

VALIDAÇÃO DE ORTORRETIFICAÇÃO ATRAVÉS DE PONTOS DE CONTROLE DE IMAGEM DE REFERÊNCIA

Luiz Felipe S. G. de Carvalho¹

Camila L. Zenke da Cruz²

1 - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências -
(luiz_salomon@poli.ufrj.br)

2 - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências -
(camilalzenke@gmail.com)

ABSTRACT

The proposal of this work is to present a simplified approach that can be used in the generation and validation of orthorectified images, as an alternative to the usual process. In many times the field work may be a laborious activity and even unlikely for many cases in which a geometric correction is necessary. Through the study of an orthorectification of a stereo pair of the region of Volta Redonda, in the state of Rio de Janeiro, we can conduct a validation both planimetric and altimetric, using an IBGE geometric corrected image and a DEM from the RJ25.000 project as a reference.

Keywords: Validação, Ortorretificação, Sensoriamento Remoto, Modelo Digital de Elevação, Geoprocessamento.

INTRODUÇÃO

O trabalho de campo é uma tarefa que demanda recursos e tempo disponíveis para ser planejado e executado. Uma vez que essa tarefa não pode ser enquadrada no escopo de um determinado projeto, todo o desenvolvimento subsequente que dependa de correções, sobretudo geométricas, pode ser comprometido pela falta de elementos que permitam um ajuste adequado da imagem em questão. É possível, no entanto, executar a correção por ortorretificação a partir de pontos de controle coletados não de um trabalho de campo, mas sim de uma Ortofoto e de um Modelo Digital de Elevação (MDE) de referência obtidos de uma base de dados suficientemente confiável. No caso, usar-se-á neste trabalho a base do próprio IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model* - DEM) é uma representação digital de uma seção da superfície terrestre, dada por uma matriz de pontos com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à

elevação. Uma das principais aplicabilidades dos MDE é a geração de ortoimagens (LUIZ *et al.* 2007).

De acordo com Mikhail (2001), ortoimagem é uma imagem na qual as feições de diferentes objetos são apresentadas em posições corrigidas em relação ao deslocamento do relevo. Esse processo de correção geométrica é denominado ortorretificação, e consiste na reprojeção da cena no plano ortogonal das imagens orbitais utilizadas, pixel a pixel, a fim de minimizar distorções e deslocamentos provocados pelo relevo.

Segundo PCI Geomatics (2010), a qualidade da ortorretificação está associada tanto ao modelo matemático escolhido quanto a quantidade, exatidão e distribuição dos pontos de controle. Em função do presente estudo ser desenvolvido a partir de pares estereoscópicos de alta resolução espacial, optou-se pelo Modelo de Funções Racionais (*Rational Function Model* - RFM), que possibilita a correlação entre os pixels e seus locais no solo.

Com as medidas de distâncias, áreas, direções e geometrias corrigidas, a imagem ortorretificada pode ser considerada um produto de maior qualidade cartográfica apresentando potencialidades e aplicabilidades nos setores de obras e construção civil, mapeamentos de uso e cobertura da terra, planejamento e ordenamento territorial, prevenção de desastres, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e outras aplicações que necessitam de uma melhor qualidade geométrica dos dados.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa está localizada nos bairros de Água Limpa, Casa de Pedra, Jardim Amália, Jardim Belvedere, Rio das Flores, São Geraldo, Siderópolis e Vila Rica, no município de Volta Redonda, estado do Rio de Janeiro. Ela apresenta 15,7 km², características urbanas e rurais bem definidas e relevo acidentado. A **Figura 1** a seguir representa a área de interesse escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho.

