



Qualidade geométrica das ortofotos e modelo digital de terreno do levantamento aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina Estudo de caso: Microbacia Alto Cubatão

Juliana Mio de Souza¹
Valci Francisco Vieira¹
Kleber Trabaquini¹
Denilson Dortzbach¹
Everton Vieira¹

¹ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina/Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia – Epagri/Ciram
88034-901 - Florianópolis - SC, Brasil
{julianasouza, valci, klebertrabaquini, denilson, evertonvieira}@epagri.sc.gov.br

Abstract: The objective of this study is to evaluate the planimetric quality of the orthophotos and altimetry quality of the Digital Terrain Model - DTM obtained with the Aerophotogrammetric Survey of the State of Santa Catarina, conducted between 2010 and 2012. The Alto Cubatão Microbasin, located in the city of Águas Mornas, was selected as this article's study area. It is important to note that the results presented here refer to only one sample area, from a total of seven areas in the ongoing research project. Funded by the Foundation of Scientific Research and Technology of the State of Santa Catarina - FAPESC, the project aims to assess the geometric quality of cartographic products for the entire state of Santa Catarina. Quality control was performed according to the following steps: field survey of control points with GNSS L1 / L2 system; processing of points with the usage of the Positioning Precise Point - PPP system, provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE; identification and removal of gross errors, when necessary; application of trend and accuracy tests; and finally the application of the Cartographic Accuracy Standards - PEC, the Brazilian norm. Accordingly, for this study area, the orthophotos were classified as scale 1: 5,000 - Class A and digital terrain models, scale 1: 10,000 - Class A.

Palavras-chave: aerial survey, medium format camera, cartographic quality, cartographic accuracy standards, aerolevantamento, câmara de médio formato, qualidade cartográfica, padrão de exatidão cartográfica.

1. Introdução

De acordo com SDS/SC (2013) em janeiro de 2010 o Estado de Santa Catarina contratou uma empresa especializada para realização dos Serviços de Aerolevantamento e Geração de Ortofotos, Modelo Digital de Elevação, Modelo Digital de Terreno, Restituição de Hidrografia, Construção da base hidrográfica Ottocodificada e reambulação de toda a hidrografia na escala 1:10.000 de aproximadamente 97.037 km² (noventa e sete mil e trinta e sete quilômetros quadrados), referente ao território catarinense.

Para a realização da cobertura aerofotogramétrica foi utilizado o Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-Processamento de Imagens Digitais – SAAPI. Trata-se de uma solução inovadora em termos de aerolevantamento digital com utilização de câmaras digitais integradas à sistemas de georreferenciamento direto, dispositivos eletrônicos e desenvolvimento de hardware e software.

O controle de qualidade de um produto cartográfico é uma fase extremamente importante no processo de produção de mapas. Para cada uso de mapas há uma tolerância e à medida que essa tolerância diminui tal preocupação aumenta, tornando-se imprescindível conhecer a qualidade geométrica do produto cartográfico utilizado. E, diante desse avanço tecnológico essa importância se torna ainda mais evidente.

Os produtos cartográficos do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina, objeto de pesquisa nesse trabalho são as Ortofotos, com 39 centímetros de resolução espacial e os Modelos Digitais de Terreno – MDT, com 1 metro de resolução espacial.

Brito e Coelho (2002) definem ortofoto (ortoimagem) como sendo uma imagem em perspectiva ortogonal. Em uma projeção ortogonal, raios ortogonais são projetados a partir da região imageada. Os raios nunca se encontram, e a imagem final em um sistema como esse não possui desvios nem distorções relativas ao relevo. A imagem em projeção ortogonal, ao contrário da projeção central, pode ser tomada como um documento cartográfico, podendo ser empregada em qualquer atividade que demande um mapa ou carta ou fonte de dados similar. Para obter ortoimagens, que estão em perspectiva ortogonal, faz-se necessário realizar uma transformação sobre as imagens já existentes (em perspectiva central), chamada ortorretificação

Simões (1993) define MDT como sendo uma descrição geométrica de um conjunto de valores, especialmente para a descrição topográfica da superfície da terra. Segundo Brito e Coelho (2002) existe várias fontes de dados para se obter as altitudes para a elaboração de modelo digital do terreno tais como: digitação de coordenadas de determinados pontos, obtidos por inspeção na carta ou provenientes de aerotriangulação; digitalização de cartas em papel através de mesas digitalizadoras; aquisição de dados via GPS em método cinemático ou semi-cinemático e método da extração fotogramétrica.

