

Análise da Qualidade cartográfica do Alto Curso do Rio Santo Anastácio na Escala 1:2000

Ariane de Oliveira Pedro Bom
Fabrício dos Santos Prol
Mariana Dias Chaves

Universidade Estadual Paulista - UNESP
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente SP
Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
arianeopbom@hotmail.com; fabricioprol@hotmail.com; mariana.unesp@hotmail.com

Resumo: O artigo apresenta a qualidade obtida no processo fotogramétrico para uma base cartográfica construída, na escala 1:2000, de uma região do Alto Curso do Rio Santo Anastácio, localizada no oeste do Estado de São Paulo. A região é cercada por centros urbanos, como as cidades de Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Presidente Venceslau e Presidente Epitácio.

Palavras chaves: Base Cartográfica, Fototriangulação, PEC.

Abstract: This paper presents the quality obtained in the photogrammetric process of the cartographic base created, in scale 1:2000, of a region of the Alto Curso do Rio Santo Anastácio, situated in the West of São Paulo state. The region is surrounded by urban centers such as the cities of Presidente Prudente, Presidente Bernardes, Santo Anastácio, Presidente Venceslau and Presidente Epitácio.

Keywords: Cartographic Base, Phototriangulation, PEC.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Hasegawa et al. (2011), a ocupação na região do rio Santo Anastácio foi mais intensa na metade do século XX. Neste período, fazendeiros e o Estado organizaram expedições para a exploração da região, visando o reconhecimento de florestas e também com o intuito de avançar o plantio de café. Etchebehere et al. (2006), em seu estudo realizado sobre a região, diz que a viabilidade do cultivo de café no oeste do Estado de São Paulo ocasionou um processo de desmatamento generalizado e, com o passar do tempo num esgotamento do solo.

Esta ocupação inadequada ocasionou um dos maiores quadros erosivos de todo Estado (GUEDES et al, 2010) e, atualmente na região, encontram-se atividades no setor agropecuário voltado a produção sucroalcooleira e, tem-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio apresenta uma grande importância para a região, principalmente para a cidade de Presidente Prudente a qual é responsável por 75% do abastecimento de água.

Neste contexto, segundo Hasegawa et al. (2011), surge a necessidade de se realizar estudos na região da Bacia Hidrográfica a fim de verificar as mudanças ocorridas com a ocupação do solo ao longo do tempo e, para realizar este estudo tem-se como fundamental a utilização da Cartografia como ferramenta para o seu desenvolvimento, uma vez que esta ciência é uma forma eficiente para a transmissão de informações, tornando-se fundamental no processo de planejamento e apoio às tomadas de decisões.

Deste modo o propósito deste trabalho é apresentar como foi produzida a base cartográfica de determinada região do Alto Curso do Rio Santo Anastácio, na escala 1:2.000. Sendo que para isto, utilizaram-se operações fotogramétricas na construção do mapa plani-altimétrico e fez-se análises estatísticas afim de atender os critérios e parâmetros de qualidade do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Projeto cartográfico

De acordo com Keates (1989) as variáveis independentes de um projeto cartográfico são: área geográfica, informação, projeção e escala, e formato da apresentação dos dados. A área geográfica deve ser definida em primeira instância, sempre levando em conta o propósito do mapa. Com relação à informação, o mapa tem de ser elaborado em função da representação cartográfica já existente ou deve-se coletar informações relevantes ao tema escolhido. A escolha da escala controlará a quantidade de detalhes que poderão ser mostrados e o formato será em função do tamanho do mapa para que seja necessária a cobertura da área nesta escala.

2.2 Aerofotogrametria

A Fotogrametria pode ser definida como processo utilizado na obtenção de informações métricas confiáveis referentes a um objeto através de observações feitas em fotografias do mesmo (MIKHAIL et al., 2001). A aerofotogrametria é uma subdivisão da fotogrametria, na qual as fotografias são tomadas por uma câmara de precisão montada em uma aeronave.

