

Aplicação do fotorrealismo preciso de pequenos monumentos utilizando Fotogrametria Digital a curta distância com câmera de *smartphone*

Deniezio dos Santos Gomes^{1*}, Francisco Jaime Bezerra Mendonça², Lismariane da Silva Cardoso³, Mariana Sarah Suica Torres⁴, Tiago Fernando de Holanda⁵

¹Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. (*Autor correspondente: deniezio@hotmail.com)

²Doutor em Oceanografia, Professor na Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³Mestranda em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁴Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁵Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.

Histórico do Artigo: Submetido em: 18/12/2020 – Revisado em: 16/01/2021 – Aceito em: 18/01/2021

RESUMO

A Fotogrametria possui ferramentas relevantes para obtenção de formas e dimensões, uma de suas aplicações está relacionada ao levantamento de monumentos históricos que são registros indispensáveis para o estudo da história do passado, pois imortalizam fatos que tiveram grande importância em outras épocas. Com base nisso, o presente artigo objetiva analisar, a partir dos resultados extraídos de um modelo fotorrealista 3D, a possibilidade de se empregar imagens obtidas utilizando uma câmera digital integrada de um *smartphone* na documentação de pequenos monumentos. Para isso, foi tomado como objeto de estudo um busto, do qual foram registradas fotografias realizando a cobertura total do monumento e também foram feitas as medições com trena de algumas feições deste busto. Na etapa seguinte, foram realizados, com o uso do software Contextcapture, todos os processamentos necessários para obtenção do modelo fotorrealista 3D. Por fim gerou-se um relatório com resultados como propriedades e estatísticas da aerotriangulação e parâmetros de calibração da câmera. Com o modelo gerado foram comparadas as distâncias mensuradas neste com as distâncias mensuradas no busto físico com o uso da trena. As discrepâncias encontradas foram satisfatórias, não ultrapassando dois milímetros. Conclui-se que é viável a utilização de câmeras de *smartphone* para documentação de pequenos monumentos, facilitando a realização desta operação que possui suma importância na história da sociedade.

Palavras-Chaves: Fotogrametria Digital, Pequeno Monumento, Fotorrealismo.

Application of photorealism of small monuments using Digital Photogrammetry the short distance with camera of *smartphone*

ABSTRACT

Photogrammetry has relevant tools for obtaining shapes and dimensions, one of its applications is related to the survey of historical monuments that are indispensable registries for the study of the history of the past, as they immortalize facts that had great importance in other epochs. Based on this, the present article objective analyze, based on the results extracted from a photorealistic 3D model, the possibility of get employed images obtained using a *smartphone's* integrated digital camera in the documentation of small monuments. For this, a bust was taken as the object of study, from which photographs were taken covering the monument for complete and too were made the measurement with measuring tape of some features. In the next step, all the necessary processing to obtain the photorealistic 3D model were performed, using the Contextcapture software. Finally, a report was generated with results such as aerotriangulation properties and statistics and camera calibration parameters. With the model generated, distances measured in this one were compared with the distances measured in the physical bust using the measuring tape. The discrepancies found were satisfactory, not exceeding two millimeters. It is concluded that the use of *smartphone* cameras for the documentation of small monuments is feasible, facilitating the performance of this operation, which is extremely important in the history of society.

Keywords: Digital Photogrammetry, Small Monument, Photorealism.

Gomes, D. S., Mendonça, F. J. B., Cardoso, L. C., Torres, M. S. S., Holanda, T. F. (2020). Aplicação do fotorrealismo preciso de pequenos monumentos utilizando Fotogrametria Digital a curta distância com câmera de *smartphone*. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.1, n.3, p.02-11.



1. Introdução

Soluções na área de *mobile* são a tendência atual do mercado. Os telefones inteligentes ou *smartphones*, como são atualmente chamados os telefones móveis, estão se tornando cada vez mais populares na sociedade porque fornecem uma série de funções para as quais eram necessários diferentes dispositivos para a realização no passado. Com componentes físicos (*Hardware*) cada vez mais poderoso e sistemas robustos as câmeras que integram esses dispositivos são sempre um requisito importante para os usuários na hora da escolha e obtenção dos mesmos.

