	$Z_V$ (m)
1	182,96849 (±0,0473)	4,41916 (±0,0594)	119,00378 (±0,0886)	448769,828 (±0,031)	7556561,071 (±0,032)	428,277 (±0,010)
2	182,22813 (±0,0535)	4,66379 (±0,0667)	121,87200 (±0,1025)	448776,974 (±0,038)	7556573,039 (±0,036)	429,539 (±0,012)
3	182,43244 (±0,0668)	5,48119 (±0,0799)	29,86951 (±0,1363)	448780,665 (±0,042)	7556577,136 (±0,043)	430,067 (±0,015)
4	182,89165 (±0,0639)	5,21491 (±0,0697)	29,40806 (±0,1271)	448776,002 (±0,044)	7556580,000 (±0,037)	429,835 (±0,015)
Iterações: 5			$\sigma_0 = 1$			
Graus de liberdade: 216			$\hat{\sigma}_0 = 1,07$			

Fonte: Os autores (2020).

Ao aplicar o teste Qui-quadrado verifica-se que a hipótese básica não é rejeitada a um nível de significância de 5%. A partir dos ângulos apresentados na Tabela 3, é possível calcular a matriz de rotação que leva do referencial do espaço objeto para o referencial do cone ( $R_{Obj}^{Cone}$ ). O processamento dos dados do sistema de georreferenciamento direto no *software Waypoint Grafnav* proporcionaram os ângulos da matriz de rotação do referencial da IMU para o espaço objeto ( $R_{IMU}^{Obj}$ ) para as quatro imagens. Assim, é possível calcular a matriz de rotação do referencial da IMU com relação ao referencial do cone a partir da Eq. 3.

$$R_{IMU}^{Cone} = R_{IMU}^{Obj} \cdot R_{Obj}^{Cone} \tag{3}$$

A Tabela 4 apresenta os ângulos, calculados com o *software Waypoint Grafnav*, que transformam do referencial da IMU para o referencial do cone.

Tabela 4 – Ângulos de *boresight* do referencial da IMU para o referencial do cone estimados no software *Waypoint Grafnav*.

	$\omega_{\text{IMU}}^{\text{Cone}}$	$\phi_{\text{IMU}}^{\text{Cone}}$	$\kappa_{\text{IMU}}^{\text{Cone}}$
Valores (°)	-179,32048	-0,22808	173,17310
REQM (°)	10,08	12,66	27,20
Disc. mínima (')	-3,05	-22,43	-32,13
Disc. máxima (')	14,28	11,27	36,11

Fonte: Os autores (2020).

Pela análise da Tabela 4, pode-se notar que a RMSE (*Root Mean Square Error*) é maior no ângulo de rotação  $\kappa_{\text{IMU}}^{\text{Cone}}$ , em torno de 30 minutos de arco. Para os demais ângulos, a RMSE fica em torno de 10 minutos de arco. Na Tabela 3, verifica-se que os desvios-padrão estimados dos ângulos transformação do referencial do cone para o referencial do espaço objeto variam de 2 a 8 minutos de arco. A combinação desses ângulos com os ângulos oriundos do sistema de georreferenciamento direto (precisão em torno de 1'), justifica os valores de RMSE apresentados na Tabela 4.

#### 4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho objetivou-se realizar a calibração da plataforma de um sistema de visão omnidirecional composto por câmera e espelho cônico. Foram estimados: 1) os parâmetros que relacionam o sistema de georreferenciamento direto SPAN-CPT da Novatel com o sistema de imageamento, que nesse caso são os ângulos de *boresight*, que relacionam os referenciais da IMU e do cone; 2) as coordenadas do centro da antena GNSS no referencial do cone (*lever arm*).

Os ângulos de *boresight* foram estimados com um desvio-padrão de 10 a 30 minutos de arco. Para estimar esses ângulos foi necessário orientar indiretamente imagens coletadas pelo SVO com o uso de pontos de apoio.

Já o *lever arm* foi estimado por Fotogrametria à curta distância, com uma acurácia maior que 5 mm, o que é significativamente melhor se comparado à acurácia da posição proporcionada pelo sistema GNSS/IMU no modo cinemático, que é em torno de 5 a 10 cm.

Os resultados obtidos nesse estudo permitirão que o sistema desenvolvido seja usado em diversas aplicações a se destacar: geração de panorama, mapeamento de rodovias, geração de informações de controle, mapeamento de fachadas e equipamentos urbanos (postes, árvores, transformadores).