A utilização de fotografias na extração de medidas e de informações sobre a área estudada tem sido amplamente utilizada devido ao rápido desenvolvimento tecnológico. Com o surgimento da fotogrametria digital, fez-se possível aprimorar os procedimentos de correção de imagens, a partir do processamento digital de imagens, bem como viabilizar a orientação absoluta do conjunto de imagens em relação ao terreno.

2.3 Fototriangulação

Fototriangulação é o método fotogramétrico de determinação de coordenadas de pontos do espaço objeto através de:

- i. Relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas;
- ii. Espaço controle de campo dado, e;
- iii. Um conjunto de valores aproximados de parâmetros. (LUGNANI, 1987).

O objetivo da fototriangulação é gerar coordenadas precisas de pontos do espaço objeto, a partir de coordenadas medidas em fotografias, devidamente tomadas e orientadas. Esta orientação, que compõem o bloco fotogramétrico é realizada utilizando pontos de controle, os quais são devidamente coletados e identificados em todas as fotos em que aparecem.

2.4 Restituição

Restituição, na sua origem, significa a “reconstrução” do terreno fotografado, a partir de suas fotografias. A partir do conhecimento da posição de pontos no estereomodelo torna-se possível representar feições do terreno num sistema de projeção cartográfica. O resultado final da restituição é uma carta ou mapa do terreno fotografado (ANDRADE, 1998).

2.5 Análise da qualidade

Segundo Galo e Camargo (1994), o controle da qualidade de um produto cartográfico é uma fase extremamente importante e é poucas vezes realizado no Brasil. Uma parcela de culpa pode ser atribuída ao próprio produtor do mapa, outra aos próprios usuários e contratantes destes produtos e a última ao processo de fiscalização.

Para que a classificação da carta seja feita com segurança, além do número e da distribuição dos pontos, deve-se saber qual a qualidade necessária na determinação dos pontos de referência. Esta qualidade depende da escala e da classe esperada para a carta.

Segundo Merchant (1982) os pontos de referência a serem utilizados podem ser determinados por procedimentos na qual o erro não seja superior a **1/3 do erro padrão esperado** para a classe da carta. A tabela 1 mostra o PEC Planimétrico e o Erro Padrão (EP), para cada uma das classes, conforme decreto nº 89817/84. A tabela 2 mostra o PEC e o EP altimétrico, em fração da equidistância das curvas de nível.

Tabela 1 : PEC e EP para as classes A, B, C.

Classe	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5	0,3
B	0,8	0,5
C	1	0,6

Tabela 2 : PEC e EP em função das equidistâncias

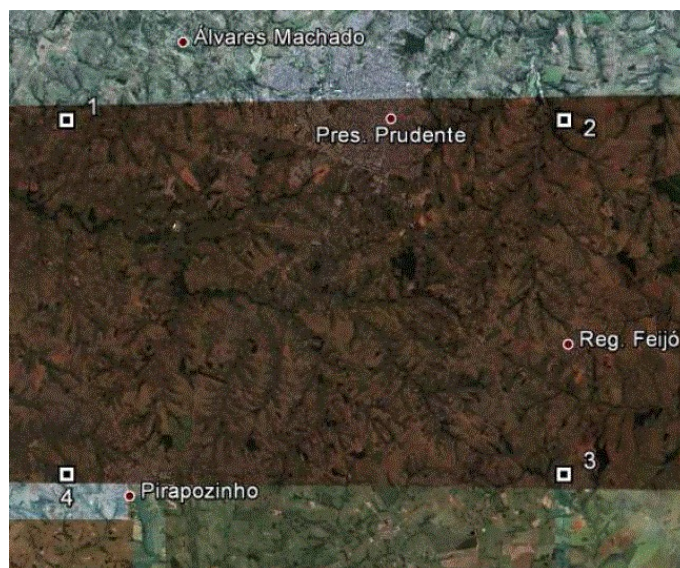
Classe	PEC	EP
A	1/2 eq	1/3 eq
B	3/5 eq	2/5 eq
C	3/4 eq	1/2 eq

Em função dos valores mostrados nas tabelas 1 e 2 pode-se calcular qual deve ser o erro tolerável para os pontos a serem utilizados como referência para o controle.