Desde o seu surgimento em meados do século XIX, a Fotogrametria é considerada como a ciência e a arte de obter informações confiáveis a partir de fotografias e tem se mostrado uma ferramenta importante para a obtenção de formas e tamanhos. Historicamente, uma das primeiras aplicações da fotogrametria relacionava-se com o levantamento de monumentos históricos. Durante muito tempo, o uso desta tecnologia limitou-se à produção de mapas planialtimétricos a partir de fotografias aéreas (cartografia). Este campo permitiu que a Fotogrametria obtivesse grandes avanços (Groetelaars, 2004).

Bens culturais de natureza materiais ou imateriais são as ferramentas básicas para estudar a história e compreender a vida dos indivíduos na sociedade (Amorim; Moreira, 2007). Monumentos são bens culturais materiais com um certo grau de autoestima. Eles alcançam o propósito de imortalizar a imagem de uma pessoa ou fatos altamente relacionados com a história da sociedade. Portanto, é necessário preservar a importância histórica dessa pessoa, para que esta seja conhecida pelas gerações futuras (Schuler, et al. 2018).

Por volta da década de 1980, com o advento das câmeras digitais e *scanners*, a tecnologia da Fotogrametria tornou-se digital, o que ajudou a expandir seu uso. Uma grande inovação na tecnologia da Fotogrametria Digital foi o uso de imagens digitais como a principal fonte de dados (Coelho; Brito, 2007). Essas imagens digitais podem ser obtidas diretamente por uma câmera digital, ou podiam ser obtidas por digitalização matricial de imagens analógicas por meio de um *scanner*.

No período clássico da Fotogrametria Arquitetônica, câmeras, instrumentos e circunstâncias especiais eram restritos. Atualmente, qualquer câmera e instrumento mais simples podem ser utilizados na Fotogrametria Digital, tornando-se mais flexíveis e abrindo as portas para novas tecnologias e aplicações (Waldhäusl, 1992; Grün, 1992, apud Westphal, 1999).

Diante do exposto, o presente artigo visa analisar os resultados obtidos de um modelo fotorrealista 3D com imagens adquiridas com a câmera digital integrada de um smartphone, visando avaliar a possibilidade do seu uso para atividades de documentação de pequenos monumentos, para tal o processamento das imagens foi realizado no programa ContextCapture e os resultados comparados com resultados de trabalhos anteriores.

2. Material e Métodos

2.1 Objeto de estudo

Para a realização do presente artigo, foi utilizado como objeto de estudo um pequeno monumento, um busto em homenagem ao Dr. Manoel Rego, que foi o fundador do Clube de Engenharia de Pernambuco. Manoel Rego é uma das principais figuras da engenharia brasileira, fundou a Escola Livre de Engenharia em Pernambuco e é conhecido nacionalmente.

O monumento fica localizado na entrada principal do centro de Tecnologia e Geociências (CTG) do Campus Joaquim Amazonas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O motivo da escolha deste monumento como experiência é a existência de trabalhos anteriores, que servem de base para os resultados de comparação, são eles: Reconstrução Tridimensional de Formas Arquitetônicas Através da Fotogrametria Terrestre Digital (Andrade; Schuler, 2011); e Fotografias de Pequeno Formato na Reconstrução 3D Precisa de Monumentos (Schuler et al. 2018).

Vale ressaltar que nos trabalhos citados as etapas metodológicas são quase semelhantes, mas os programas utilizados para o processamento das imagens se diferem, neste caso o *PhotoModeler* e o *Aigsoft PhotoScan* respectivamente. Na Figura 1, tem-se o mapa de localização e o objeto de estudo.

Figura 1 – Mapa de localização e Objeto de estudo.



2.2 Materiais

Os materiais utilizados para a obtenção dos dados para a realização do presente artigo, foram: um *smartphone* da marca Xiaomi, modelo mi 5, com câmera digital integrada de 16 megapixels de resolução, um braço alongador (*monopod*) cuja extensão varia de 22 cm a 80 cm e uma trena metálica (Figura 2).

Optou-se por utilizar os programas de Fotogrametria Digital da Bentley, o processamento das imagens foi realizado com a utilização do programa *ContextCapture*, as medições no modelo foram realizadas utilizando o *ContextCapture Viewer* e as vistas do modelo foram realizadas utilizando as ferramentas do *ContextCapture Editor*. Ressalta-se que a utilização destes programas foi realizada mediante licença acadêmica cedida no Programa *Bentley Select* com a *Bentley: Advanced Infrastructure*, cuja Universidade Federal de Pernambuco possui um contrato de parceria.

Figura 2 – Materiais utilizados.



2.3 Aquisição das imagens

Para aquisição das imagens foi utilizado um smartphone, e sua câmera digital integrada possuía as especificações descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Especificações da câmera do Xiaomi mi 5.

Elementos	Especificações
Distância focal	4,3 mm
Abertura	f/2
Velocidade do obturador	1/(1000-32)
Sensor	Complementary Metal-Oxide Semiconductor – CMOS (Semicondutor Complementar de Óxido Metálico)
Tamanho do pixel	1,132 μ m
Resolução	16 megapixels (4.608 x 3.456) pixels

Fonte: Device Specifications (s.d.).

De acordo com essas especificações descritas na Tabela 1 para câmera do *smartphone*, para imagens obtidas ortogonalmente a uma distância de 1 metro do objeto, de acordo com a Equação 1, tem-se uma resolução espacial de 0,3 mm, o que implica um alto grau de detalhes nas fotografias.

$$B = \frac{b * hg}{f} \quad (1)$$

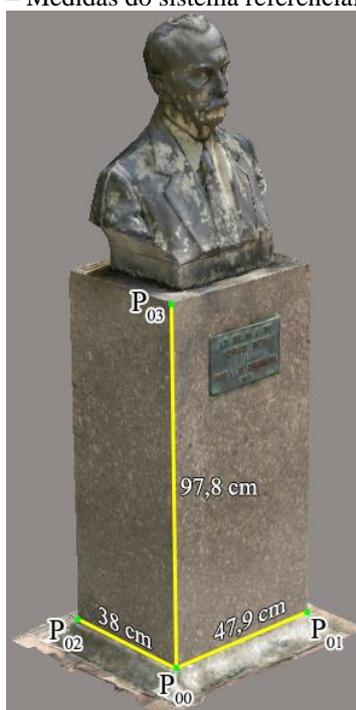
Em que; B = GSD = *Ground Sample Distance* (Distância de amostra do solo) = resolução espacial; b = tamanho do píxel; hg = altura de vôo = distância do foco ao objeto; f = distância focal da câmera.

As fotografias foram registradas com uma distância aproximada de 1 metro do busto, com a câmera em posições variadas tanto ortogonais como oblíquas e em alturas variadas com e sem o auxílio do braço alongador, este que foi principalmente utilizado para tomadas das fotografias vistas de cima do monumento pois sem o uso do mesmo não seria possível. Foram tomadas fotografias de modo que se obtivesse uma cobertura total do busto e do pilar base e que se tivesse a visualização dos pontos homólogos em quantidade considerável em várias fotografias. Ao final foram registradas um total de 192 fotografias.

2.4 Sistema de referência arbitrado

No local, assim como Schuler et al. (2018), a fim de dimensionar o modelo 3D e criar um sistema de referência arbitrado, três medições foram feitas usando uma trena metálica, uma horizontal na base frontal do pilar, uma horizontal na base da face esquerda do pilar e uma vertical na aresta formada pela interseção da face frontal e esquerda do pilar, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Medidas do sistema referencial arbitrado.