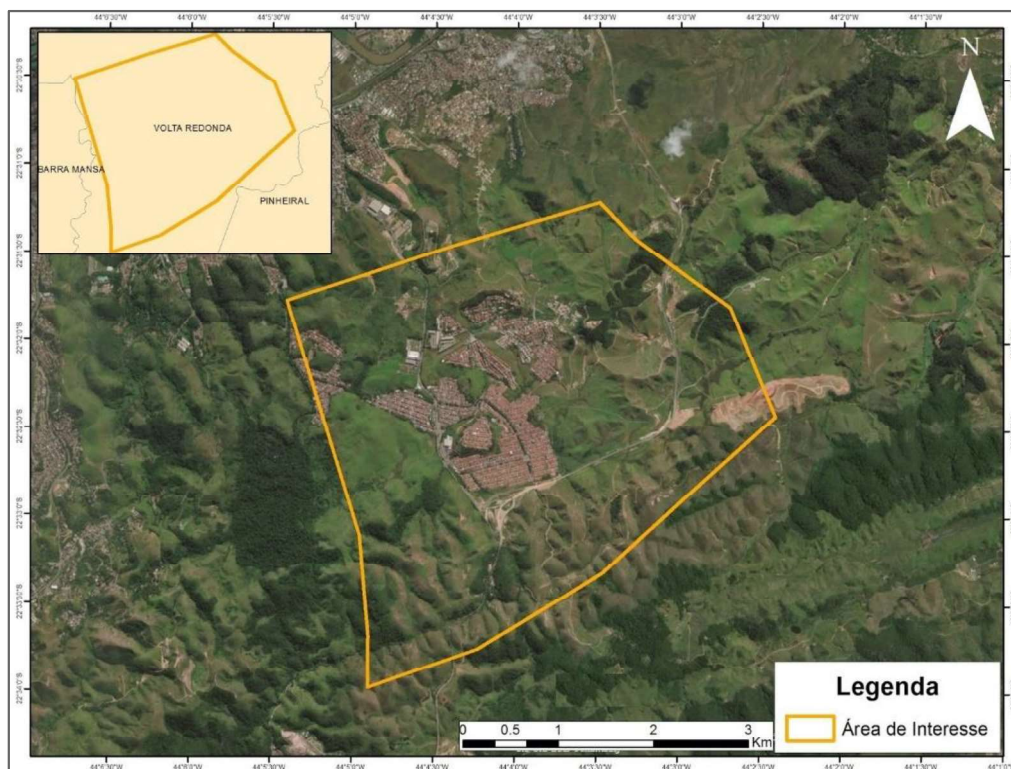


Figura1. Localização da Área de Estudo.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente estudo, utilizou-se o *software* PCI Geomatica 2017 e o módulo *Ortho Engine* para a geração do modelo digital de elevação e ortorretificação da imagem, e o *software* ArcGis 10.5 para a avaliação e validação dos produtos gerados. Foram utilizados como dados de referência, a Ortofoto RJ25_27432NE_V1 e o modelo digital de elevação RJ25_27432NE_V1, ambos oriundos do Projeto RJ 25 do IBGE. Também foi cedido gratuitamente pela empresa *DigitalGlobe* um par estereoscópico do sensor de alta resolução espacial GeoEye - 1 com as seguintes características (**Tabela 1**):

Tabela 1: Características do par estereoscópico utilizado no presente estudo.

Dados	Par Estereoscópico 01	Par Estereoscópico 02
Resolução Espacial	Banda Pancromática: 50 cm Bandas Multiespectrais: 2m	
Resolução Radiométrica	8 Bits	
Data de Aquisição	22/02/2011	
	13:14:10	13:15:01
Ângulo de Visada	13.29	23.62

Fonte: Os autores

O *software* utilizado para o tratamento e correções das imagens foi o PCI Geomatica, como já indicado, em composição com o algoritmo SGM de geração de MDE. Foi identificado, na versão mais atualizada do *software* em questão (PCI Geomatica 2017), uma nova opção de geração de modelos digitais. O método, chamado de SGM – *Semi-Global Matching* – é um novo algoritmo implementado no processo de geração do modelo digital de elevação pela PCI Geomatica, como uma alternativa ao já implementado NCC – *Normalized Cross Correlation* – e que se caracteriza como um método especialmente mais eficaz para imagens de regiões marcadas por objetos fronteiros e estruturas mais finas, como é o caso de áreas urbanas.