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o suporte da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), através da bolsa de Doutorado (p. 2010/16439-3), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul) através da concessão de financiamento para a realização da pesquisa (p. 477738/2009-5, p. 305111/2010-8, p. 456149/2014-7 e p. 59/300.066/2015). O presente trabalho foi realizado também com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

#### Contribuição dos Autores

Os autores José Marcato Junior e Antonio Maria Garcia Tommaselli contribuíram em todos os itens, desde a Conceptualização até a Redação – redação e revisão. Thales Shoiti Akiyama contribuiu na Visualização, Redação - minuta inicial e na Redação – revisão e edição. Marcus Vinícius Antunes de Moraes na Curadoria dos dados, Investigação, Validação, Redação - minuta inicial e Redação – revisão e edição. Vanessa Jordão Marcato Fernandes contribuiu na Análise forma, Redação - minuta inicial e na Redação – revisão e edição.

## Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

## Referências

- BAKER, S.; NAYAR, S. K. A Theory of Single-Viewpoint Catadioptric Image Formation. **International Journal of Computer Vision**, v. 35, n. 2, p. 175–196, 1999.
- CRAMER, M.; STALLMANN, D.; HAALA, N. Direct georeferencing using GPS/inertial exterior orientations for photogrammetric applications. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33, part B3, p. 198–205, 2000.
- GARRIDO-JURADO, S.; MUÑOZ-SALINAS, R.; MADRID-CUEVAS, F.; MEDINA-CARNICER, R. Generation of Fiducial Marker Dictionaries Using Mixed Integer Linear Programming. **Pattern Recognition**, v. 51, p. 481–491, 2016.
- MARCATO JUNIOR, J. **Fototriangulação em bloco de imagens orbitais com modelos rigorosos baseados em pontos e retas**. 2011. 119 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.
- MARCATO JUNIOR, J.; TOMMASSELLI, A. M. G.; MORAES, M. V. A. Calibration of a catadioptric omnidirectional vision system with conic mirror. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 113, p. 97–105, 2016.
- MARCATO JUNIOR, J.; TOMMASSELLI, A. M. G.; MORAES, M. V. A.; SILVA, S. L.A.; ARTERO, A.O. Calibration of panoramic cameras with coded targets and a 3D calibration field. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40, n. 3, p. 137, 2014.
- ROMERO-RAMIREZ, F. J.; MUNÓZ-SALINAS, R; MEDINA-CARNICER, R. Speeded Up Detection of Squared Fiducial Markers. **Image and Vision Computing**, v. 76, p. 38–47, 2018.
- SILVA, S. L. A.; TOMMASSELLI, A. M. G.; ARTERO, A. O. Utilização de Alvos Codificados do Tipo Aruco na Automação do Processo de Calibração de Câmaras. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 3, p. 626–646, 2014.
- SPACEK, L. A. A catadioptric sensor with mul-tiple viewpoints. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 51, n.1, p. 3–15, 2005.
- STURM, P.; RAMALINGAM, S.; TARDIF, J.; GASPARINI, S.; BARRETO, J. Camera Models and Fundamental Concepts Used in Geometric Computer Vision. **Computer Graphics and Vision**, v.6, n. 1-2, p. 1–183, 2011.
- TOMMASSELLI, A. M. G.; BERVEGLIERI, A.; MARCATO JUNIOR, J.; OLIVETE, A. L. On the generation of ground control scenes with mobile platforms. **International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT) - Proceedings of ISPRS**, Tainan, 2013.
- TOMMASSELLI, A. M. G.; BERVEGLIERI, A. A. L. Automatic Orientation of Multi-Scale Terrestrial Images for 3D Reconstruction. **Remote Sensing**, v. 6, n. 4, p. 3020–3040, 2014.

## Biografia do autor principal



José Marcato Junior nasceu em 1986 no município de Santo Anastácio, SP. Possui graduação em Engenharia Cartográfica pela FCT/Unesp, Presidente Prudente, SP. Possui mestrado e doutorado em Ciências Cartográficas pela mesma instituição. Atualmente é professor adjunto na UFMS, Campo Grande, MS. É editor associado do periódico Measurement (Elsevier), e atua como revisor em diversas revistas de alto impacto na área de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria. É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq (2020-2022).



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.