

Estudo comparativo entre a acurácia posicional planimétrica de ortofotos com GSD médio distintos

Priscila de Lima e Silva ¹
Diego Teles da Cruz ¹
Afonso de Paula dos Santos ¹

¹ Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Engenharia Civil
{priscila.l.silva; diego.teles; afonso.santos}@ufv.br

Resumo. A utilização de ortofotos providas de levantamento aéreo por VANT é crescente ultimamente, devido a possibilidade de se obter produtos de alta resolução espacial, com altas taxas de revisita e com custos relativamente baixos. No entanto, em muitos casos não se tem uma grande preocupação com a qualidade geométrica dos produtos gerados. Desta forma, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo da acurácia posicional planimétrica de duas ortofotos com GSD médio distintos, sendo uma ortofoto com GSD médio igual a 4,2 cm e outra a 10,2 cm, ambas representando a mesma área de estudo. Para avaliar a acurácia posicional planimétrica foi analisada a existência de tendência nas ortofotos e a classificação destas, de acordo com os critérios do Decreto Nº 89.817 aliado à Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Os resultados encontrados foram semelhantes, nenhuma ortofoto apresentou tendência e ambas foram consideradas acuradas na Classe C para a escala 1:1000. O que permite concluir que, para este estudo, a resolução espacial não promoveu diferença significativa na qualidade geométrica da imagem.

Palavras-chave: Acurácia posicional planimétrica, resolução espacial, ortofoto

Abstract. The use of orthophotos from UAV surveys has been increasing lately, due to the possibility of obtaining spatial high resolution products with high revisiting rates from this technology with relatively low costs. However, in many cases there is not much concern about the geometric quality of the generated products. In this way, the goal of this work is to conduct a comparative study of the planimetric positional accuracy of two orthoimages with different GSD, where one orthophoto has an average GSD of 4.2 cm and the other 10.2 cm in the same area of study. In order to evaluate the planimetric positional accuracy, the existence of a trend in orthophotos and its classification was analyzed according to the criteria of the Decree No. 89.817, along with the Technical Specification for Geospatial Data Quality Control (ET-CQDG). In relation to the evaluated products, one orthophoto has GSD of 4.2 cm and the other 10.2 cm. The results found were similar, none of the orthophotos presented a trend and both were considered accurate in Class C for the 1: 1000 scale. This allows to conclude that, for this study, the spatial resolution did not promote significant difference in the geometric quality of the image.

Keywords: Planimetric positional accuracy, spatial resolution, orthophoto

1. Introdução

Nas últimas décadas, a cartografia passou por uma grande mudança, fruto do avanço tecnológico e consequente progresso dos instrumentos e técnicas de mapeamento. Um exemplo deste avanço é o surgimento dos veículos aéreos não tripulados (VANT), denominação dada a qualquer veículo aéreo que voa sem tripulantes e possua um operador localizado no solo (Eisenbeiss, 2004). Segundo Ferreira et al. (2013), esse tipo de equipamento demonstra vantagens técnicas e econômicas, proporcionando o imageamento de pequenas regiões com alta taxa de visita e resolução espacial.

As ortofotos são uns dos principais produtos obtidos a partir um aerolevante executado por VANT. Conforme Costa & De Amorim (2009), elas são resultantes do processo de retificação diferencial, onde são corrigidos os deslocamentos gerados pela projeção perspectiva, pela inclinação da câmara fotográfica e pelo relevo. O GSD (*Ground Sample Distance*) médio é uma das variáveis mais importantes a ser previamente definida no mapeamento aéreo, responsável pelo nível de detalhamento desejado nas ortofotos. Ele é a representação do pixel de uma imagem em unidades de terreno, e está relacionada diretamente à altitude de voo.

Com o surgimento dessas novas tecnologias, um grande aumento de produtos cartográficos pôde ser testemunhado, e como demonstra Galo & Camargo (1994), muitas vezes a qualidade geométrica é esquecida ou simplesmente considera-se que o produto usado é “geometricamente adequado”. As incertezas são intrínsecas em trabalhos cartográficos, por causa dos erros relacionados aos equipamentos e técnicas utilizadas. Assim, o controle de qualidade objetiva identificar as incoerências e discrepâncias existentes nesses produtos.