As ortofotos e os MDTs oferecem inúmeras possibilidades para geração de novos produtos cartográficos, como mapas de vias, quadras e lotes; mapeamento de uso e cobertura do solo e de áreas de preservação permanente e/ou de proteção ambiental; mapas de declividade, hipsométrico e aspecto; geração de curvas de nível; e muitos outros.

O controle de qualidade das ortofotos e do modelo digital de terreno provenientes do aerolevantamento realizado em Santa Catarina, resulta na determinação da precisão geométrica desses produtos, conseqüentemente, define a maior escala para novos mapas gerados a partir desses.

No Brasil, apesar de haver discussões técnicas para novas propostas de controle de qualidade de produtos cartográficos, ainda está em vigência o Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, BRASIL (1984).

Dessa forma, esse artigo descreve os resultados quanto à qualidade planimétrica das ortofotos e qualidade altimétrica do MDT para a Microbacia Alto Cubatão, baseado no Decreto nº 89.817/84, testes de tendência e precisão.

É importante ressaltar que o resultado utilizando essa metodologia, faz parte de um projeto de pesquisa financiado pela Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado de Santa Catarina - FAPESC, com o objetivo de avaliar, por amostragem (em 7 microbacias), a qualidade geométrica desses produtos cartográficos para todo o estado de Santa Catarina.

2. Área de estudo

Essa pesquisa foi realizada com base em áreas amostrais distribuídas pelo estado. Foram utilizadas as sete microbacias monitoradas em projetos governamentais (Microbacias e SCRural), as quais estão distribuídas uniformemente pelas regiões, considerando as diferentes características de clima, solos, geomorfologia, vegetação e o uso e cobertura da terra.

Para esse artigo foi selecionada a Microbacia Alto Cubatão, localizada no município de Águas Mornas/SC, representativa da mesorregião Grande Florianópolis (Figura 1).



Figura 1 – Localização da Microbacia Alto Cubatão, Município de Águas Mornas/SC.

A microbacia Alto Cubatão está entre os paralelos $27^{\circ}52'26,0''$ e $27^{\circ}44'48,9''$ latitude Sul e os meridianos $49^{\circ}2'7,5''$ e $48^{\circ}52'22,4''$ longitude Oeste. Ocupa uma superfície de $97,84 \text{ Km}^2$ e apresenta um conjunto de redes de drenagem, sendo a principal formada pelo Rio Novo e Rio do Salto que constituem as cabeceiras do Rio Cubatão, com foz no Oceano Atlântico. A região climática onde está inserida de acordo com a classificação de Köppen, situa-se numa zona de transição entre os climas Cfa (Clima temperado úmido com verão quente e Cfb (Clima temperado úmido com verão ameno). A vegetação original ocorrente na área é composta pela Floresta Ombrófila Densa e a unidade geomorfológica é Serras do Tabuleiro/Itajaí, caracterizada pela sequência de serras dispostas de forma subparalela. Os vales são profundos com encostas íngremes e sulcadas, separadas por cristas bem marcadas na paisagem (LAUS NETO et al., 1994).

3. Materiais e Método

Além dos insumos cartográficos para controle de qualidade geométrica (ortofotos e MDT), foram utilizados equipamentos GNSS L1/L2 para rastreamento dos pontos de controle planialtimétrico, monografias de campo impressas em folha A3, GPS de navegação e câmera fotográfica.

A metodologia de trabalho consistiu nas seguintes etapas: planejamento de campo, coleta e processamento dos pontos planialtimétricos e análise da qualidade geométrica.

3.1 Planejamento de campo

Merchant (1982) sugere vinte, como sendo o número mínimo de pontos, bem distribuídos por toda a área a ser analisada e que estes pontos não devem apresentar um erro superior a $1/3$ do Erro Padrão esperado para a classe do produto cartográfico a ser testado.

Dessa forma, com base nas ortofotos da área de estudo, foram selecionados 34 pontos e produzidas as monografias para identificação em campo. Os pontos são na sua maioria cantos de muro, de cercas e de porteiros bem identificáveis na imagem e no campo.

3.2 Coleta e processamento dos pontos planialtimétricos

Em campo, cada ponto de controle planialtimétrico foi rastreado por no mínimo uma hora. Do total de 34 pontos planejados em escritório, foram coletados 22 (Figura 2), devido à grande dificuldade de acesso, uma vez que a área apresenta um relevo extremamente acidentado.