3 MÉTODO

3.1 PROJETO CARTOGRÁFICO

A área geográfica de estudo corresponde ao Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Anastácio, localizada no município de Presidente Prudente-SP (Figura 1). Os pontos 1, 2, 3, 4 representam, aproximadamente, os pontos limites da região.

**Figura 1** : Região da área de estudo.)

A escala do produto final (1:2000) foi selecionada com base nas escalas utilizadas para a geração de bases cartográficas nos projetos da FCT/UNESP antes realizados, padronizando assim, os mapas já produzidos da mesma região.

Através da página da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (www.ufrgs.br/engcart/) fez-se o cálculo da convergência meridiana. Na página do Observatório Nacional (<http://obsn3.on.br/>) calculou-se a declinação magnética e a variação anual, ambas para o dia 31/10/2011 (data final da restituição).

Por fim, definiu-se que a restituição e as curvas de nível, após serem geradas e aceitas no teste de qualidade, seriam inseridas no layout da carta, compondo a base cartográfica da região. A determinação das variáveis independentes foi feita a partir de análise das imagens disponibilizadas pela empresa

Engemap e com informações retiradas de campo. Selecionando assim, as feições a serem representadas.

3.2 LEVANTAMENTO DE PONTOS DE APOIO E VERIFICAÇÃO

Antes de realizar a coleta dos pontos de apoio e de verificação, foram selecionadas áreas dentro do bloco fotogramétrico onde existiam pelo menos dois pontos fotoidentificáveis, que foram devidamente localizados no Google Earth®, para facilitar o deslocamento até os mesmos.

Como o bloco utilizado era composto por 576 fotos e o trabalho foi realizado por todos os alunos matriculados na disciplina Trabalho de Graduação, cada grupo se responsabilizou por aproximadamente 15 pontos de apoio, distribuídos em uma faixa transversal às linhas de voo. A taxa de coleta foi de 1 Hz com máscara de elevação de 15° e aproximadamente, 40 minutos em cada ponto, visando uma melhor solução das ambiguidades no processamento.

O processamento dos pontos foi realizado no *software* Topcon Tools®, tendo como estação de referência a PPTE, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do sistema de referência SIRGAS2000. Como resultado do processamento, os pontos não apresentaram erro superior a 11 cm, portanto puderam ser utilizados na fototriangulação do bloco.

3.3 FOTOTRIANGULAÇÃO

O processo de fototriangulação contou com 60 pontos de apoio, distribuídos em quatro faixas transversais às linhas de voo. As imagens e a posição dos Centros Perspectivos foram disponibilizadas a partir do voo realizado pela empresa Engemap, que utilizou uma aeronave acoplada a um sistema integrado, formado por uma antena GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), um sistema inercial de navegação (IMU) e a câmara digital de alta resolução modelo Hasselblad.

No *software* Leica Photogrammetry Suite (LPS) v.2011 fez-se a orientação do bloco e os pontos de enlace foram gerados automaticamente, com distribuição de 25 em cada modelo. Estes pontos (de controle e verificação) foram editados sistematicamente no modo estéreo de maneira a corrigir sua posição dentro do bloco. Ao final do processo mantiveram-se 26 pontos de controle (19 horizontais e 10 verticais) e 29 pontos de verificação (18 horizontais e 15 verticais).

3.4 RESTITUIÇÃO

A etapa da restituição foi realizada na escala 1:2.000, módulo PRO600 Project Manager no *software* Microstation v8 do LPS. A região pré-definida (folha SF-22-Y-B-III-SO-A-IV-5) se refere ao bairro Ana Jacinta, que pertence à Presidente Prudente – SP. Como o IBGE disponibiliza uma nomenclatura para cartas até a escala 1:10.000, utilizou-se a metodologia mostrada na figura 2 nas demais escalas: 1:5000 e 1:2000.