Merchant (1982) mostra que a avaliação da qualidade posicional de produtos cartográficos pode ser executada em duas fases: tendência e precisão. A tendência, que é relacionada aos erros sistemáticos, é detectada através da aplicação de um teste estatístico fundamentado na distribuição “t” Student. Segundo Santos (2016), pode-se aplicar a Média Direcional e Variância Circular como alternativa, visto que este é um teste estatístico espacial que não carece de seguir uma distribuição estatística específica. Já o resultado acerca da precisão é obtido ao aplicar as condições do Decreto N° 89.817 aliada à Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).

Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar a acurácia posicional planimétrica de duas ortofotos, com GSDs médios distintos, obtidas a partir de levantamentos aéreos executados por diferentes VANTS. Através deste estudo busca-se avaliar a influência da resolução espacial na qualidade geométrica de ortoimagens. Foram determinadas as

discrepâncias planimétricas dos produtos tomando-se como referência pontos de checagem levantados com sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*), e a avaliação foi feita empregando-se o software GeoPEC 3.4.

Esse estudo foi realizado visando a aplicação de aerolevantamentos por VANT em áreas de difíceis acesso como o pantanal. Por ser a maior planície alagada do mundo, esse bioma possui regiões que sempre estão submersas e outras que permanecem alagadas por diversos meses. Desse modo, seria inviável a execução desse trabalho na própria região pantaneira, não sendo possível a utilização de pontos de apoio bem definidos em campo, bem como a coleta e processamento de seus dados empregando métodos convencionais de topografia. Outro fator importante é a alta resolução temporal do VANT em comparação à aerofotogrametria tradicional, possibilitando uma maior frequência na obtenção de imagens referentes ao pantanal devido a facilidade de se realizar os voos. Interessante para essa região, local onde, por exemplo, há grandes alterações em sua hidrografia durante todo o ano, permitindo o monitoramento dessas mudanças.

2. Padrão de acurácia brasileiro

A norma brasileira adota, para a avaliação de acurácia posicional, as tolerâncias PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) e EP (Erro-Padrão) estabelecido pelo Decreto nº 89.817, de 1984. Estas tolerâncias são dependentes da escala e classe utilizada na avaliação da qualidade posicional do produto testado. Nero (2005) e Santos (2010) explicitam que o Decreto Nº 89.817 é confuso quanto à sua metodologia de avaliação. Assim, em 2010, a INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) propôs a Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) para complementar a norma anterior. A ET-ADGV criou uma classe mais restritiva para produtos cartográficos digitais, chamada de PEC-PCD, demonstrada na Tabela 1. Em 2016, a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) elaborou a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) para auxiliar a determinação da qualidade posicional pelo Decreto nº 89.817 aliada à ET-ADGV.

Tabela 1 - Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrica (Decreto-lei nº 89.817 aliada à ET-ADGV)

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria	
		PEC	EP
-	A	0,28 mm x escala	0,17 mm x escala
A	B	0,5 mm x escala	0,3 mm x escala
B	C	0,8 mm x escala	0,5 mm x escala
C	D	1,0 mm x escala	0,6 mm x escala

Duas condições devem ser cumpridas para a classificação da acurácia posicional de um produto cartográfico:

1. 90% das feições testadas devem apresentar valores de discrepâncias iguais ou inferiores ao valor do PEC-PCD, em relação à escala e a classe testada;
2. O RMS (*Root Mean Square*) da amostra de discrepâncias deve ser menor ou igual à tolerância EP, em relação à escala e a classe testada;

Onde:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (dp_j)^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$d_{pj} = \sqrt{(X_T - X_R)^2 + (Y_T - Y_R)^2} \quad (2)$$

Sendo:

dp_j : discrepância posicional da feição j

n : número de feições de checagem

X_T, Y_T e X_R, Y_R = coordenadas do ponto no produto de teste e de referência, respectivamente.

3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas duas ortofotos obtidas por levantamento aéreo realizado com VANT, referentes a parte central do campus Viçosa da Universidade Federal de Viçosa – UFV. A Figura 1(a) apresenta a ortofoto de GSD médio igual a 4,2 centímetros e a Figura 1(b) apresenta a ortofoto com GSD médio igual a 10,2 centímetros. Ambas referenciadas ao datum WGS 84, na projeção Universal de Mercator (UTM) zona 23 Sul.