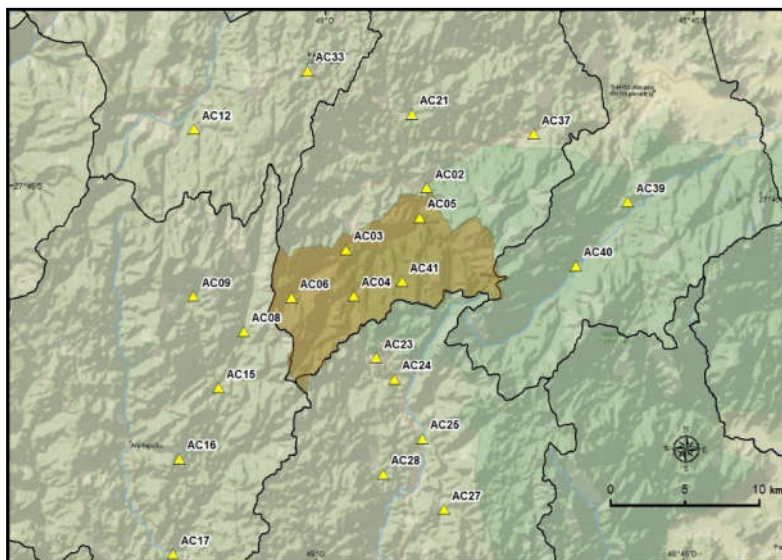


Figura 2 – Distribuição dos pontos na área de estudo.

O processamento foi realizado por meio do serviço disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE chamado IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso).

É um serviço online gratuito para o pós-processamento de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que faz uso do programa CSRS-PPP (GPS Precise Point Positioning) desenvolvido pelo *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (NRCan).

De acordo com o IBGE (2013) as precisões esperadas para um levantamento estático utilizando equipamentos de duas frequências - L1/L2 obtido a partir da “Órbita FINAL” são 3 centímetros para planimetria e 5 centímetros para altimetria, com 1 hora de rastreo.

As altitudes ortométricas (H) utilizadas nessa pesquisa foram referenciadas ao modelo geoidal EGM2008, uma vez que os MDTs do aerolevanteamento foram obtidos a partir desse modelo. As altitudes ortométricas são aproximadamente calculadas por $H \cong h - N$, onde h refere-se à altitude geométrica obtida no pós-processamento e N, ondulação geoidal do modelo EGM2008.

3.3 Análise da qualidade geométrica

A metodologia de análise da qualidade geométrica foi baseada em Souza (2006) seguindo as seguintes etapas: identificação de erros grosseiros, e sua remoção caso necessário; Testes de Tendência e de Precisão e aplicação da Norma Brasileira, o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC.

Assim, as discrepâncias das coordenadas planimétricas e das altitudes ortométricas foram obtidas considerando como referência aquelas levantadas em campo e pós-processadas por meio do IBGE-PPP e suas homólogas nos produtos cartográficos.

3.3.1 Identificação de erros grosseiros

O primeiro procedimento a ser adotado num controle de qualidade de produtos cartográficos refere-se à verificação de ocorrência de erros grosseiros na amostra. Para tanto, deve-se obter os seguintes parâmetros estatísticos amostrais: média e desvio-padrão (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos

Discrepância	Média	Desvio-Padrão
$\Delta X_i = X_i - X_{ir}$	$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$	$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2}$

onde,

ΔX_i = discrepâncias calculadas entre as coordenadas de referência (campo) e do produto cartográfico analisado, onde i equivale a cada ponto;

X_i = coordenada analisada;

X_{ir} = coordenada de referência;

$\overline{\Delta X}$ = média das discrepâncias observadas;

n = número de amostras;

n – 1 = número de amostras menos uma amostra;

$S_{\Delta X}$ = desvio-padrão das discrepâncias encontradas;

$(\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2$ = desvios em relação à média, ao quadrado.

Foi utilizado, para identificar erros grosseiros na amostragem, o critério sugerido por Nero (2005), que recomenda utilizar o valor de 3 vezes o desvio – padrão amostral como valor de orientação na identificação de erros grosseiros.

3.3.2 Teste de tendência

O teste de tendência do produto cartográfico, segundo Merchant (1982) é baseado na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas no produto e suas homólogas de referência (campo), calculada para cada ponto (i), média e desvio-padrão.

No teste de tendência são analisadas as seguintes hipóteses:

$$H_0: \overline{\Delta X} = 0, \text{ não é tendencioso}$$

$$H_1: \overline{\Delta X} \neq 0, \text{ é tendencioso}$$

Para este teste deve-se calcular a estatística amostral “ t_x ”, e verificar se o valor de t amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Para o teste de tendência utiliza-se o teste t de Student (valores tabelados), sendo este um teste quantitativo.