Foi utilizando este novo algoritmo que este trabalho foi conduzido, de forma a buscar potencializar a qualidade do modelo digital de elevação e ortomagem gerados, mesmo com a limitação de dados geoespaciais, já que não houve levantamento de campo; contando como recursos a correlação visual de imagens por *tie points* (TPs), a extração de pontos de controle (GCPs) da ortofoto de referência RJ25_27432NE_V1 e a inserção do MDE RJ25_27432NE_V1 para extração das informações altimétricas.

Utilizando o *software* PCI Geomatica 2017, foi possível comparar as imagens do par estereoscópico e coletar três diferentes pontos de controle através da identificação visual dos alvos nas imagens. A **Figura 2** a seguir demonstra a coleta dos pontos de controle oriundos da ortofoto de referência.

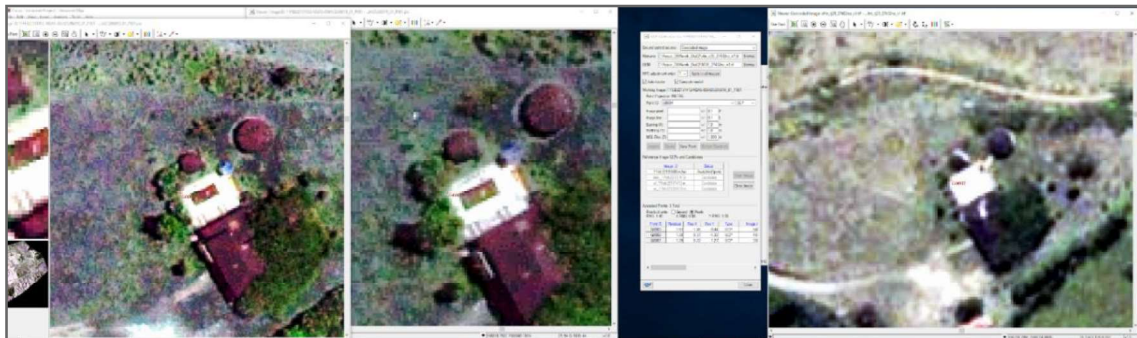


Figura 2 - Coleta de GCP na Ortofoto de Referência (RJ25_27432NE_V1 do IBGE).

A primeira avaliação dos produtos gerados (MDE e ortomagem) é a visualização geral do aspecto da imagem corrigida em comparação com a imagem de referência. A intenção dessa primeira verificação é garantir que não houve deformações significativas da imagem decorrentes da correção geométrica. O fato de terem sido incluídos pontos de controle a partir da ortofoto do IBGE, possibilitou que este

processamento produzisse um produto sem deformações aparentes, que pudesse ser então validado para ser enquadrado no PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica.

Segundo Galo e Camargo (1994), o procedimento de verificação da exatidão cartográfica pode se basear na análise das discrepâncias entre as coordenadas de pontos selecionados do produto gerado, e as coordenadas dos pontos obtidas a partir de observações de campo ou gabinete, consideradas como coordenadas de referência. No caso desta pesquisa, optou-se por avaliar a qualidade do produto gerado a partir da coleta de pontos de controle usando uma ortofoto de referência e seu respectivo MDE.

Para a avaliação da imagem ortorretificada, foram usados como referência os critérios estabelecidos pelas Normas Técnicas da Cartografia Nacional (Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos 1984). A avaliação foi realizada por meio das análises de média e de dispersão, usando técnicas de média das distâncias relativas para 90% dos pontos e o desvio padrão dos pontos coletados, selecionados rigorosamente de forma a não coincidirem espacialmente com os pontos de controle e de amarração (*tie points*). Esses cálculos estatísticos foram realizados para o total de trinta Pontos Independentes de Verificação (ICPs), coletados e correlacionados visualmente, tanto no produto quanto na ortofoto de referência (RJ25_27432NE_V1) através do *software* ArcGis 10.5.