As ortofotos foram obtidas por métodos diferentes de levantamento e processamento. Na aquisição da ortofoto de GSD médio igual a 4,2 cm utilizou-se a aeronave Echr20B, do fabricante XMobots, com a câmera Sony Alpha 7r Full framework, com distância focal de 45 mm. A altura de voo média foi de 467 metros e o processamento foi executado através do *software* Agisoft. Já na aquisição da ortofoto de GSD médio igual a 10,2 cm, foi utilizado a aeronave do fabricante Mavinci, modelo Sirius, com a câmera Panasonic Gx-1. A altura média de voo foi 390 metros e no processamento foi utilizado o *software* APS remote 6.9.6.

Para a avaliação da acurácia posicional planimétrica das ortoimagens foi aplicada a metodologia proposta por Santos (2016). Esta metodologia é dividida em duas partes: a primeira define a amostragem a ser utilizada (Figura 2) e a segunda as análises a serem efetuadas para avaliação da acurácia posicional de acordo com o disposto no Decreto N° 89.817 (Figura 4).

Para definir o número de amostras a serem utilizadas foi seguido a metodologia proposta na ET-CQDG. Seguindo esta metodologia, o produto deve ser particionado em células de 4 x 4 cm na escala a qual pretende ser testado, e na análise por pontos de controle deve-se avaliar cada célula e verificar se esta é válida para compor a população em análise. São consideradas células válidas aquelas que possuem elementos que podem ser levantados em campo, como edificações e cruzamentos de vias.

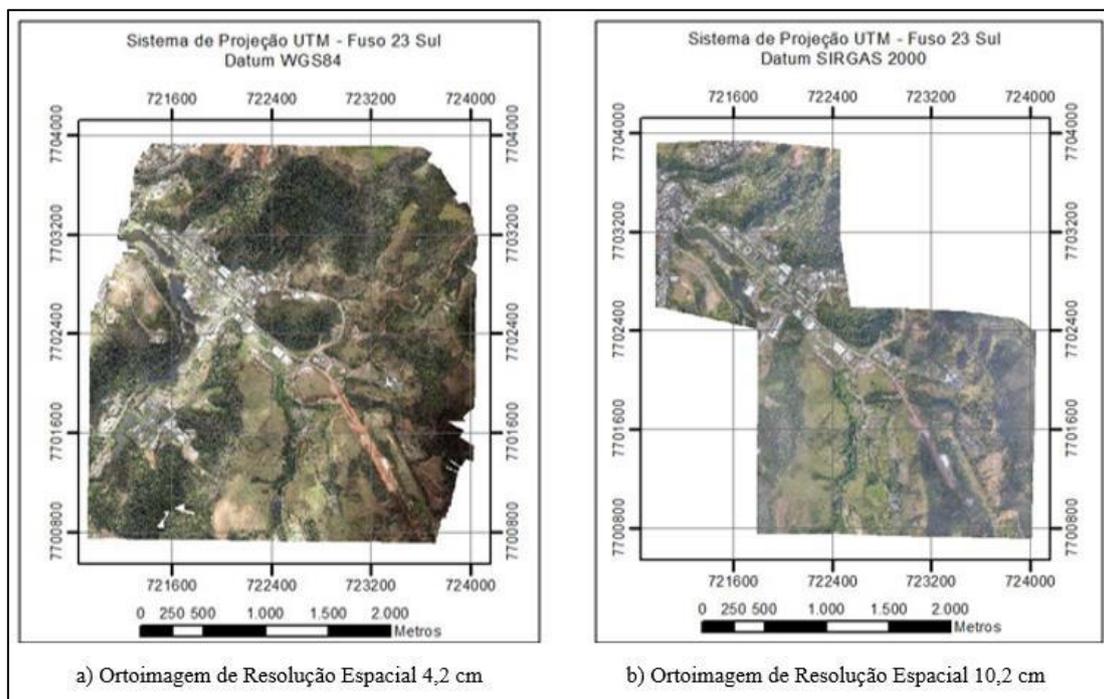


Figura 1- Área de Estudo

A ET-CQDG coloca que na análise da qualidade posicional de ortofotografias, deve-se definir a amostragem por lote isolado, desta forma cada célula considerada válida será um elemento da população, determinando todas as células válidas será definido o tamanho do lote. De posse do tamanho do lote será determinado o tamanho da amostra a partir das definições da norma ISO 2859-2. Primeiramente, define-se o valor adotado para o limite de qualidade aceitável (LQA), neste trabalho foi adotado $LQA = 4\%$, a partir do tamanho do lote e do LQA, define-se o valor da qualidade limite (QL), utilizando a tabela mostrada na Figura 3 a). Conhecendo-se o tamanho do lote e o QL, através da tabela mostrada na Figura 3 b), chega-se ao tamanho da amostra.