O valor de t amostral é calculado por (Equação 1):

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \tag{1}$$

O valor limite t (n-1; $\alpha/2$) é determinado através da tabela t de Student para um nível de confiança (1- α) de 90%. O intervalo de confiança é dado por (Equação 2):

$$|t_x| < t_{(n-1; \alpha/2)} \tag{2}$$

A estatística t não satisfazendo a desigualdade acima, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, o produto cartográfico não está livre de tendências significativas, para o nível de confiança adotado.

3.3.3 Teste de precisão



Para o teste de precisão do produto cartográfico de acordo com Merchant (1982), compara-se o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão - EP esperado para a classe desejada, formulando-se a seguinte hipótese:

$$H_0: S_x^2 = \sigma_x^2, \text{ contra} \\ H_1: S_x^2 > \sigma_x^2$$

onde, σ_x é o EP esperado para a classe de interesse. Para o teste de precisão utiliza-se o teste *Qui – Quadrado*, teste qualitativo, ou seja, categoriza o produto a uma classificação predeterminada. Calculado o desvio padrão esperado, realiza-se a estatística através da equação 3:

$$\chi_x^2 = (n - 1) \frac{S_{\Delta x}^2}{\sigma_x^2} \quad (3)$$

e verifica-se se o valor acima calculado está no intervalo de aceitação (Equação 4), ou seja:

$$\chi_x^2 \leq \chi_{(n-1;\alpha)}^2 \quad (4)$$

Não sendo obedecida, rejeita-se a hipótese nula, isto é, o produto não atende à precisão pré-estabelecida. Para esta análise utilizou-se a estimativa dada pela distribuição *Qui-Quadrado* (valores tabelados), para um nível de confiança de 90%.

3.3.4 Norma Brasileira para controle de qualidade de produtos cartográficos

O artigo 8º do decreto-lei nº 89.817/84, estabelece que a forma de classificar um documento cartográfico quanto à sua exatidão, deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, segundo o critério indicado: 1) *Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido;* 2) *Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido.*

O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes e sintetizados na Tabela 2:

Tabela 2 - Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (equid = equidistância)

Classe	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 da equid.	1/3 da equid.
B	0,8 mm	0,5 mm	3/5 da equid.	2/5 da equid.
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 da equid.	1/2 da equid.

Fonte: decreto-lei nº 89.817/84.

Assim, para finalizar o controle de qualidade de produtos cartográficos, foi aplicada a Norma Brasileira, isto é, foi verificado se 10% dos pontos amostrais apresentavam valor de discrepância abaixo do valor de PEC estabelecido pela Norma Brasileira para a escala e classe testadas. Nessa pesquisa foram testadas as escalas 1:10.000, 1:5.000 e 1:2.000, com equidistância das curvas de nível de 5, 2 e 1 metros, respectivamente.

4. Resultados e Discussão

As análises da qualidade geométrica dos produtos cartográficos iniciaram-se com a escala 1:10.000, sendo aprovada testava-se a escala 1:5.000 e por último a escala 1:2.000. Foram consideradas aprovadas para a escala em teste somente a classificação A (Classe A).

Foi verificado que a precisão das coordenadas dos 22 pontos planialtimétricos levantados em campo e pós-processado pelo IBGE-PPP foi para altimetria 1,6 centímetros e planimetria menor que 1 centímetro, atendendo o critério adotado, ou seja, a precisão das coordenadas de referência deve ser 3 vezes melhor que a escala/classe do produto cartográfico testado.

Assim, de acordo com o método de análise de qualidade geométrica adotado neste trabalho de pesquisa as ortofotos que cobrem a área de estudo, a Microbacia Alto Cubatão, se enquadram na escala 1:5.000 – Classe A (Tabela 3) e os modelos digitais de terreno atendem à escala 1:10.000 – Classe A (Tabela 4).

Tabela 3 – Resultado qualidade planimétrica

ORTOFOTO		
média	0,040m	-0,444m
desvio-padrão - dp	1,033m	0,674m
erro grosseiro (3*dp)	<i>Não</i>	<i>Não</i>
nº de pontos válidos	22	
Análise 1:5.000 – Classe A		
EP definido pelo PEC	1,5m	
PEC	2,5m	
Teste de Tendência		
t teórico (21; 0.05)	1,721	
t amostral tE	0,182	
t amostral tN	3,087	
tE < t teórico: <i>Sem tendência</i>		
tN > t teórico: <i>Com tendência</i>		
Teste de Precisão		
χ^2 teórico (21;0.10)	29,62	
χ^2 amostral (χ^2_E)	Classe A: 2,489	
χ^2 amostral (χ^2_N)	Classe A: 1,061	
Norma Brasileira		
90% da amostra < PEC	<i>Atende – Classe A</i>	

