

Controle de qualidade de produto cartográfico aplicado a imagem de alta resolução

Nathália de Alcântara Rodrigues Alves¹
Maria Emanuella Firmino Barbosa¹
Sydney de Oliveira Dias¹

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB/Campus - João Pessoa
Av. 1º de Maio, 720, Jaguaribe, João Pessoa - PB - CEP: 58.015-430
nadealcantara@gmail.com
mariaemanuellaf@gmail.com
sydney.dias@ifpb.edu.br

Abstract The use of high-resolution images in various activities is a reality ever more present today. Allied to this there is a tendency in even greater use of these geotechnology. However still there is no document in the country to regulate or establish guidelines for the use of images in procedure that involves measurements, etc.. In this context, the aim of this work is to develop a methodology to establish some parameters for quality control of georeferenced images. The mathematical model used for georeferencing image was the polynomial 1st order, with method of resampling of the nearest neighbor and reliability test data was made based on Decree Law being used statistical tests to assess the existence of inclination and also precision . The results obtained allow us to classify the final product as Class A, taking into account a 1:5000 scale, demonstrating the great potential of using high-resolution images in activities that involve the determination of coordinates, calculation of areas, perimeters, etc.

Palavras-chave: Imagens de alta resolução, controle de qualidade, georreferenciamento.

1. Introdução

O grande avanço tecnológico na área de Sensoriamento Remoto possibilitou o desenvolvimento de sistemas orbitais de alta resolução espacial, facilitando a identificação de alvos na superfície terrestre. Apesar da alta resolução espacial as imagens estão suscetíveis a distorções provenientes de diferentes fontes, tais como a atmosfera, erros aleatórios de pixels, erros sistemáticos, dentre outros.

De acordo com Merchant (1982), a avaliação da qualidade posicional de produtos cartográficos pode ser realizada em duas fases distintas. A primeira consiste em um teste estatístico, baseado na distribuição “t” student, para verificar a existência de tendência, relacionado, por exemplo, com a existência de erros sistemáticos nas medidas. A segunda fase é realizada com a distribuição estatística do Qui-quadrado para verificar a precisão das informações obtidas. Segundo Galo e Camargo (1994), a existência de tendência em alguma direção indica a ocorrência de problemas (cujas causas podem ser das mais variadas), mas uma vez conhecida, o seu efeito pode ser minimizado pela subtração ou adição de seu valor a cada coordenada “lida” na carta. A análise de precisão consiste em uma comparação entre o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão esperado (EP), para a classe na qual se deseja testar, segundo as normas de Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC .

Em território nacional, o indicador para trabalhar com controle de precisão cartográfica é o PEC - um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão (EP, equivalente ao desvio padrão).

Nesse contexto, quando se trabalha com a Norma Técnica da Cartografia Nacional é possível observar a definição do desvio padrão para uma determinada escala, o que possibilita a utilização (alternativa) do desvio padrão “populacional” da classe da carta ao invés de se utilizar o desvio padrão da amostra (NOGUEIRA, 2003). Nas ciências de mapeamento a posição de uma entidade do mundo real é descrita por valores em um sistema de coordenadas apropriado e a exatidão posicional representa a proximidade desse valor para a posição “verdadeira” da entidade naquele sistema (DRUMMOND, 1997 apud NOGUEIRA, 2003).

Levando-se em consideração o que foi exposto, o objetivo do presente trabalho é estabelecer procedimento metodológico para avaliar a qualidade posicional de uma imagem do sensor CCD do satélite Quickbird submetida a um procedimento de correção geométrica utilizando modelo polinomial de 1ª ordem. Conforme será apresentado o processo para avaliação da qualidade posicional está fundamentado na análise de tendência e precisão.

2. Material e Metodologia de Trabalho

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se uma imagem Quickbird (GSD ~ 60cm), um par de receptores GNSS Topcon Hiper Lite +, um computador pessoal, softwares para processamento de dados GNSS, plataforma ERDAS2011, além do Matlab, onde foram implementadas as rotinas computacionais para o controle de qualidade cartográfica.