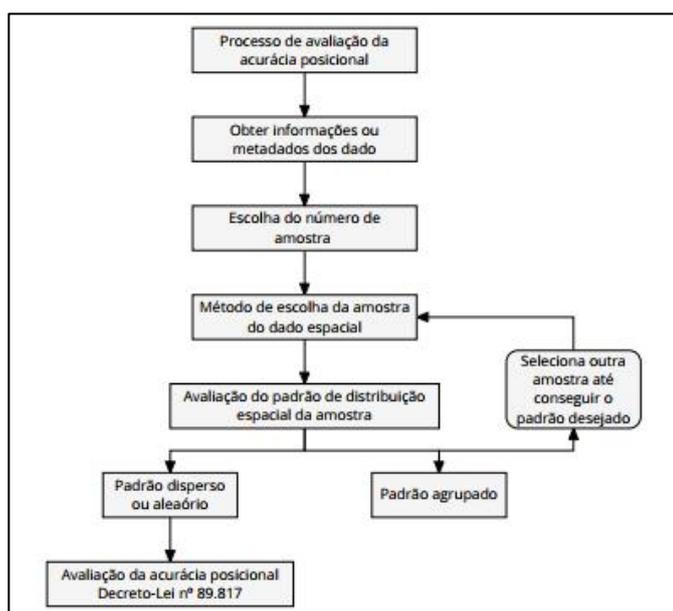


Figura 2 - Metodologia para definição da amostragem
 Fonte: Adaptado de Santos (2016)

Definido o tamanho da amostra foram determinados os pontos a serem utilizados, de maneira que estes fossem bem identificados em ambas as ortoimagens. Para avaliar o padrão espacial da amostra foi calculada a função K de Ripley, através do software ArcGIS 10.3.1. A função K de Ripley avalia se a distribuição espacial se mantém constante em diferentes escalas, sob intervalos de distâncias (Santos, 2010).