Tabela 4 – Resultado qualidade altimétrica

MDT	
média	0,273m
desvio-padrão - dp	0,837m
erro grosseiro (3*dp)	<i>sim</i>
nº de pontos válidos	21
Análise 1:10.000 – Classe A	
EP definido pelo PEC	1,65m
PEC (curvas de 5m)	2,5m
Teste de Tendência	
t teórico (20; 0.05)	1,725
t amostral tH	1,493
tH < t teórico: <i>Sem tendência</i>	
Teste de Precisão	
χ^2 teórico (20;0.10)	28,41
χ^2 amostral (χ^2_H)	Classe A: 5,143
Norma Brasileira	
90% da amostra < PEC	<i>Atende – Classe A</i>

Conforme os resultados apresentados na Tabela 3, a análise planimétrica foi realizada por componente, ou seja, coordenadas E e N separadas. A amostragem não apresentou erro grosseiro, considerando o valor de 3 vezes o desvio padrão amostral. Já na análise de tendência foi identificado presença de erros sistemáticos para a coordenada N, uma vez que a hipótese nula foi rejeitada. De acordo com Galo e Camargo (1994), uma vez conhecida a tendência, o seu efeito pode ser minimizado pela subtração de seu valor a cada coordenada “lida” no produto cartográfico. De acordo com o Teste de Precisão as ortofotos atendem requisitos geométricos para escala 1:5.000/A e ao aplicar a Norma Brasileira, esse resultado se confirma.

Para a análise altimétrica (Tabela 4) foi detectado erro grosseiro em um ponto, pois apresentou discrepância maior que 3*dp (2,51m) o qual foi removido da amostra, sendo assim, considerado para os testes estatísticos 21 pontos. A altimetria está livre de erros sistemáticos e foi aprovada tanto pelo Teste de precisão quanto pela Norma Brasileira, a escala 1:10.000 Classe A, com equidistância das curvas de 5 metros.

5. Conclusão

Diante dos resultados obtidos, há uma indicação, mesmo que ainda de forma parcial, que a tecnologia utilizada no levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina, um sistema baseado em câmera de médio formato – SAAPI se confirma como uma tecnologia segura na geração dos produtos cartográficos, uma vez que os testes de qualidade geométrica atingiram a escala adquirida pelo estado, tendo inclusive, as ortofotos apresentado escala superior, 1:5.000/Classe A. Os MDTs foram classificados em 1:10.000/Classe A. Assim, de acordo com o PEC, a qualidade posicional nesses produtos pode variar até 2,5m (altimétrico e planimétrico).

O sistema IBGE-PPP, sobre tudo com utilização de equipamentos GNSS L1/L2, se apresenta como uma alternativa interessante para processamento de pontos de controle, pois apresentaram bons resultados quanto à precisão, atendendo à precisão esperada para esse tipo de trabalho (erro inferior a 1/3 do Erro Padrão esperado para a classe do produto cartográfico a ser testado).

A metodologia descrita nesse artigo foi a adotada em todas as áreas de estudo do projeto, e ao final, considerando que essas unidades amostrais representam as diferentes características físicas do território catarinense, os resultados indicarão a qualidade geométrica das ortofotos e dos MDT's para todo o estado.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições FAPESC e EPAGRI pelo apoio prestado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

BRITO, J.; COELHO, L. Fotogrametria digital. 1ª edição. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ, 2002. Disponível em <<http://e-foto.sourceforge.net/e-book-pt.html>>. Acesso em 28.jan. 2005

Galo, M.; Camargo, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: 1º COBRAC, 1994, Florianópolis. **Anais...Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 1994. Cd-Rom.

IBGE. Manual do usuário Aplicativo Online IBGE-PPP. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Coordenação de Geodésia, 2013. 33 p. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf. Acesso em 23.fev.2016.

Laus Neto, J.A.; Panichi, J. de A.V.; Sonego, M.; Muller, J.E. **Microbacia: Alto Rio Cubatão (Águas Mornas, SC)**. Florianópolis: EPAGRI, 1994. 47p. (Inventário das terras em microbacias hidrográficas, 4). Projeto Microbacias / BIRD / Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento.

Merchant, D. C. Spatial accuracy standards for large scale line maps. In: American Congress on Surveying and Mapping, v.1, 1982. **Technical Papers** of the American Congress on Surveying and Mapping, 1982.

Nero, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. (2005) Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SDS/SC. SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: ENGEMAP, 2013, p. 202, Documento Digital.

Souza, J. M. **Análise da qualidade cartográfica dos dados da Shuttle Radar Topography Mission - SRTM**. (2006). 116 p. Dissertação (Mestrado em Cadastro Técnico Multifinalitário) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.