2.1 Pré-processamento, fotointerpretação e seleção de pontos

A partir da disponibilização das imagens de alta resolução pela Prefeitura Municipal de João Pessoa (PMJP) optou-se em definir a área de estudo, que corresponde a uma porção da praia do Cabo Branco, praia do Seixas, com o ponto extremo das Américas, e adjacências.

As imagens Quickbird fornecidas pela PMJP são datadas de 2008 e divididas em dois arquivos que abrangem toda área do município. Nesse caso tornou-se necessário realizar um recorte em um dos arquivos, gerando o arquivo que foi utilizado para as etapas seguintes.

A etapa seguinte foi identificar e escolher pontos a serem utilizados para o georreferenciamento e também para o controle de qualidade. Em geral buscaram-se pontos bem distribuídos ao longo de toda a imagem, localizados no nível do terreno, e de fácil identificação na imagem e também de fácil acesso no campo. Ainda assim foram encontrados alguns obstáculos para se obter uma maior abundância e melhor geometria de distribuição. Sobre um total de mais de 50 pontos levantados, apenas uma parte foi selecionada e dividida entre pontos de controle e pontos de verificação (Figura 1).

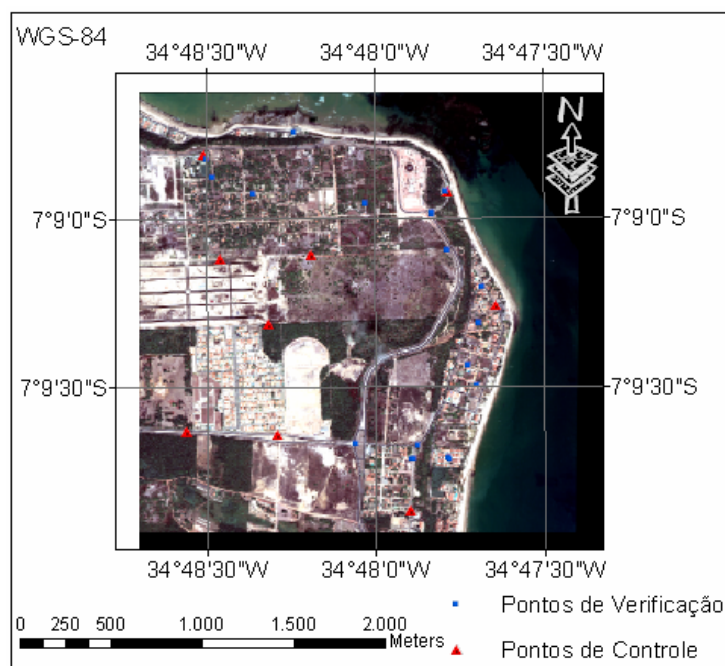


Figura 1 - Localização da área de estudo e pontos utilizados no experimento.

2.2 Levantamento GNSS/RTK

Em se tratando de coordenadas de pontos a serem utilizados em processos de correção geométrica de imagens um dos principais elementos a serem considerados é a precisão posicional dessas coordenadas. De acordo com Merchant (1982), em procedimentos que envolvem análises de exatidões de determinado produto cartográfico – comparando-se as coordenadas do referido produto cartográfico com as respectivas coordenadas de referência - por recomendação, tais pontos de referência devem possuir precisão três vezes melhor que a precisão das coordenadas avaliadas.

Levando-se em consideração que a imagem Quickbird utilizada na presente pesquisa possui GSD de, aproximadamente, 60 cm, optou-se em utilizar receptores GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) equipados com sistema de rádio que possibilitam a realização de levantamento de precisão e em tempo real (RTK). Uma das grandes vantagens da utilização desse método de posicionamento é a não necessidade de processamento posterior ao levantamento, agilidade devido ao curto intervalo de tempo necessário para ocupação dos pontos levantados além, é claro, da precisão alcançada (centimétrica).

2.3 Correção Geométrica

O processo de correção geométrica ou simplesmente (georreferenciamento) da imagem utilizada foi realizado utilizando-se a plataforma ERDAS Image 2011. O modelo matemático escolhido foi o polinômio de 1ª ordem, utilizado para estabelecer a relação matemática entre coordenadas de imagem e suas respectivas coordenadas de terreno e o método de amostragem utilizado foi o “vizinho mais próximo”.