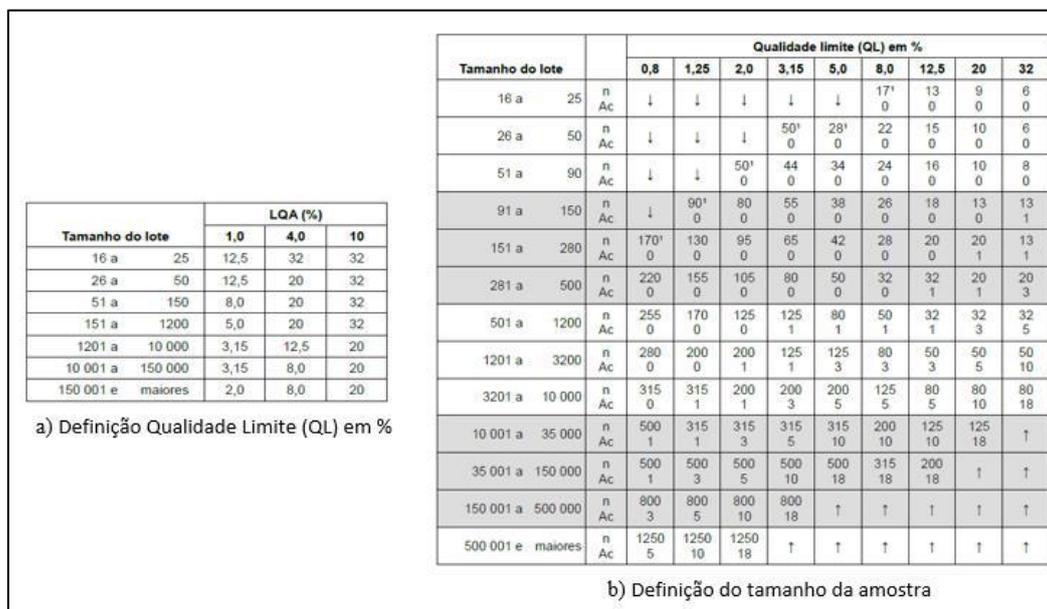


Figura 3 - Tabelas para definição do tamanho da amostra Fonte: DSG, 2016

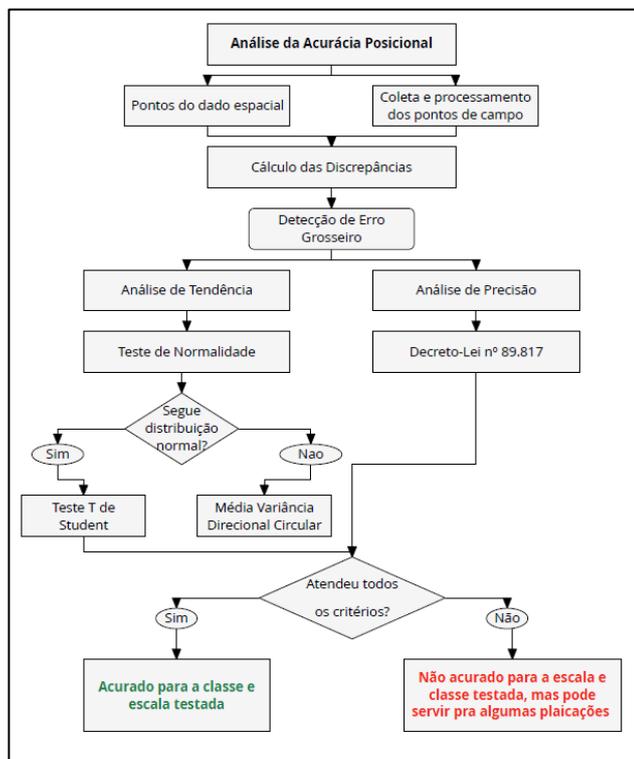


Figura 4 - Fluxograma da metodologia para análise da acurácia posicional
 Fonte: Adaptado de Santos (2016)

Definidos quais os pontos seriam analisados, estes foram identificados em cada ortofoto e levantados em campo, empregando o método de posicionamento relativo cinemático em tempo real por NTRIP. De posse dos pontos a serem testados, obtidos pelas ortofotos, e os pontos de referência, levantados em campo, foi aplicada a metodologia para avaliação da acurácia posicional, proposta por Santos (2016), mostrada na Figura 4.

Para obtenção dos valores de discrepância, detecção de outliers (erros grosseiros) e análises de tendência e precisão foi utilizado o software GeoPEC 3.4. Os produtos foram avaliados para escala 1:1000.

Após a obtenção da acurácia posicional planimétrica para cada ortofoto foram avaliados os resultados, comparando os valores médios de discrepância encontrados. Foi feita também uma avaliação visual a fim de discutir a qualidade das ortofotos em análise.

4. Resultados

Na definição do tamanho da amostra, foi feita a segmentação das ortoimagens em células de 40 x 40 metros, pois a escala em análise foi de 1:1000. Avaliando as células, foi observado que 708 células possuíam elementos que poderiam ser levantados em campo. Assim, o lote foi de 708 elementos, na qual, aplicando a metodologia proposta pelo ISO 2859-1, adotando o LQA de 4%, o LQ encontrado foi de 20% e o tamanho da amostra indicado de 32 pontos. Desta maneira foram adotados 35 pontos para análise, conforme o mostrado na Figura 5.

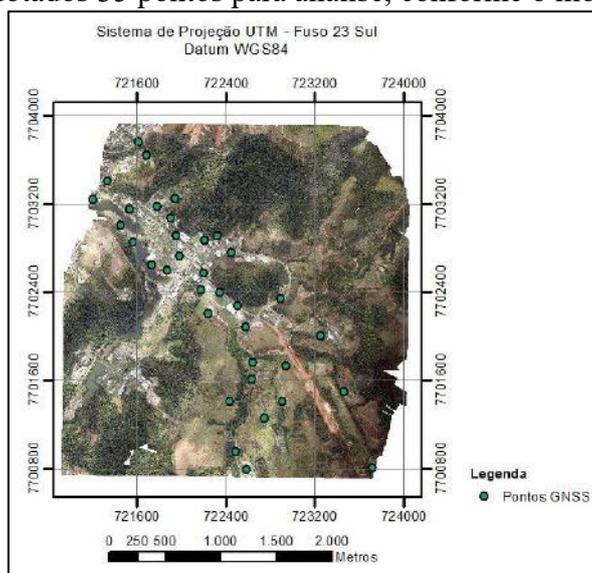


Figura 5 - Pontos de amostragem analisados

Para avaliar o padrão de distribuição espacial dos pontos adotados foi calculada a função K de Ripley, onde o resultado é mostrado na Figura 6. Analisando o gráfico gerado a partir da função K de Ripley (Figura 6) é possível perceber que o padrão observado se encontra dentro do intervalo de confiança, desta maneira, o padrão de distribuição espacial é considerado aleatório e a amostra pode ser utilizada para a análise da acurácia posicional, conforme recomendação de Santos et al. (2016).