Inicialmente, a escolha dos trinta pontos para a validação foi realizada de forma a mantê-los bem distribuídos espacialmente e topograficamente, conforme apresenta a **Figura 3**. Tanto a validação altimétrica quanto a planimétrica seguiram o mesmo modelo, de forma que os pontos coletados foram identificados em ambos os MDE e nas respectivas ortofoto e ortoimagem, a fim de extrair as diferenças de altitude e de distância entre os produtos gerados (MDE e Ortoimagem) e suas respectivas referências.



Figura 3 - Distribuição dos pontos de verificação / validação planimétrica.

RESULTADOS

A partir de análises estatísticas, foram calculados o erro médio planimétrico e o desvio padrão através da diferença entre as coordenadas obtidas da ortofoto de referência (RJ25_27432NE_V1) e as coordenadas calculadas na ortoimagem produto, gerada pelo *software* PCI Geomatica 2017. Nesta análise, a utilização do critério da proporção amostral segundo Galo e Camargo (1994), sobre as discrepâncias resultantes, indicou que, dos 30 pontos utilizados, 90% resultaram em um erro planimétrico de até 3,25 metros e um desvio padrão de 1,19 metros. A **Tabela 2** a seguir demonstra esses resultados.

Tabela 2 - Resultados obtidos com a validação planimétrica.

IBGE			PCI			Delta X	Delta Y	ERRO ORDENADO	CE90	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
Id	X	Y	Id	X	Y						
7	596219,2	7508394,3	7	596220,5	7508395,9	-1,6722	-1,5875	0,506	3,246	1,565	1,193
8	594876,6	7505769,4	8	594878,5	7505770,7	-1,4817	-1,5875	0,623			
9	594532,4	7506269,4	9	594534,5	7506270,6	-1,4552	-1,2383	0,726			
10	595740,3	7506882,4	10	595741,7	7506883,1	-1,4288	-1,2259	0,735			
11	595658,5	7506059,0	11	595659,1	7506060,7	-1,3229	-1,1113	0,872			
12	594624,9	7504322,9	12	594624,9	7504323,2	-1,1827	-0,7276	0,954			
13	596233,3	7507801,3	13	596232,9	7507801,7	-1,1509	-0,6985	1,118			
14	596409,8	7507519,0	14	596411,2	7507520,3	-1,0958	-0,6663	1,282			
15	595608,1	7507539,2	15	595608,3	7507539,1	-0,6879	-0,6615	1,346			
16	595333,4	7507854,6	16	595334,6	7507855,3	-0,6562	-0,5744	1,389			
17	596011,4	7507173,9	17	596013,6	7507172,3	-0,635	-0,3528	1,406			
18	595374,3	7506765,4	18	595374,3	7506764,3	-0,5358	-0,3175	1,546			
19	595144,5	7506883,6	19	595145,6	7506882,1	-0,3969	-0,3135	1,728			
20	595611,4	7508606,5	20	595611,9	7508605,8	-0,329	-0,2381	1,883			
21	595134,8	7508570,0	21	595134,7	7508570,6	-0,1702	-0,0873	1,911			
22	597535,8	7508098,3	22	597537,3	7508101,0	-0,0794	0	2,172			
23	596830,5	7507684,8	23	596831,6	7507687,0	-0,0026	0,1076	2,306			
24	595530,0	7506870,6	24	595529,3	7506871,4	0	0,16933	2,584			
25	595536,4	7507902,5	25	595535,9	7507901,2	0,06394	0,21166	2,765			
26	598453,6	7506846,9	26	598453,9	7506847,6	0,20108	0,70644	3,020			
27	596294,4	7505382,5	27	596291,3	7505385,4	0,4079	1,0407	3,246			
28	595711,5	7506525,0	28	595711,3	7506525,1	0,47625	1,32292	3,524			
29	595756,4	7507308,1	29	595758,0	7507307,9	0,62177	1,41553	3,605			
30	596136,9	7507294,7	30	596140,5	7507295,0	3,17501	1,53017	4,523			

Fonte: Os autores

Tais resultados, por sua vez, podem ser classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica, o PEC, conforme mostra a **Figura 4** a seguir, sendo a ortomagem um produto que atende às tolerâncias da classe “B” na escala 1:5.000, tanto para o erro circular quanto para o desvio padrão.