Algumas das principais vantagens na utilização de polinômios de 1ª ordem para correção geométrica de imagens é a simplicidade do modelo matemático, o número pequeno de pontos necessários para solução bem como a questão de não requerer nenhum conhecimento “a priori” dos parâmetros orbitais e do sensor. Cabe lembrar a necessidade durante o processo de correção geométrica de estabelecer critérios para controle do ajustamento. Em geral, utiliza-se erro quadrático médio (EQM) em operações de georreferenciamento limitando seu valor ao valor de um *pixel*, compatível com a resolução espacial da imagem ou com valor dentro do erro tolerável para uma determinada escala de mapeamento.

É importante considerar, caso haja necessidade, a propagação de erros “a priori”, que são os erros identificados no processo de geração da imagem georreferenciada. Nesse trabalho foram considerados apenas a própria resolução da imagem (60cm) e também a precisão das coordenadas dos pontos levantados em campo (< 10cm), maiores detalhes consultar Celestino (2007).

2.4 Controle de qualidade e análise estatística

O processo para avaliação da qualidade posicional para o controle de qualidade de produto cartográfico aqui estudado foi efetuado em duas etapas: a análise de tendência e teste de precisão, com base no PEC (Tabela 1).

Tabela 1 - Padrão de exatidão cartográfica - PEC (Fonte: Brasil. Decreto nº 89.917, de 20 de Junho de 1984)

Classe da Carta	PLANIMETRIA		ALTIMETRIA	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm na escala da carta	0,3 mm na escala da carta	1/2	1/3
B	0,8 mm na escala da carta	0,5 mm na escala da carta	3/5	2/5
C	1 mm na escala da carta	0,6 mm na escala da carta	3/4	1/2

Segundo Galo e Camargo (1994) a exatidão de uma determinada carta é baseada na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas na carta (X_i) e as referidas coordenadas de referência (X_i'), calculadas para cada ponto “ i ” e dadas por:

$$\Delta X_i = X_i - X_i' \quad (1)$$

A média, bem como o desvio padrão das discrepâncias amostrais devem ser estimadas por:

$$\mu_{\Delta X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2)$$

$$\sigma_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \Delta \bar{X})^2} \quad (3)$$

Onde: n é o tamanho da amostra

As hipóteses formuladas para o teste de tendência são apresentadas da seguinte forma:

$$H_0: \mu_{\Delta X} = 0, \text{ contra}$$

$$H_1: \mu_{\Delta X} \neq 0$$

A estatística do teste “ t ” de *Student* é dada por:

$$t_x = \frac{\mu_{\Delta X}}{\sigma_{\Delta X}} \cdot \sqrt{n} \quad (4)$$

Que tem distribuição “ t ” de Student com “ $n-1$ ” graus de liberdade (g.l.). Se o valor da estatística do teste encontrar-se na região de aceitação ou de rejeição da hipótese nula, aceite-se ou rejeite-se H_0 , respectivamente. A região de aceitação da hipótese nula, H_0 , tem a forma:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad (5)$$

Uma vez que os valores apresentados para a estatística amostral “ t ” estejam fora da região de aceitação, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, a carta não pode ser considerada com discrepâncias de média nula, para um determinado nível de confiança. Caso contrário, aceite-se a hipótese nula, ou seja, a carta pode ser considerada com média nula (livre de tendência) a um determinado nível de confiança. Conforme descrito por Dias (2011), a utilização do teste estatístico baseado na distribuição “ t ” student é indicado quando o desvio padrão populacional é desconhecido, no entanto, a partir do momento que existe documento que estabelece normas reguladoras para tal finalidade torna-se importante considerar a utilização desse documento.

Levando em consideração o que foi exposto, o teste estatístico para avaliar a existência de tendência, pode ser baseado na distribuição normal, ou seja:

$$z = \frac{\mu_{\Delta X}}{\sigma_{\Delta X}} \cdot \sqrt{n} \quad (6)$$

A região de aceitação da hipótese nula é dada por:

$$|z| < z_{\alpha/2} \quad (7)$$

Logo, se o valor obtido para a estatística amostral “ z ” estiver fora do intervalo de aceitação, rejeita-se a hipótese nula e a carta não pode ser considerada livre de tendências nas coordenadas dos pontos testados, para um dado nível de confiança.