Na avaliação da ortofoto de GSD igual a 4,2 cm, foi detectado um ponto como *outlier*. Foi analisado este ponto na imagem e constatado que realmente se tratava de um erro do produto em análise, pois o ponto havia sido bem identificado em campo e na ortofoto. A amostra empregada não seguiu normalidade, portanto o teste de tendência foi feito pelo teste da média direcional e variância circular, o resultado encontrado mostrou ausência de tendência, como mostra a Tabela 2.

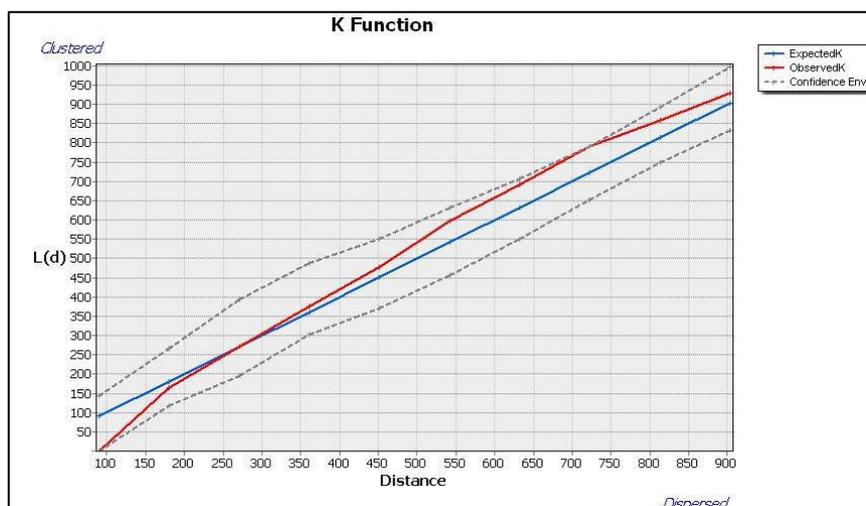


Figura 6 - Função K de Ripley para análise do padrão de distribuição espacial da amostragem

Quanto à precisão, essa ortofoto foi aprovada na Classe C, pois apresentou RMS igual a 0,439 metros menor que o EP da Classe C de 0,5 metros e 97,143% discrepâncias eram inferiores ao PEC desta classe de 0,8 metros. Desta forma, este produto é acurado para a Classe C na escala 1:1000.

Tabela 2. Análises estatísticas da ortofoto com GSD médio de 4,2 cm

Média Direcional = 252,1377°	Variância Circular = 0,8585
-------------------------------------	------------------------------------

Não Tendencioso

Classe ET-CQDG	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	82,857	Falhou	Reprovado
B	88,571	Falhou	Reprovado
C	97,143	Passou	Aprovado
D	97,143	Passou	Aprovado

Na avaliação da ortofoto de GSD médio igual a 10,2 cm não foi detectado outliers. A amostra não seguiu distribuição normal, portanto a análise de tendência foi baseada no teste da média direcional e variância circular e o resultado encontrado mostrou ausência de tendência, como mostra a Tabela 3.

Em relação à precisão, esse produto também foi aprovado na Classe C, pois apresentou RMS igual a 0,4543 metros menor que o EP da Classe C de 0,5 metros e 97,143% discrepâncias eram inferiores ao PEC desta classe de 0,8 metros. Desta forma, esta ortofoto também é acurada para a Classe C na escala 1:1000.

Tabela 3. Análises estatísticas da ortofoto com GSD médio de 10,2 cm.

Média Direcional = 133,4562°	Variância Circular = 0,5861
-------------------------------------	------------------------------------

Não Tendencioso

Classe ET-CQDG	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	37,143	Falhou	Reprovado
B	65,714	Falhou	Reprovado
C	97,143	Passou	Aprovado
D	100,000	Passou	Aprovado

Pelos resultados encontrados na avaliação da acurácia posicional planimétrica pode-se perceber que apesar da diferença na resolução espacial, as duas ortofotos não apresentam tendência e foram aprovadas para a mesma classe. As figuras 7 e 8 mostram os gráficos gerados a partir dos valores de discrepâncias encontrados para cada ortofoto.