O canto inferior esquerdo da face frontal do pilar base da estrutura foi tomado como origem do sistema, denominado de P_{00} cuja coordenadas adotadas foram $(0; 0; 0)$ cm, a partir das distâncias medidas com a trena metálica foram determinadas as coordenadas dos demais pontos do sistema: $P_{01} = (47,9; 0; 0)$ cm, $P_{02} = (0; 38; 0)$ cm e $P_{03} = (0; 0; 97,8)$ cm.

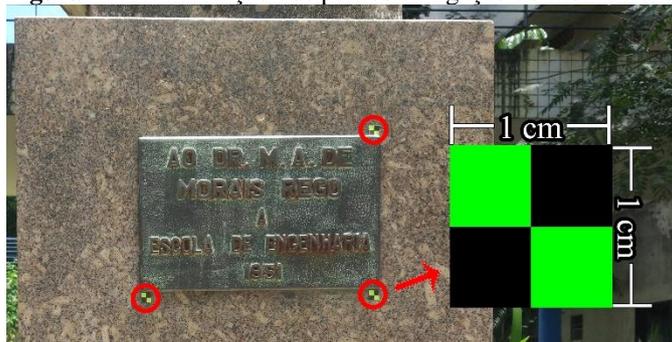
2.5 Processamento e geração do modelo fotorrealista no ContextCapture

Este programa é uma ferramenta que pode ser utilizada por qualquer profissional e pode gerar modelos 3D detalhados a partir de fotografias. A Figura 4 mostra o fluxo de dados que orienta esse processo.

Figura 4 – Etapas para a construção de um modelo fotorrealista 3D no ContextCapture.

Fonte: ContextCapture (2021).

Inicialmente, as fotos são carregadas no *ContextCapture*, onde a câmera é calibrada automaticamente e seus parâmetros de orientação internos são definidos. Em seguida, na aba "survey", inseriu-se as coordenadas arbitradas dos pontos de controle naturais P_{00} , P_{01} e P_{02} e estes foram posicionados nas fotos em que tinham fácil visualização. Devido à dificuldade em determinar a sua posição, o ponto natural P_{04} não foi usado como ponto de controle no programa. Para melhorar escala vertical do modelo 3D, foram inseridos manualmente três pontos de ligação (*tie point*), que no busto foram sinalizados com papéis adesivos de 1 cm por 1 cm na face frontal do pilar base do monumento. Os pontos de ligação foram configurados de acordo com o que pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Identificação dos pontos de ligação no monumento.

Em seguida, é realizada a aerotriangulação. Este é o processo de densificação dos pontos de controle usados para a associação entre a imagem aérea e o sistema de coordenadas do mapeamento, a partir de poucos pontos de coordenadas conhecidos nos dois sistemas (foto e terreno). O objetivo da aerotriangulação é orientar a imagem capturada de forma que qualquer ponto medido na imagem tenha coordenadas relacionadas ao sistema previamente definido (Kugler, 2008).

O modelo matemático da aerotriangulação no *ContextCapture* usa ajuste de feixe (*bundle adjustment*), que considera uma equação de colinearidade que associa pontos no espaço de objeto tridimensional com pontos no espaço de imagem bidimensional. Um mínimo de três pontos de controle, com coordenadas tridimensionais conhecidas, é necessário para o georreferenciamento (Mikhail; Bethel & McGlone, 2001).

Concluída a etapa da aerotriangulação, seguiu-se o processamento para a reconstrução tridimensional do modelo. Dentre as opções disponíveis, para o presente artigo foi criada uma malha 3D com textura (*3D mesh*), pois com esta opção já é possível a visualização e análise para o objetivo do trabalho.

Após o processamento foi gerado um modelo tridimensional fotorrealista do objeto. Este então foi carregado no programa *ContextCapture Viewer*, que é a ferramenta de visualização do *ContextCapture*, que já permitiu obter os dados para a análise proposta no objetivo deste artigo. No *ContextCapture Viewer* foi usado sua ferramenta de medição (*measurements*), nas funções "Distance" e "Coordinate".

3. Resultados e Discussão

Finalizada a aerotriangulação é disponibilizado o Relatório de Qualidade (*Quality Report*), que exhibe com detalhes as principais propriedades e estatísticas da aerotriangulação. O relatório é dividido em três partes:

Sumário do Projeto (*Project Summary*), Calibração da Câmera (*Camera Calibration*) e Erros dos Pontos de Controle (*Control Points Errors*). Na Tabela 2 estão descritos os parâmetros de calibração na câmera determinados no ContextCapture.

Tabela 2 – Resultado da calibração da câmera do Xiaomi mi5.

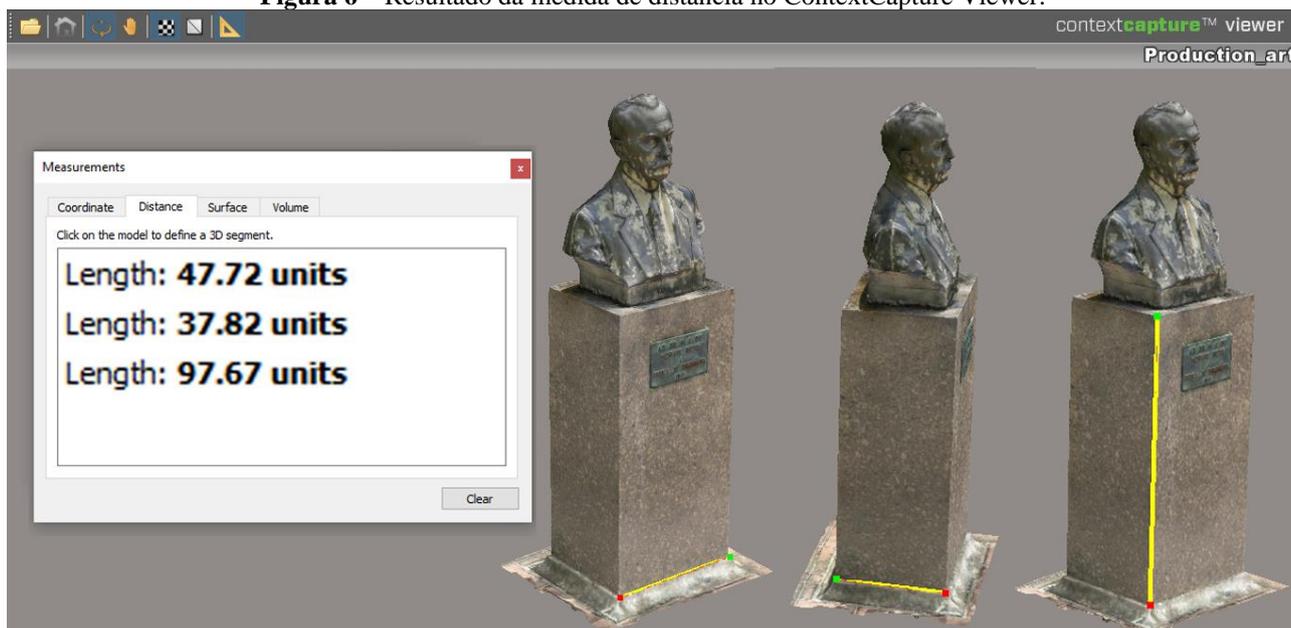
Elementos	Resultados
Distância focal	4,263 mm
Coordenada X ₀ do ponto principal	2.237,64 pixels
Coordenada Y ₀ do ponto principal	1.611,25 pixels
Coeficientes de distorção radial da lente	K ₁ -0,0964
	K ₂ 0,0918
	K ₃ -0,0244

Fonte: ContextCapture (2021).

O valor nominal da distância focal câmera do *smartphone* que nas especificações consta como sendo de 4,3 mm, após a calibração resultou em um valor real de 4,263 mm. Andrade e Schuler (2011) citam que é muito importante calibrar a câmera para que não haja grandes diferenças na produção de produtos fotogramétricos.

Em relação ao modelo fotorrealista 3D, foram analisados as diferenças de distâncias entre os pontos obtidos em campo e os pontos obtidos no software *ContextCapture Viewer*. A Figura 6 mostra as distâncias medidas no modelo com a ferramenta “*Measurements*”.

Figura 6 – Resultado da medida de distância no ContextCapture Viewer.



Fonte: ContextCapture Viewer (2021).

Enquanto a Tabela 3 traz a comparação entre as três medidas realizadas no busto físico e no modelo 3D.

Tabela 3 – Comparação das medições de distância das feições no busto físico e no modelo fotorrealista.

Distância	Medida em campo	Medido no Modelo	Discrepância
P ₀₀ -P ₀₁	0,479 m	0,477 m	- 0,002 m
P ₀₀ -P ₀₂	0,380 m	0,378 m	- 0,002 m
P ₀₀ -P ₀₃	0,978 m	0,977 m	- 0,001 m

Observa-se que as discrepâncias entre os valores absolutos encontrados na medição do busto físico e do modelo ficaram na entre 1 mm e 2 mm, o valor médio das discrepâncias foi de 1,7 mm.

Foi realizado o comparativo entre as coordenadas dos pontos P₀₀, P₀₁ e P₀₂ definidas no busto físico e determinadas digitalmente no *ContextCapture Viewer*, cujo valores encontrados estão na Tabela 4, destaca-se que para uma melhor visualização dos resultados os resultados foram convertidos para milímetros.

Tabela 4 – Comparativo entre os resultados das coordenadas obtidas no busto físico e no modelo.

id	Coord. Campo (mm)			Coord. Modelo (mm)			Discrepâncias (mm)				
	X	Y	Z	X	Y	Z	Δ_X	Δ_Y	Δ_Z	Δ_{XY}	Δ_{XYZ}
P ₀₀	0,0	0,0	0,0	-0,9	-1,0	1,3	0,9	1,0	-1,3	1,3	1,9
P ₀₁	479,0	0,0	0,0	478,3	0,1	-0,6	0,7	-0,1	0,6	0,7	0,9
P ₀₂	0,0	380,0	0,0	-0,7	379,5	1,1	0,7	0,5	-1,1	0,9	1,4

As diferenças encontradas são satisfatórias porque variam de 0 mm a 2 mm em valores absolutos. O erro médio plano (Δ_{XY}) foi de 1,0 mm, e o erro médio tridimensional (Δ_{XYZ}) era) foi de 1,4 mm. Ao calcular o erro quadrático médio, encontrou-se que EMQ = 3,2 mm, enquanto Schuler et al. (2018) encontraram que EMQ = 1,5 mm, no entanto, mesmo com esta diferença a mais no EMQ, pode-se concluir que o modelo 3D deste estudo possui excelente acurácia.

Calculou-se novamente as distâncias no modelo fotorrealista 3D, desta vez em função das coordenadas obtidas com a ferramenta (*measurement*) do *ContextCapture Viewer*, conforme as Equações 2 e 3.

$$d_{ij} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (2)$$

$$d_{ik} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Z^2} \quad (3)$$

Os resultados encontrados, estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Comparativo entre as distâncias determinadas com a trena e pelas coordenadas.

Distância	Medida com a trena	Por coordenadas	Discrepância
P ₀₀ -P ₀₁	47,9 cm	47,9 cm	0,0 cm
P ₀₀ -P ₀₂	38,0 cm	38,0 cm	0,0 cm
P ₀₀ -P ₀₃	97,8 cm	97,6 cm	0,2 cm

Observa-se que os resultados das distâncias P₀₀-P₀₁ e P₀₀-P₀₂ coincidiram, enquanto para P₀₀-P₀₃ ocorreu uma diferença de 0,2 cm. Agora ao se analisar as diferenças encontradas entre as distâncias determinadas com

a ferramenta “*measurement*” (Figura 6) e a partir do cálculo das coordenadas, encontram-se os seguintes valores absolutos, para $P_{00}-P_{01}$ e $P_{00}-P_{02}$ encontrou-se 0,2 cm, enquanto, para $P_{00}-P_{03}$ encontrou-se 0,1 cm. Para todas as discrepâncias encontradas, os valores não ultrapassaram 2 mm (0,2 cm), estando assim, todos estes, dentro da acurácia determinada para o modelo que foi de 3,2 mm (0,3 cm). Ressalta-se que as diferenças entre as distâncias em função das coordenadas do modelo e medidas diretamente no modelo, podem ter sido por não exatidão do cursor sobre o mesmo pixel no modelo 3D durante a execução dessas duas etapas distintas.

Por fim, no *ContextCapture Editor* que é a ferramenta de edição do *ContextCapture*, foram geradas as vistas do modelo fotorrealista, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Vistas frontal, direita, topo, esquerda e fundo do monumento.



Fonte: ContextCapture Editor (2021).

4. Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, é possível tirar uma conclusão positiva, ou seja, considerando que as câmeras da maioria dos *smartphones* atuais possuem características semelhantes às do utilizado neste trabalho, a possibilidade de utilizar câmeras de *smartphones* para registrar pequenos monumentos pode ser considerada possível, pois levando em conta os resultados encontrados para acurácia e nível de detalhes suprem a necessidade para este tipo de operação. O processamento das imagens utilizando o *ContextCapture* apresentou confiabilidade em estudos para a reconstrução fotorrealista tridimensional de objetos. Ao comparar os resultados obtidos em Schuler et al. (2018), podemos inferir que os resultados encontrados neste experimento são tão consistentes quanto as medidas realizadas e a qualidade dos produtos produzidos. Deste modo a aplicação da modelagem no *ContextCapture*, *Viewer* e *Editor* se mostraram redundantes, intuitivas, além de demandar pouco tempo de processamento, o único ponto negativo é a separação dos trabalhos por programas, quando comparado aos trabalhos de Andrade e Schuler (2011) e Schuler et al. (2018) em que os programas utilizados executavam todas as etapas dos processos.

Por fim, para o presente artigo não foram gerados modelos de mosaicos de ortofotos, pois este não era o objetivo em questão para o mesmo, porém este processo é facilmente realizado no *ContextCapture Editor*.

5. Agradecimentos

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por meio do Departamento de Engenharia Cartográfica (DECart) e através do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação (PPGCGTG). À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro.

6. Referências

- Amorim, A. L., Moreira, D. C. (2007). Técnicas de Reconstituição e de Restituição Digital de Fachadas em Edificações Históricas: Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação**, v. 1, n. 4, p.143-148.
- Andrade, H. J. L. F., Schuler, C. A. B. (2011, abril). Reconstrução Tridimensional de Formas Arquitetônicas Através da Fotogrametria Terrestre Digital. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, PR, Brasil, 7.
- Coelho, L., Brito, J. N. (2007) **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ. 196p.
- Device Specifications. (s.d.) **Xiaomi Mi 5 Standard Edition - Specifications**. [S.l.]. Disponível em: <https://www.devicespecifications.com/en/model/e1d53a6c>. Acesso em: 16/10/2019.
- Groetelaars, N. J. (2004). **Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. Dissertação de mestrado, Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 257p, Brasil.
- Kugler, A. (2008). **Aerotriangulação Digital**. [S.l.]. Disponível em: https://esteio.com.br/downloads/2008/aerotriangulacao_digital.pdf. Acesso em: 20/10/2019.
- Mikhail, E.M., Bethel, J. S., & McGlone, J. C. (2001). **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: Wiley, 496p.
- Schuler, C. A. B., Silva, A. N., Patriota, R. C., Nascimento, R. K. O., Weber, E. (2018, novembro). Fotografias de pequeno formato na reconstrução 3D precisa de pequenos monumentos. **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, PE, Brasil, 7.
- Westphal, F. S. (1999). **A Fotogrametria Arquitetural Digital como ferramenta ao planejamento urbano**. 1999. Dissertação de mestrado, Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 116 p, Brasil.