Com objetivo de evidenciar o que foi exposto em relação ao teste estatístico de tendência, optou-se em realizar experimentos para o teste de tendência considerando-se tanto a utilização do teste estatístico baseado na distribuição “ t ” *student* bem como utilizando a distribuição normal.

Para avaliar a precisão planimétrica do produto final utilizou-se o teste estatístico baseado na distribuição Qui-quadrada, apresentado com as seguintes hipóteses:

$$H_0: \sigma_{\Delta X}^2 = \sigma_{PEC}^2, \text{ contra}$$

$$H_1: \sigma_{\Delta X}^2 > \sigma_{PEC}^2$$

É claro que σ_{PEC} corresponde ao desvio padrão esperado para a coordenada X, ou seja, o erro padrão estabelecido segundo a escala e a classe da carta. Nos trabalhos apresentados por Galo e Camargo (1994), Nogueira (2003) e Galindo (2008) consideram que o erro padrão seja fixado não para as coordenadas planimétricas (X e Y) isoladas, mas sim para a resultante, sendo portanto necessário a utilização da seguinte formulação:

$$\sigma_{\Delta X} = \frac{EP}{\sqrt{2}} \tag{8}$$

A etapa seguinte consiste no cálculo da estatística do teste Qui-quadrado, utilizado para testar a hipótese nula. Essa estatística é dada por:

$$\chi_X^2 = (n-1) \cdot \frac{\sigma_{\Delta X}^2}{\sigma_{PEC}^2} \tag{9}$$

Então, se o valor obtido está na região de aceitação da hipótese nula, aceita-se a hipótese. Essa região é dada por:

$$\chi_X^2 < \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \tag{10}$$

Caso a condição anterior não seja atendida, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, o produto cartográfico não atende à precisão estabelecida para a estatística com “n-1” graus de liberdade a um intervalo de confiança “1- α ”.

Segundo Nero (2005) apesar do Decreto Lei 89.917 de 20 de junho de 1984, não especificar que o controle estatístico seja realizado para cada coordenada isolada (X e Y) ou com a composição das duas, o tratamento para os testes estatísticos de variáveis unidimensionais está em concordância com a norma, que preconiza o $PEC=1,6449*EP$, confirmando que 90% dos pontos avaliados não devem apresentar erro superior a esse limite. Ainda nesse contexto, caso fosse utilizado a componente planimétrica, a análise seria efetuada em relação a uma variável bidimensional (erro circular) e o valor de comparação deveria ser $PEC=2,146*EP$ – coincidente com o CMAS da norma Americana – que corresponde a 90% do volume abaixo da superfície que representa a probabilidade bisimensional. Logo, optou-se em realizar o teste de precisão utilizando as componentes isoladas, maiores detalhes em Nero (2005).

De acordo com Gemael (1994), os erros apresentam comportamento similar ao de uma distribuição normal, caracterizada por uma curva de GAUSS, conforme pode-se verificar na Figura 2. A partir dessa figura é possível observar os diversos intervalos de probabilidade em torno da média, inclusive o intervalo correspondente a 90% de probabilidade, que equivale a 1,6449 do EP, ou desvio padrão.

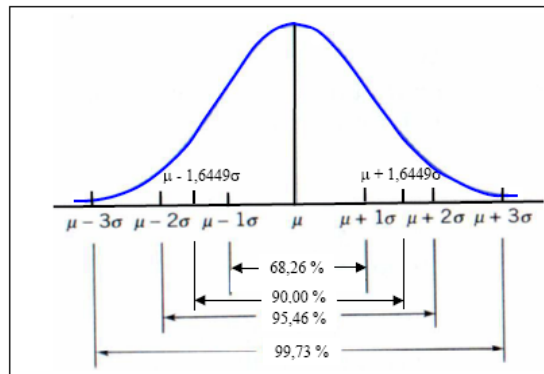


Figura 2 – Representação gráfica da função de distribuição normal unidimensional. (Fonte NERO, 2005)