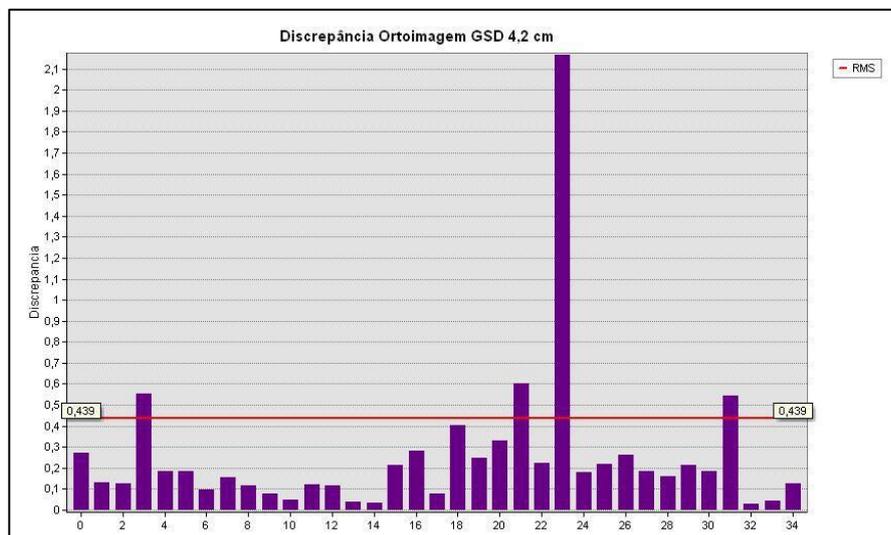


Figura 7 - Gráfico de Discrepância Ortofoto GSD médio de 4,2 cm

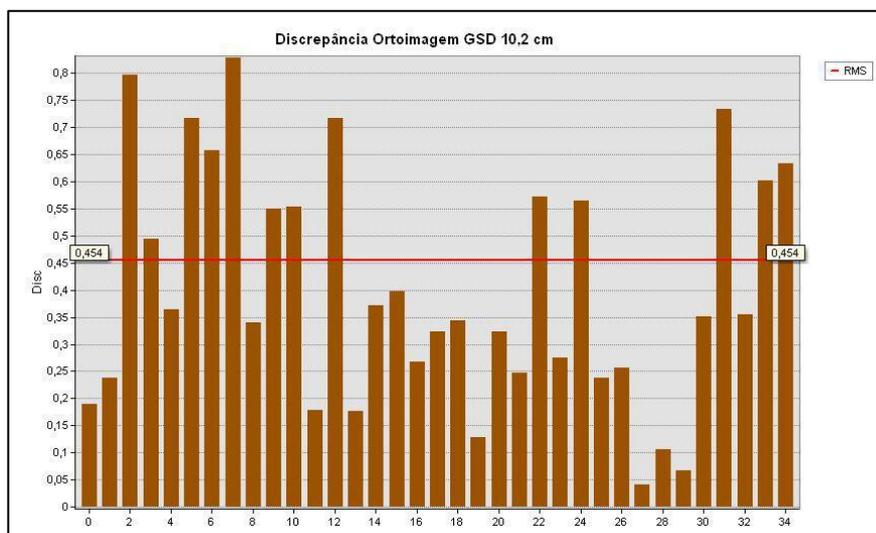


Figura 8 - Gráfico de Discrepância, Ortofoto GSD médio de 10,2 cm

Analisando os gráficos mostrados, pode-se perceber que os valores de discrepância foram inferiores para a ortofoto de resolução espacial igual a 4,2 cm (Figura 7). Exceto o ponto indicado como *outlier* que apresentou discrepância superior a 2 metros. Os valores de RMS encontrados foram próximos, 0,439 para a ortofoto de GSD médio 4,2 cm e 0,454 para a ortofoto de GSD médio 10,2 cm.

Assim, pela análise das discrepâncias, a ortofoto de melhor resolução espacial apresentou resultado um pouco superior à outra, no entanto a diferença é muito pequena, não sendo possível concluir se é realmente significativa. Mas ao realizar uma análise visual da qualidade das imagens, em certos locais, a ortofoto com GSD médio de 4,2 cm apresentou pior qualidade, como pode ser observado na figura 9.