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	(2) A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B(1)	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C(1)	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D(1)	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

Figura 4: Padrão de Exatidão Cartográfica da Planimetria dos Produtos Cartográficos Digitais.

A validação altimétrica do MDE também mostrou que o método escolhido é promissor e que corrobora com a alternativa apresentada, já que, após as análises estatísticas análogas ao processo desenvolvido para a planimetria, o erro altimétrico identificado foi 5 metros para o intervalo compreendido entre os 90% dos pontos coletados,

enquanto que o desvio padrão esteve na ordem de 2,90 metros, como mostra a **Tabela 3** abaixo.

Tabela 3 - Resultados obtidos com a validação altimétrica.

Ponto	COOR_Z_IBGE (m)	COOR_Z_PCI (m)	Erro Altimétrico Absoluto Ordenado (m)	Desvio Padrão
1	463	463	0	2.901644401
2	399	397	0	
3	396	393	1	
4	402	398	1	
5	485	480	1	
6	512	511	1	
7	536	541	1	
8	414	411	1	
9	529	526	2	
10	452	452	2	
11	502	498	2	
12	414	411	2	
13	421	417	2	
14	525	516	3	
15	450	447	3	
16	410	414	3	
17	405	402	3	
18	531	530	3	
19	439	436	3	
20	431	429	3	
21	522	528	3	
22	406	405	4	
23	405	403	4	
24	422	418	4	
25	437	436	4	
26	457	456	4	
27	419	417	5	
28	430	428	5	
29	507	506	6	
30	410	407	9	

Fonte: Os autores

Tais resultados, por sua vez, permitem que o MDE possa ser classificado de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para produção de Produtos Cartográficos Digitais, o PEC - PCD, conforme a **Figura 5** abaixo, sendo um produto que atende às tolerâncias da classe “B” na escala 1:25.000, tanto para o erro circular quanto para o desvio padrão.

PEC -PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Figura 5: Padrão de Exatidão Cartográfica Altimétrica dos Produtos Cartográficos Digitais.

CONCLUSÕES

Entende-se que os resultados obtidos são bastante satisfatórios para utilização da metodologia aqui representada para correção planimétrica e altimétrica. Evidentemente, tal abordagem não tem a intenção de substituir a coleta e uso de pontos de controle em campo, que por sua vez podem conferir resultados mais acurados para a correção, construindo produtos de maior precisão e exatidão.

No entanto, para fins de estudo e como primeira aproximação de resultados, o uso de ortofotos de referência, portanto, pode ser um método utilizado com resultados próximos dos níveis aceitáveis para tais finalidades, sendo uma alternativa a impossibilidade de se realizar trabalho de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALO, M. and CAMARGO, P, 1994. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. In: *Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC)*. Florianópolis - SC. 1994. p. 41–48.

DIGITAIGLOBE. Stereo Imagery. Disponível em: <https://dg-cms-uploads-production.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/23/DG_Stereo_DS_1-22-14_0.pdf>. Acesso em 08/07/2018.

LUIZ, S., SANTOS, A.R.S., BRENNER, T.L. Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 581-587.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; McGLONE, J.C. (2001). Introduction to Modern Photogrammetry. Editora John Wiley & Sons, Inc.

MINISTERIO DA DEFESA.. Norma da Especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre (ET - ADVG DEFESAFT). Primeira Edição 2015.

PCI GEOMATICS, 2003. Geomatica orthoEngine User Guide: Geomática Version 9.0. 2003. Ontário: Richmond Hill.

PCI GEOMATICS Inc. Geomatica Software Solutions. OrthoEngine: User guide.
Canada, 2010.
PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL and SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS
JURÍDICOS, 1984. Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia
Nacional. 1984. Brasil: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm.