

## PROCESSAMENTO SfM DE ACERVO FOTOGAMÉTRICO: USO DO AEROLEVANTAMENTO DO MUNICÍPIO DE VILA VELHA-ES REALIZADO PELO PROJETO GERCA NA DÉCADA DE 1970

Wimerson Sanches Bazan<sup>1</sup>, Leonardo Polese Alves<sup>2</sup>, Antonio Arlindo Gonçalves<sup>3</sup>, Jessé Dias Monteiro<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Ifes, wimerson.bazan@ifes.edu.br; leonardo@ifes.edu.br; gonalves@ifes.edu.br;<sup>3</sup>Agehr, jesse.monteiro@agerh.es.gov.br

### RESUMO

As atividades de gestão territorial desempenhadas pela SPU demandam por alternativas que possam suprir a necessidade de uso da cartografia histórica que é rara e muitas vezes inexistente. Posto isto, propõe-se uma solução de baixo custo para o processamento e controle de qualidade posicional de produtos fotogramétricos gerados a partir de acervos fotográficos antigos e pelo uso da fotogrametria SfM. A etapa de controle de qualidade posicional tomou como base os padrões definidos pelo Decreto 89.817/84, além de estudos realizados sobre o tema. A etapa de validação desta proposta, utilizou-se do acervo do município de Vila Velha-ES, cujo aerolevanteamento foi realizado pelo grupo GERCA em meados de 1970. Quando testados, o Ortomosaico gerado alcançou PEC classe A na escala 1:16.000, enquanto o MDE foi aferido como Classe A para uma equidistância vertical de 22 m.

**Palavras-chave** — fotogrametria SfM, fotogrametria histórica, controle de qualidade posicional, PEC.

### ABSTRACT

*Territorial management activities performed by the SPU demand alternatives that can meet the need to use historical cartography, which is rare and often non-existent. That said, we propose a low-cost approach for the processing and positional quality control of photogrammetric products generated from old photographic collections, using SfM photogrammetry. The positional quality control stage was based on the standards defined by Decree 89,817/84, in addition to studies carried out on the subject. The validation stage of this proposal used the photographic coverage of Vila Velha-ES, carried out by the GERCA group in the mid-1970s. When evaluated, the Orthomosaic generated reached PEC class A at 1:16,000 scale map, while the DEM achieved Class A for a contour lines interval of 22 m.*

**Key words** — SfM photogrammetry, historical photogrammetry, positional quality control, PEC.

### 1. INTRODUÇÃO

Desde 1913, quando o avião foi utilizado pela primeira vez para fins de mapeamento [1], a aerofotogrametria tem sido a principal técnica aplicada à produção cartográfica. A

Secretaria de Patrimônio da União - SPU lida com a gestão do território e todas as derivações que vêm de políticas públicas [5], relacionadas com a gestão fundiária e patrimonial, o que torna imprescindível o acesso à cartografia histórica, que muitas vezes é rara e até mesmo inexistente.

Muitos segmentos, públicos e privados, detêm a posse de acervos fotográficos, cujo verdadeiro potencial de uso é subestimado. É o caso do aerolevanteamento realizado em meados de 1970 pelo Grupo Executivo de Racionalização da Cafeicultura – GERCA, no estado do Espírito Santo. O acervo fotográfico em preto e branco foi digitalizado nos anos 2016/2017 e disponibilizado no portal GEOBASES – em formato TIFF, com resolução de 600dpi – pelo Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN. O acervo em papel está sob a guarda do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal – IDAF.

Recentemente a fotogrametria digital passou por uma revolução que impactou na forma, aplicações, e custo dos processamentos. Trata-se da tecnologia *Structure from Motion (SfM)*, que permite a modelagem tridimensional a partir de imagens, mesmo com baixa qualidade radiométrica e geométrica.