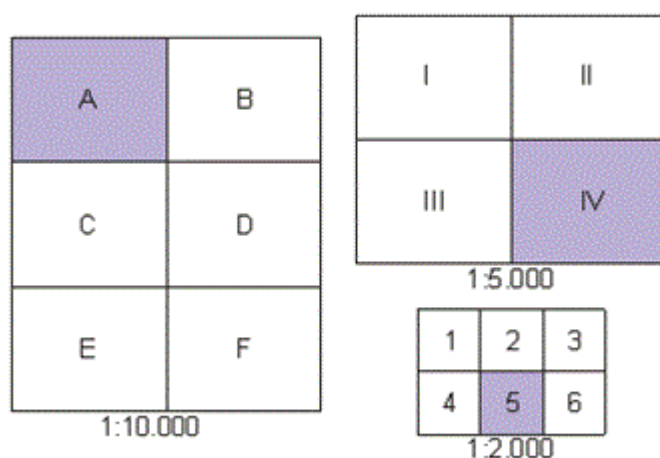


Figura 2 : Nomenclatura da folha na escala 1:2000.)

A região de interesse está localizada na parte sudoeste da cidade e trata-se de um bairro residencial, com

a presença de pequenas matas e poucas feições de hidrografia (lagos e rios). Por isso, antes do procedimento de restituição, fez-se um reconhecimento das feições presentes na região, as quais deveriam ser mapeadas.

Com as feições definidas, fez-se a restituição por vetorização, com exceção das curvas de nível que foram geradas, no LPS, a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) por processos automáticos de interpolação, de dois metros de equidistância e com curvas mestras de dez em dez metros.

3.5 ANÁLISE DA QUALIDADE DA FOTOTRIANGULAÇÃO

A análise da fototriangulação foi realizada a partir do resultado obtido para os pontos de verificação demarcados na área de estudo. Foram necessários 10 pontos no mínimo para tal análise, sendo pontos bem distribuídos na região fototriangulada.

As coordenadas dos pontos de verificação são conhecidas, mas não fixadas no processo de fototriangulação, de modo que as mesmas são determinadas, pois têm a função de controlar a qualidade da fototriangulação a partir de testes estatísticos, que comparam as coordenadas calculadas com as coordenadas conhecidas.

Os valores utilizados para avaliar a qualidade da aerotriangulação foram obtidos no relatório gerado pelo LPS. Estes só foram aceitos após realizar a fototriangulação do bloco, corrigir os pontos que extrapolaram a precisão exigida para classe A do PEC e aceitar os valores recalculados.

3.6 ANÁLISE DA QUALIDADE DA RESTITUIÇÃO

A análise da restituição utilizou pontos previamente selecionados na área da carta, os quais foram coletados e processados, utilizando como estação de referência a PPTE, da RBMC.

Cada ponto de verificação tem duas ternas de coordenadas, as quais são comparadas e analisadas, de modo a avaliar a precisão obtida na restituição dentro dos padrões exigidos pelo PEC.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 ANÁLISE DA QUALIDADE DA FOTOTRIANGULAÇÃO

Realizado o processo de fototriangulação com os pontos de verificação, a avaliação foi realizada sabendo que a qualidade do conjunto de pontos de verificação foi aceita, tendo como resultado: 0,35m para as componentes horizontais e 0,50m para a componente vertical, sendo que cada ponto isolado não ultrapassou 0,70m em E e N e 1,00m em h.

Utilizando os testes estatísticos t-Student e Qui-quadrado, pode-se avaliar se a fototriangulação foi tendenciosa e se os valores obtidos permitiriam alcançar a precisão exigida no PEC. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores calculados.

Tabela 3 – Análise da tendência dos pontos

Valor	Z_E	Z_N	Z_h
Tabelado	1,734064	1,734064	1,75305
Calculado	1,705464	0,30341	0,657662

Tabela 4 – Análise da qualidade da fototriangulação

Valor	χ_E^2	χ_N^2	χ_h^2
Tabelado	24,76904	24,76904	21,06414
Calculado	1,131634	22,66454	13,45252

De acordo com o resultado obtido nas análises estatísticas, pode-se afirmar que os pontos de verificação não são tendenciosos e que a fototriangulação se enquadra na Classe A, mesmo a componente E apresentando um valor elevado na tendência, a qualidade da fototriangulação se apresentou boa em E.