De acordo com Nero (2005), caso quisesse utilizar a segunda interpretação, a análise seria de uma variável bidimensional (erro circular) e o valor de comparação deveria ser $PEC=2,146*EP$ (coincidente com o CMAS da norma Americana), que corresponde a 90% (volume abaixo da superfície que representa a probabilidade bidimensional). O autor comenta ainda sobre a necessidade de deixar claro ao usuário que a análise deve ser efetuada de modo isolado para cada coordenada planimétrica. Nesse contexto a Equação 8 fica reduzida a:

$$\sigma_x = EP \quad (11)$$

3. Resultados e Discussão

A partir do levantamento de campo, onde se utilizou o receptor GNSS com a técnica RTK, gerou-se uma planilha de todos os pontos com suas coordenadas UTM e suas respectivas precisões. Por se tratar de uma área relativamente plana e também considerando uma distância de linha de base bastante curta, a grande maioria dos pontos levantados apresentaram precisões entre 8 e 25 mm. Esse resultado de precisão dos pontos de controle evidencia que o método RTK pode ser muito útil não só para levantamento de pontos para georreferenciamento de imagens de alta resolução como para outros levantamentos onde o tempo e a precisão devem ser considerados.

A partir da lista de todos os pontos levantados, a etapa seguinte foi selecionar os pontos a serem utilizados no processo de correção geométrica bem como os que seriam utilizados no processo de verificação. A Tabela 2 apresenta os resultados referentes aos resíduos das imagens, onde é possível verificar que tomando-se como referência as precisões admitidas para as medidas verifica-se que o desvio padrão para as medidas encontra-se dentro do esperado.

Tabela 2 – Resultado das discrepâncias planimétricas.

pontos	Vx(pixel)	Vy(pixel)
1	0,81	-0,7
2	0,19	0,63
3	-0,97	-0,95
4	0,47	0,85
5	-0,34	0,69
6	-0,46	-0,18
7	0,68	-0,54
8	0,42	0,19
9	-0,79	0
μ	0,001	-0,01
σ	0,656	0,647

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes às discrepâncias planimétricas dos pontos de verificação. Conforme pode-se observar, em geral, os valores obtidos demonstram o grande potencial de utilização desse tipo de imagem nas mais diversas atividades que envolvem mapeamento.

Tabela 3 – Resultado das discrepâncias planimétricas.

NOME	COORD. DE REFERÊNCIA		COORD. IMAGEM		DISCREPÂNCIAS	
	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Delta N (m)	Delta E (m)
P11	9209107,1	301621,34	9209107,4	301620,31	0,316	-1,028
P11X	9209107,6	301626,08	9209107,6	301626,56	0,038	0,486
P09	9209306,9	301539,24	9209306,2	301539,85	-0,747	0,605
P9_2	9209313,8	301535,5	9209313,3	301535,67	-0,482	0,169

P9_4	9209423,8	301612,86	9209424,5	301612,45	0,74	-0,418
P1	9209746,9	300782,34	9209746,4	300783,87	-0,475	1,531
P4	9209498	300336,9	9209498,1	300335,67	0,083	-1,226
P4_2	9209600	300305,02	9209599,4	300305,74	-0,63	0,717
P5	9209409,2	300559,91	9209410,4	300562,41	1,136	2,505
P8	9209359,8	301172,22	9209359,7	301172,96	-0,132	0,737
P12	9208045,1	301123,09	9208044,2	301122,73	-0,87	-0,36
P16_1	9207966,4	301632,86	9207965,5	301631,83	-0,864	-1,032
P16_2	9207957,1	301636,88	9207956,5	301636,73	-0,641	-0,148
P21	9208902,7	301816,12	9208900,3	301817,92	-2,407	1,801
P18	9208704,1	301797,56	9208704,8	301798,44	0,671	0,875
P17_2	9208473,2	301736,46	9208472,7	301736,35	-0,486	-0,113
P22	9208363,1	301787,95	9208364,1	301788,51	0,989	0,557
P13	9208034,5	301462,02	9208034,5	301461,32	-0,051	-0,7
P14_a	9207962,4	301433,81	9207962	301433,73	-0,365	-0,082
P14	9207960,7	301435,99	9207960,5	301436,45	-0,183	0,462
Média					-0,220	0,257
desvio padrão					0,815	0,995
RMSE					0,794	0,969

A partir dos resultados das discrepâncias planimétricas (Figura 3) obteve-se os valores para a média, desvio padrão e RMSE (*root mean square error*), apresentados na Tabela 3, onde é possível verificar que os valores foram bastante satisfatórios. No entanto, com o objetivo de efetuar o controle de qualidade, procedeu-se então aos testes estatísticos que resultou nos valores apresentados na Tabela 4 (a e b).