Os trabalhos de [6] e [7] trazem resultados promissores no que concerne ao processamento de fotografias históricas por fotogrametria SfM. Nessa perspectiva, o software *Agisoft Metashape*, da *Agisoft LLC*, alcançou expertise em processamento de imagens por esta tecnologia, estando preparado inclusive para o processamento de fotografias de origem analógica, pelo uso ou não das marcas fiduciais, com a possibilidade de calibração das lentes em serviço, já que muitos dos acervos não acompanham mais o certificado de calibração da câmara que se perdeu com o tempo.

Posto isto, este trabalho propõe uma alternativa de baixo custo para o processamento e controle de qualidade posicional de produtos fotogramétricos, gerados a partir de acervos fotográficos antigos e pelo uso da fotogrametria SfM. A etapa de controle de qualidade posicional toma como base os padrões definidos pelo Decreto 89.817/84 [3], além dos estudos realizados por [2], [4] e [9].

### 2. MATERIAL, PROCEDIMENTOS E MÉTODOS

A alternativa de baixo custo proposta por este trabalho contempla as seguintes etapas: preparação dos dados; processamento SfM do acervo fotogramétrico e controle de qualidade do Ortomosaico e MDE – Modelo Digital de Elevação, conforme apresentado pelo fluxograma da Figura 1.

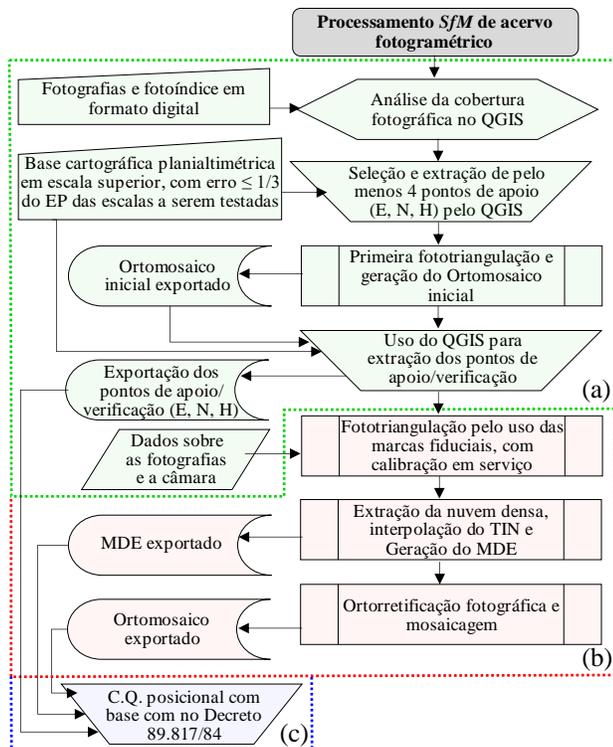


Figura 1. Fluxograma das três etapas para o processamento de acervo: (a) preparação dos dados, (b) processamento SfM e (c) controle de qualidade dos produtos.

### 2.1. Preparação dos Dados

Pelo SIG – Sistema de Informações Geográficas QGIS, extrai-se as coordenadas de pelo menos 4 detalhes bem distribuídos ao longo da área, com base no fotoíndice, para geração de um ortomosaico inicial.

A confrontação do ortomosaico com a base cartográfica em escala superior permite identificar e selecionar todos os outros pontos de apoio/verificação. As coordenadas (E, N, H) são extraídas da base cartográfica planialtimétrica de escala superior, dando saída a um arquivo TXT (Figura 1a)

Com base nos pré requisitos apresentados por [4], [8] e [9], atenta-se ao fato de que os erros inerentes à base cartográfica de escala superior não devem ultrapassar 1/3 do erro padrão (EP) das escalas que serão testadas na etapa de controle de qualidade posicional dos produtos (Figura 1c).

### 2.2. Processamento SfM de Acervos Fotogramétricos

O processamento SfM precisa ser capaz de realizar a fototriangulação com calibração das lentes em serviço, além do que, deve fornecer uma alternativa ao uso das marcas fiduciais calibradas já que, em muitos casos, o certificado de calibração da câmara inexistente. O software *Agisoft Metashape*, por exemplo, ajusta as coordenadas das marcas fiduciais em função de suas medidas nas imagens. Depois de executada a

fototriangulação, a nuvem de pontos densa é extraída e adotada na geração do MDE.

O MDE dá entrada ao processo de ortorretificação das imagens, posteriormente mosaicadas. Ambos os produtos, MDE e Ortomosaico, são exportados (Figura 1b) e importados no SIG para a medição das coordenadas dos pontos de verificação, dando saída a um arquivo TXT que servirá de entrada à etapa de controle de qualidade (Figura 1c)

### 2.3. Controle de Qualidade do Ortomosaico e MDE

O Decreto 89.817/84 [3], define que “90% dos pontos bem definidos em uma carta, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC”

A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o erro padrão - EP (PEC = 1,6449 × EP). As cartas, segundo sua exatidão, são classificadas em A, B e C, como função da escala cartográfica do produto (E<sub>C</sub>) e da equidistância vertical das curvas de nível (Eqd.) (Tabela 1)

Classe PEC	Planimetria		Altimetria	
	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5 x E <sub>C</sub>	0,3 x E <sub>C</sub>	1/2 Eqd.	1/3 Eqd.
B	0,8 x E <sub>C</sub>	0,5 x E <sub>C</sub>	3/5 Eqd.	2/5 Eqd.
C	1,0 x E <sub>C</sub>	0,6 x E <sub>C</sub>	3/4 Eqd.	1/2 Eqd.

Tabela 1. Classes de exatidão cartográfica A, B e C.

O controle de qualidade posicional afere se os produtos cartográficos estão de acordo com a acurácia requerida, tendo em vista o seu propósito de uso. A acurácia é avaliada pelas componentes: tendência e precisão. Os erros aleatórios, associados à precisão, tendem a se comportar de forma normal, o que pode ser aferido por um teste de normalidade como, por exemplo, o *Shapiro-Wilk*, adotado por [2].

Para produtos fotogramétricos, os testes de hipótese são realizados com base na média ( $\overline{\Delta_E}, \overline{\Delta_N}, \overline{\Delta_H}$ ) e desvio-padrão amostral ( $\overline{S_{\Delta_E}}, \overline{S_{\Delta_N}}, \overline{S_{\Delta_H}}$ ) das discrepâncias ( $\Delta_E, \Delta_N, \Delta_H$ ) entre pontos de verificação medidos sobre o Ortomosaico (E, N) e MDE (H) e seus correspondentes valores de referência.

#### Análise de tendência

A análise de tendência pela distribuição “t-student” (t), verifica estatisticamente se ( $\overline{\Delta_E} = 0, \overline{\Delta_N} = 0, \overline{\Delta_H} = 0$ ), com base no teste de hipóteses do Quadro 1.

$$t_E = \frac{\overline{\Delta_E}}{S_{\Delta E}} \sqrt{n} \Rightarrow |t_E| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \Rightarrow H_0: \overline{\Delta_E} = 0, \text{ contra } H_1: \overline{\Delta_E} \neq 0$$

$$t_N = \frac{\overline{\Delta_N}}{S_{\Delta N}} \sqrt{n} \Rightarrow |t_N| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \Rightarrow H_0: \overline{\Delta_N} = 0, \text{ contra } H_1: \overline{\Delta_N} \neq 0$$

$$t_H = \frac{\overline{\Delta_H}}{S_{\Delta H}} \sqrt{n} \Rightarrow |t_H| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \Rightarrow H_0: \overline{\Delta_H} = 0, \text{ contra } H_1: \overline{\Delta_H} \neq 0$$

Quadro 1 – Teste de hipóteses para análise de tendência.

A  $H_0$  (hipótese nula) é aceita quando o valor em módulo do “t”, calculado a partir de  $(\Delta_E, \Delta_N, \Delta_H)$ , é inferior ao valor teórico de “t”, com  $(n - 1)$  graus de liberdade e um nível confiança  $(1 - \alpha) = 90\%$  [3], sendo  $\alpha$  o nível de significância. Caso contrário, aceita-se  $H_1$  (hipótese alternativa)

### Análise de precisão

A análise de precisão pela distribuição “qui-quadrado” ( $\chi^2$ ), verifica estatisticamente se  $(\overline{S_{\Delta E}} = \sigma_E, \overline{S_{\Delta N}} = \sigma_N, \overline{S_{\Delta H}} = \sigma_H)$ , baseado no teste de hipóteses do Quadro 2, sendo  $(\sigma_E, \sigma_N, \sigma_H)$  o erro padrão esperado (EP planimétrico e altimétrico – Tabela 1).

$$\chi_E^2 = \frac{S_{\Delta E}^2}{\sigma_E^2} (n - 1) \Rightarrow \chi_E^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \Rightarrow H_0: S_{\Delta E}^2 = \sigma_E^2, \text{ contra } H_1: S_{\Delta E}^2 > \sigma_E^2$$

$$\chi_N^2 = \frac{S_{\Delta N}^2}{\sigma_N^2} (n - 1) \Rightarrow \chi_N^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \Rightarrow H_0: S_{\Delta N}^2 = \sigma_N^2, \text{ contra } H_1: S_{\Delta N}^2 > \sigma_N^2$$

$$\chi_H^2 = \frac{S_{\Delta H}^2}{\sigma_H^2} (n - 1) \Rightarrow \chi_H^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \Rightarrow H_0: S_{\Delta H}^2 = \sigma_H^2, \text{ contra } H_1: S_{\Delta H}^2 > \sigma_H^2$$

Quadro 2 – Teste de hipóteses para análise de precisão.

A  $H_0$  é aceita quando o valor do  $\chi^2$ , calculado a partir de  $(\overline{S_{\Delta E}}, \overline{S_{\Delta N}}, \overline{S_{\Delta H}})$  e  $(\sigma_E, \sigma_N, \sigma_H)$ , é menor ou igual ao valor teórico do  $\chi^2$ , para  $n$  pontos de verificação e nível de significância  $\alpha$ . Caso contrário, aceita-se  $H_1$ .

### 2.4 Dados Utilizados para Validação da Proposta

Os dados utilizados neste trabalho foram:

- ✓ 64 fotografias de Vila Velha-ES (projeto GERCA), com escala de 1:25.000, em TIFF e com resolução de 600 dpi, tomadas pela câmara RMK A 15/23 (focal de 153 mm) a uma altura de voo de 3850m;
- ✓ Fotoíndice digital da cobertura fotográfica;
- ✓ Ortomosaico e MDE de 2015, referenciados ao SIRGAS 2000 UTM 24S, para extração dos pontos de apoio/verificação.

## 3. RESULTADOS

Com base no ortomosaico inicial, foi possível selecionar 40 pontos de apoio e 28 de verificação (Figura 2a), cujas coordenadas (E, N, H) foram extraídas do Ortomosaico e MDE de 2015 (Figura 2b).

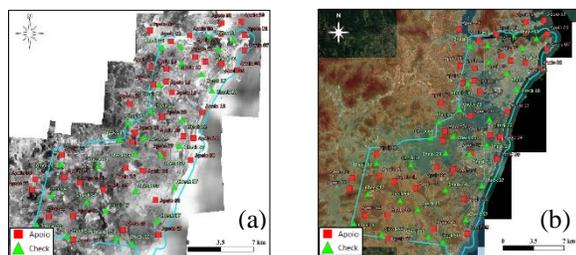


Figura 2. (a) Seleção dos pontos de apoio/verificação (check) e (b) extração das coordenadas (E, N, H).

O mapeamento de 2015 foi testado pelo uso de 23 pontos de verificação, levantados por GNSS pela empresa executora do mapeamento, antes de sua adoção para extração dos pontos de apoio/verificação, apresentando os seguintes resultados: Ortofotomosaico PEC A para  $E_C = 1:2000$ ; e MDE PEC A para uma Eqd. = 3m. Num primeiro momento, o teste do MDE acusou tendência, que foi minimizada pela subtração do valor médio das discrepâncias em H (0,96m) de todas as coordenadas altimétricas extraídas.

Devido à ausência do certificado de calibração da câmara, adotou-se o uso da calibração em serviço. Inicialmente, foram realizados dois processamentos SfM: o primeiro, ignorando o uso das marcas fiduciais; o segundo, adotando as coordenadas das marcas ajustadas pelo Agisoft Metashape.

A raiz do erro quadrático médio (REQM), calculada a partir dos resíduos entre as coordenadas dos pontos de apoio fototrianguladas e seus respectivos valores de campo, são apresentados pela Tabela 2.

1° Processamento			2° Processamento		
REQM <sub>E</sub>	REQM <sub>N</sub>	REQM <sub>H</sub>	REQM <sub>E</sub>	REQM <sub>N</sub>	REQM <sub>H</sub>
2,523m	1,935m	2,651m	1,866m	1,324m	1,654m
REQM <sub>Resultante</sub> =		4,140 m	REQM <sub>Resultante</sub> =		2,823 m
Resíduos das fotocoordenadas		3,375 pixels	Resíduos das fotocoordenadas		2,175 pixels

Tabela 2. Valores de REQM resultantes do primeiro e segundo processamentos.

A Figura 3 apresenta o Ortomosaico e MDE da década de 1970, resultantes do segundo processamento que apresentou melhores resultados (vide Tabela 2), exportados com resolução de 1 m e 2 m, respectivamente.

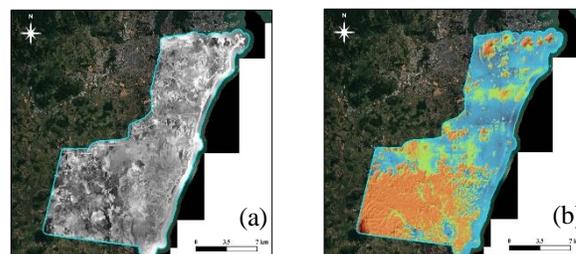


Figura 3. (a) Ortomosaico e (b) MDE da década de 1970, sobrepostos ao ortomosaico de 2015.

Os resultados alcançados pelo controle de qualidade dos Ortomosaico e MDE são apresentados na Tabela 3. O ortomosaico foi testado com base  $E_C = 1:16.000$ , enquanto que o MDE foi testado com base na Eqd. = 22 m.

Ressalta-se que os valores do EP relativos à  $E_C = 1:16.000$  e Eqd. = 22 são inferiores a 1/3 do PEC planimétrico e altimétrico alcançados pelo teste de qualidade da base de 2015, conforme pré-requisitos mencionados na seção 2.1, lembrando que o Ortofotomosaico foi classificado como PEC A para  $E_C = 1:2000$  e o MDE PEC A para uma Eqd. = 3m.

Decreto 89.817/84	Ortomosaico			MDE
	E	N	Result.	H
$\bar{\Delta}_{(E,N,H)}$	0,843 m	0,003 m	3,880 m	0,902 m
$S_{\bar{\Delta}_{(E,N,H)}}$	3,600 m	2,543 m	2,133 m	6,630 m
Teste Shapiro-Wilk	Amostra Normal	Amostra Normal	-	Amostra Normal
$E_C$ /Eqd. testada	1:16.000			22 m
PEC / EP	12,800 m / 7,782 m			11,000 m / 7,333 m
$t_{\text{calculado}}$	1,2385	0,0065	-	0,7200
$t_{\text{teórico}}$	1,7033			
$\chi^2_{\text{calculado}}$	29,5780	14,7582	-	22,0633
$\chi^2_{\text{teórico}}$	36,7412			
$\Delta_{(E,N,H)} < PEC$	96,43%	100%	92,86%	92,86%
Classe PEC	A			A

Tabela 3. Dados gerados pelo controle de qualidade do Ortomosaico e MDE da década de 1970.