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA RESTITUIÇÃO

Para o teste estatístico de análise de tendências foram utilizados 22 pontos de verificação. Dos quais foram obtidos os resíduos das coordenadas E, N e h a partir da diferença entre as coordenadas obtidas no processamento dos dados GPS (*Global Positioning System*) e as coordenadas obtidas na restituição da carta. A partir dos resíduos a qualidade foi verificada, tendo como resultado as Tabelas 5 e 6, utilizando o teste estatístico t-Student e Qui-quadrado.

Tabela 5 - Análise da tendência dos pontos utilizados

Valor	t_E	t_N	t_H
Tabelado	1,710882067	1,710882067	1,710882067
Calculado	-2,14600345	0,529136535	-2,22343074

Conforme apresentado na tabela a cima, a escolha e distribuição dos pontos foram tendenciosas, devido à localização da carta em relação aos pontos de apoio do bloco, porém os mesmos puderam ser utilizados na aferição da qualidade da carta restituída. Para análise da precisão da restituição, utilizou-se o teste Qui-quadrado, com n igual a 23 e alfa de 10%, que representa 90% de probabilidade.

Tabela 6 - Análise da precisão da carta

Valor	χ^2_E	χ^2_N	χ^2_h
Tabelado	13,2395981	13,2395981	13,2395981
Calculado	4,97418054	8,076347121	7,692415649

De acordo com a tabela 6, a carta atende aos requisitos para a Classe A, já que os valores calculados para as componentes E, N e h foram menores que os valores tabelados para o grau de liberdade e probabilidade, definidos a priori.

4.3 BASE CARTOGRÁFICA

Tendo a análise da qualidade da restituição apresentado resultados favoráveis, inseriu-se a restituição e as curvas de nível no *layout* previamente definido, compondo assim a base cartográfica da região (Figura abaixo). Esta carta se encontra impressa em um tamanho intermediário, entre as folhas A0 e A1.

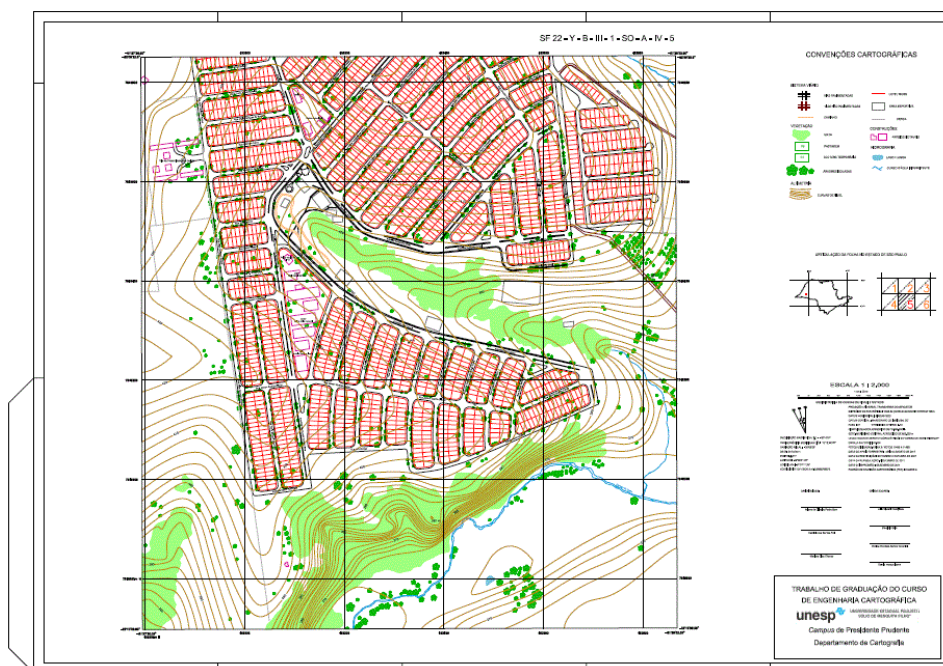


Figura 3 : Base cartográfica da região.)

Percebe-se que a região selecionada possui algumas áreas de pastagem e cultura temporária, além de alguns trechos de hidrografia. Verifica-se também, uma grande interação de urbanização com porções de vegetação, o que pode ser um problema para administradores, pois existe grande probabilidade de estas regiões estarem ultrapassando os limites da Área de Preservação Permanente (APP).

5 CONCLUSÃO

Como observado na análise dos produtos, foi obtido PEC Classe A para planimetria (E, N) e para altimetria (h), indicando que os procedimentos adotados, tanto para a coleta dos dados, quanto para a Aerotriangulação, foram adequados para a geração de uma base cartográfica de boa qualidade.

Tendo em vista a aceitação da análise de qualidade, conclui-se que este trabalho proporciona uma metodologia eficaz para se construir uma base cartográfica na escala 1:2000. Onde, para um bloco com 576 fotos é proporcionado: o projeto cartográfico, o levantamento dos pontos de verificação, o processo de fototriangulação e de restituição. Métodos que tem grande valor para cartógrafos que desejam construir uma base cartográfica a partir de Imagens Aéreas.

Além disto, a base cartográfica deste trabalho poderá ser usada como ferramenta no estudo e desenvolvimento do Alto Curso do Rio Santo Anastácio, região de grande importância às cidades vizinhas, mas que apresenta grande deficiência nas propriedades do seu solo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba. SBEE, 1998.

ENGEMAP. **Produto cartográfico na escala 1:2.000 – Carta de Valinhos, SP**. Assis, 2008.

ETCHEBEHERE, M.L.C.; GUEDES, I. C.; SANTONI, G. C.; STEVAUX J. C.; MORALES, N; SAAD A. R. Análise de perfis longitudinais de drenagens da bacia do Rio Santo Anastácio (SP) para detecção de possíveis deformações neotectônicas. (Editorial). **Revista UnG – Geociências**, São Paulo, v.5, n.1, p. 75-102, 2006.

Galo, M.; Camargo, P.O. **Utilização do GPS no controle da qualidade de carta**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 1994, páginas 41-48.

GUEDES, I. C.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; MORALES, N; STEVAUX J. C.; SANTONI, G. C.; Análise morfotectônica da bacia do rio Santo Anastácio, SP, através de parâmetros fluviomorfométricos e de registros paleossísmicos. http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/28_4/Art%2001_Guedes.pdf, acesso em: 12/11/2010.

HASEGAWA, J. K. ; DECANINI, M. M. S. ; [GALO, M.](#) ; TOMMASELLI, A.M.G. ; Paula, C. F. ; MOREIRA, A. B. ; Souza E. R. P. . **Mapeamento fotogramétrico da cobertura do solo do Alto da Bacia Hidrográfica do rio Santo Anastácio 1978 e 2008**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba - PR. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos - SP : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. v. 1. p. 1-8.

KAETES, J. S. (1989). **Cartographic design and production** (2 Edição Ed). London: Longman.

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.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

Decreto nº 89817, de 20 de junho de 1984. **Instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional**. Diário oficial da União.

LUGNANI, J. B.; **Introdução à fototriangulação**. Universidade Federal do Paraná, 1987. 134p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br. Acesso em: 04 abr. 2012.

Observatório Nacional. <http://obsn3.on.br/>. 2011. Acessado em: 17/11/2011.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. www.ufrgs.br/engecart/. 2011. Acesso em: 17 nov. 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa ENGEMAP por fornecer as imagens utilizadas na fototriangulação, ao Departamento de Cartografia pela infraestrutura disponibilizada, aos orientadores: Júlio Kiyoshi Hasegawa, Maurício Galo, Mônica Modesta Santos Decanini e Otávio Yassuo Itame, pela confiança e orientação na realização das tarefas e aos alunos da turma de Engenharia Cartográfica 2011, que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.