

**FEIÇÕES RETAS COMO CONTROLE NO
REFINAMENTO DE IMAGENS TM
UTILIZANDO-SE DADOS REAIS**

Maria Isabel C. de Freitas Viadana
UNESP-IGCE-Dep. Cartografia e An. da Inf. Geográfica
Caixa Postal 178, 13500 - Rio Claro - SP

7 João Bosco Lugnani
UFPR-Setor de Tecnologia-Dep. de Geociências
Caixa Postal 19011, 81504 - Curitiba-PR
BRASIL

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência do uso de feições retas como controle nos modelos matemáticos de refinamento da imagem TM do satélite LANDSAT, fazendo-se uso de **dados reais**. Elaborou-se modelos polinomiais e o modelo da equação projetiva adaptados à feições retas como controle. Programas computacionais na linguagem BASIC foram implementados em microcomputador ITAUTEC PC XTII. Efetuou-se uma coleta de dados reais de cartas e de imagem, após a qual se efetuou os testes para o setor da imagem pertencente ao fuso da projeção UTM cujo meridiano central é de 45° W. Os resultados são apresentados e discutidos. Os melhores resultados obtidos foram para o polinômio de 1º grau, com EMQ de 51,70 m e para a equação projetiva, com EMQ de 57,97 m. Foram utilizadas 36 feições retas como controle. Os resultados obtidos para o polinômio de 1º grau equivalem aos obtidos pelo INPE. Estes resultados mostram a eficiência do uso de feições retas como controle.

ABSTRACT

The main aim for this work is to evaluate the efficiency of the use of straight features as control in the mathematical models of TM-LANDSAT image refining making use of **real data**. Polynomial models and the projective equation model were adapted to straight features as control. Computer programs in BASIC were implemented in a ITAUTEC PC XT II microcomputer. A sampling of real data from maps and from image was made, after which it followed a test for the image sector belonging to the UTM projection fuse with central meridian equal to 45° W. The results are presented and discussed. The best results were from first-degree polynomial, with RMS equal to 51,70 m while the projective equation model presented RMS equal to 57,97 m. Were used 36 straight features as control in the tests. The obtained results are showing the efficiency of the use of straight features as control. In this case, they were equivalent to the ones obtained by INPE.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, está plenamente consagrada o uso de controle convencional através de pontos individuais que relacionam o original cartografado com a verdade do terreno. Porém, a identificação de pontos de controle, seja no trabalho com fotografias aéreas ou com imagens de satélite, pode ser dificultada em função da escala e das particularidades da região em estudo. Com uma quantidade menor de pontos de controle de qualidade, em muitos casos, o produto final poderá ser comprometido. A opção pelo uso de feições (Masry, 1981) surge como uma tentativa de minimizar esta dificuldade. O objetivo é utilizar as feições em substituição ao controle convencional, ou mesmo como complemento deste.

Segundo Lugnani (1980), o termo feição é utilizado para denominar um objeto (ou parte dele) que possa ser representado por um segmento de curva espacial como por exemplo uma estrada, uma via férrea, a borda de um prédio, etc. Observa-se que em regiões desenvolvidas, a presença de obras construídas pelo homem é predominante, fornecendo grande quantidade de feições. Além da fácil identificação, uma outra vantagem da feição é a não necessidade de correspondência um a um entre pontos estabelecidos na imagem e na carta base adotada para fornecer a verdade do terreno.

Cada vez mais surgem aplicações bem sucedidas deste novo conceito em Fotogrametria e em Sensoriamento Remoto. São exemplos a Orientação Absoluta Ana

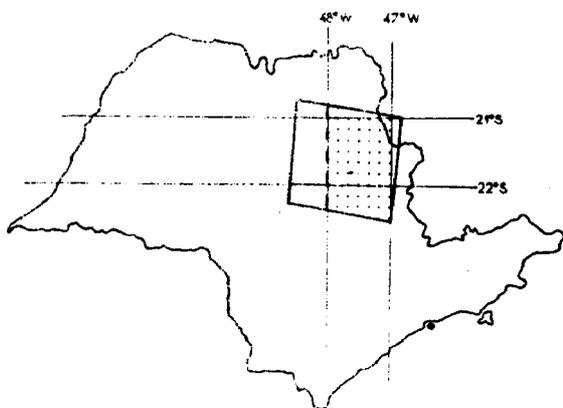


Fig. 1 - Localização da área de estudo no Estado de São Paulo.

lítica de Estereomodelos (Masry, 1981) e (Souza, 1982), a Resseção Analítica em Fotogrametria (Lugnani, 1980) e a Revisão de Mapas Digitais (Masry, 1981). O uso da equação projetiva adaptada a feições para a correção geométrica de imagens Skylab, câmara S-190, foi testado com sucesso por Lugnani (1980).