#### 4. DISCUSSÃO

Seguindo as três etapas propostas pelo fluxograma da Figura 1, foi possível gerar o Ortomosaico e MDE a partir do acervo fotogramétrico do projeto GERCA, utilizando pontos de apoio extraídos de uma base cartográfica em escala superior, cujo PEC Planialtimétrico não excedeu 1/3 do EP relativos à  $E_C$  e Eqd testados.

A desfasagem temporal de 45 anos dificultou bastante a tarefa de seleção de detalhes fotoidentificáveis comuns às duas épocas (Figura 2), conferindo maior grau de incerteza ao processo de pontaria dos pontos de apoio e verificação, o que potencializou a introdução de erros adicionais às etapas de fototriangulação e controle de qualidade, respectivamente.

A baixa qualidade das fotografias, potencializada pela má preservação, deformação e danificação das marcas fiduciais, não representa o melhor cenário para fins fotogramétricos. Contudo, considera-se que os resultados foram bastante satisfatórios, mesmo pelo uso das marcas fiduciais ajustadas pelo próprio software, visto que, em relação ao primeiro processamento, o segundo conduziu a uma redução de 32% no valor da REQM resultante, como esperado (Tabela 2).

O Ortomosaico e MDE puderam ser gerados e exportados (Figura 3) com razoável resolução espacial e o destaque fica por conta do Ortomosaico, classificado como PEC A na  $E_C = 1:16.000$  (Tabela 3), o que representa uma ampliação de 1,56 vezes em relação a escala original do acervo fotográfico que é de 1:25.000. O MDE foi classificado como PEC A para uma equidistância de 22 m, compatível com a escala de 1:44.000 (Tabela 3).

#### 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a proposta apresentada por este trabalho é viável, mesmo em condições desfavoráveis, permitindo produzir e aferir a qualidade posicional dos produtos gerados a partir de acervos. Além disso, gera-se uma expectativa de que os resultados podem ser ainda melhores, se o acervo fotográfico apresentar melhor preservação, acompanhar o certificado de calibração da câmara, e apresentar menor desfasagem temporal com relação à base cartográfica utilizadas para extração dos pontos de apoio e verificação.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] A. M. G. Tommaselli. Fotogrametria básica. *Presidente Prudente: UNESP*. p. 5-18, 2009.
- [2] A. P. Santos et al. Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 22, p. 630-650, 2016.
- [3] Brasil, Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984. *Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, 1984.
- [4] D. C. Merchant. Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps, *Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping*, v. 1, p. 222-231, 1982.
- [5] D. J. Menezes, C. S. Sampaio, T. P. L. Franco. Módulo de Geoinformação do Sistema de Gestão Integrada dos Imóveis Públicos Federais: A Catalogação de Geometadados. In: *IICIDESP – Congresso Internacional de Desempenho do Setor Público*, p. 2860-2870, 2018.
- [6] F. Condorlli, F. Rinaudo. Cultural Heritage Reconstruction from Historical Photographs and Videos. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, v. 42.2, p. 259-265, 2018.
- [7] J. Walstra et al. Time for change-quantifying landslide evolution using historical aerial photographs and modern photogrammetric methods. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 35.4, p. 475-480, 2004.
- [8] M. B. Campos et al. Análise de Requisitos para Avaliação de Qualidade Geométrica no Registro do Patrimônio Arquitetônico com Técnicas Fotogramétricas. In: *III Seminário Internacional Sobre Documentação do Patrimônio Arquitetônico com o Uso de Tecnologias Digitais*. Editora da UFPB, 2014.
- [9] M. Galo, P. O. Camargo. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: *Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*, v. 1, p. 41-48, 1994.