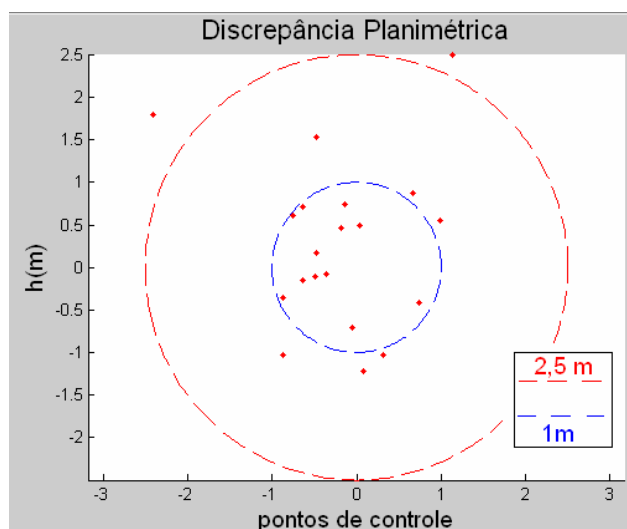


Figura 3 – Representação gráfica da discrepância planimétrica dos pontos de verificação.

Tabela 4 – Resultado do teste estatístico de tendência e precisão, (a) Escala 1:5000 e (b) Escala 1:2000

(a)			(b)		
Teste	Coordenadas		Teste	Coordenadas	
Tendência	E	N	Tendência	E	N
$\mu_{\Delta X}$ (m)	-0,061	-0,076	$\mu_{\Delta X}$ (m)	-0,061	-0,076
$\sigma_{\Delta X}$ (m)	0,271	0,226	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	0,271	0,226
Z_{tab}	1,6449	1,6449	Z_{tab}	1,6449	1,6449
Z_{calc}	0,65	0,795	Z_{calc}	1,625	1,989
Tendência	Não	Não	Tendência	Não	SIM
Teste Precisão			Teste Precisão		
$\chi^2_{(19,10\%)} \mathbf{1:5000}$	27,2	27,2	$\chi^2_{(19,10\%)} \mathbf{1:2000}$	27,2	27,2
χ^2	5,32	7,95	χ^2	33,24	49,65
CLASSE	A	A	CLASSE	B	B

Conforme pode-se observar, o teste estatístico baseado na distribuição normal não constatou tendência em nenhuma das componentes, considerando-se a escala 1:5000. Já com relação ao teste para a escala 1:2000 fica evidenciado a existência de tendência na componente “N”. O teste de precisão (Qui-Quadrado) permitiu enquadrar os resultados como sendo compatíveis a um mapa planimétrico Classe “A” para a escala 1:5000 e classe “B” para a escala 1:2000.

4. Conclusões

O experimento realizado com a imagem Quickbird permitiu observar que é possível obter uma boa precisão em coordenadas de pontos extraídos a partir da imagem georreferenciada com um número pequeno de pontos de controle. A área de estudo selecionada possui uma parte baixa e plana próxima ao mar e uma outra área plana e mais elevada (Falésias) e ainda assim, os resultados referentes ao controle de qualidade utilizando o modelo de 1º grau permitiram enquadrar como pertencente à Classe “A” no PEC para uma escala 1:5000.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de João Pessoa-PB por disponibilizar as imagens Quickbird do ano de 2008 e ao PIBIT/CNPQ pelo apoio através do Projeto de Monitoramento Geodésico da Linha de Costa da Praia do Seixas.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. **Decreto nº. 89.817**, de 20 de junho de 1984. Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de junho de 1984.
- GALINDO, J. R. F. **Análise da reconstrução 3D a partir de um par estereoscópico HR-CCD/CBERS-2 usando dois modelos matemáticos**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2008.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis SC, 1994, p.41-48.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. UFPR. Curitiba. 1994. 315p.
- NERO, M. A. **Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. TESE (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005, 186p.
- NOGUEIRA J. R., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdades de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente/SP, 2003. 143 p.