Figura 9-Exemplos de diferenças entre as imagens
a) e b) Detalhe das bordas dos prédios
c) e d) Detalhe das deformações da via, da construção e das árvores

Analisando as imagens presentes na figura 9, pode-se perceber que os locais onde a ortofoto de GSD médio de 4,2 cm apresentou problemas visuais foram próximos a prédios e árvores, locais de maior altitude. No entanto, não se teve acesso ao Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Modelo Digital de Superfície (MDS) desta imagem, inviabilizando a análise da acurácia posicional altimétrica. Possivelmente, a ortofoto de GSD médio igual a 4,2 cm foi gerada a partir de um MDS e a de GSD médio igual a 10,2 cm a partir de um MDE. No processo de ortorretificação a partir de um MDS, dependendo do plano de voo adotado, a nuvem de pontos geradas pode não ser densa o suficiente para gerar uma boa interpolação nos locais de altura significativa, o que pode promover distorções em árvores e prédios. Esta, pode ser a razão das distorções ocorridas na imagem de GSD médio igual a 4,2 centímetros.

5. Conclusão

Ao avaliar a acurácia posicional planimétrica das ortofotos, embora elas possuíssem GSDs médios distintos, os resultados encontrados foram semelhantes. Nenhuma ortofoto apresentou tendência e ambas foram consideradas acuradas para a Classe C, na escala 1:1000, de acordo com o Decreto Nº 89.817 aliada a ET-CQDG. Ao analisar os valores de discrepância e o RMS os resultados foram próximos, a ortofoto com menor GSD médio apresentou resultados um pouco superiores, mas devido à proximidade, não é possível concluir se a diferença é significativa.

No entanto, ao realizar uma análise visual das ortoimagens foi possível encontrar locais em que a ortofoto de menor GSD médio apresentou pior qualidade visual. Estas regiões se concentram próximas a prédios e árvores. Desta maneira, seria interessante a avaliação e comparação da acurácia posicional altimétrica, para averiguar se a qualidade visual é refletida na situação da geometria altimétrica das ortoimagens. Porém, não se teve acesso a um modelo altimétrico, MDE ou MDS, referente à ortofoto de GSD médio igual a 4,2 cm. Surgindo,

como sugestão para estudos futuros, a avaliação de outra área de estudo, onde seja possível comparar e analisar a acurácia posicional planimétrica e altimétrica.

Avaliando os resultados encontrados foi possível observar que o GSD médio, neste caso, não promoveu diferenças significativas na qualidade geométrica das ortofotos. O GSD médio de uma ortofoto era praticamente o dobro da outra e, no entanto, em relação a acurácia posicional planimétrica, estas apresentaram o mesmo resultado. O que mostra que na aquisição de ortofotos aéreas, além do GSD médio desejado, deve-se preocupar com a qualidade geométrica do produto. Em alguns casos podem-se ter os custos elevados para obter um produto de menor GSD médio, sendo que ao analisar a qualidade geométrica deste produto, pode-se perceber que outro, com GSD médio maior se iguala e destina aos mesmos fins.

Referências Bibliográficas

- Brasil. Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Retirado de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acessado em 07/04/2016.
- Costa, L. G. G., de Amorim, A. L.; **Geração de ortofotos para produção de mapas de danos**. 2009.
- DSG. **Especificação Técnica Para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasil, 2011. Retirado de: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf. Acessado em 09/04/2016.
- DSG. **Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasil, 2016. Retirado de: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acessado em 15/05/2016.
- Eisenbeiss, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 5/W1, 2004.
- Ferreira, A. M. R., Roig, H. I., Marotta, G. S., Menezes, P. H. B. J.; **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciados multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial**. Em Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR. 13 a 18 de abril de 2013.
- Galo, M., Camargo, P. de O.; Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. p. 41-8. 1994.
- ISO. ISO 2859-1:1999. **Sampling procedures for inspection by attributes - Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection**. International Organization for Standardization (ISO), 1999.
- Merchant, D. C.; **Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps, Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping** (1), 222-231, 1982.
- Nero, M. A.; **Propostas Para O Controle de Qualidade de Bases Cartográficas Com Ênfase Na Componente Posicional**. São Paulo, Brasil: Escola Politécnica da USP, Brasil. 2005.
- Santos, A. P.; **Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais Com O Uso de Estatística Espacial**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Brasil, 2010.
- Santos, A. P.; Medeiros, N. G.; Santos, G. R.; Rodrigues, D. D. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o Uso de Feições Lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, v. 22, p. 157-174, jan-mar, 2016.