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a eficiência do uso de feições retas em substituição a pontos de controle, quando aplicadas à modelos de refinamento de imagem TM do satélite LANDSAT utilizando-se dados reais.

Com relação ao refinamento de imagens, os testes realizados por Ford (1985) e por Machado e Silva (1983;1984) apresentam o trabalho com dados reais sobre imagens de excelente qualidade, em regiões favorecidas de pontos de controle. Pretende-se com este trabalho testar os modelos de refinamento com feições reais sobre uma imagem comum que cobre o município de Rio Claro-SP e que se apresenta pouco favorecida de pontos mas com grande quantidade de feições retas (Fig.1)

As imagens TM, segundo Machado e Silva (1986) apresentam-se em cinco níveis de correção geométrica, classificados conforme a qualidade da imagem. Com relação aos Erros-Médios-Quadráticos das imagens em cada nível de correção tem-se que para os Níveis 0 a 1 não são apresentados valores de EMQ; o Nível 2 que é o produto padrão do INPE apresenta EMQ = 54 m; o Nível 3 apresenta EMQ = 50 m enquanto o Nível 4 aparece com EMQ = 47 m.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Para a determinação das coordenadas de imagem (x, y) dos pontos e das feições de interesse utilizou-se como comparador o instrumento Stecometer, da Zeiss Jena, com precisão de leitura de 0,002 mm. A imagem de satélite utilizada é do nível 2 e está na forma de transparência positiva, na escala 1:1.000.000. Esta escala equivale à órbita

220, ponto 75 do WRS, adotado para as imagens do satélite LANDSAT.

Foram selecionadas 33 cartas topográficas elaboradas pelo IBGE, na escala 1:50.000, datadas de 1969 e 1979, referentes a área de estudo. Os dados de carta, ou seja, as coordenadas E e N dos pontos e das feições de interesse, foram coletados através do Coordenatógrafo de Precisão da Zeiss Jena, com precisão de 0,001" (um milésimo de polegada).

2.2. Métodos

2.2.1 Coleta de dados das cartas

A obtenção das coordenadas de carta (E, N) dos pontos e feições foi feita através de interpolação linear.

Utilizando-se o coordenatógrafo de precisão, fez-se leituras das coordenadas dos pontos, das feições e dos vértices das quadrículas que os envolviam. Conhecidas as coordenadas verdadeiras dos vértices das quadrículas através das cartas topográficas, pode-se através da transformação Afim, determinar os valores reais das coordenadas dos pontos e das feições de interesse.

Como neste trabalho se adotou o uso de feições retas, obteve-se para cada feição, coordenadas de carta de dois pontos pertencentes ao segmento de reta que a forma.

2.2.2. Coleta de dados de imagem

Para a identificação de uma feição reta com correspondente na carta topográfica, procedeu-se a leitura das coordenadas de um ponto qualquer dentro do segmento de reta que representa a feição na imagem. Repetiu-se esta operação para todas as feições de interesse. As coordenadas de imagem (x, y) coletadas deveriam pertencer a feição dentro dos limites definidos na carta topográfica.

Para a obtenção das coordenadas de imagem de um ponto de verificação, primeiramente identificou-se o ponto na carta. Buscou-se então seu correspondente na imagem e procedeu-se a leitura das coordenadas de imagem (x, y) do mesmo.

2.2.3. Modelos matemáticos

Sabendo-se da alternativa do uso de feições conjuntamente ou em substituição a pontos de controle, apresenta-se os modelos matemáticos de interesse adaptados a feições retas.

A figura 2 ilustra um segmento de reta AB referente a um sistema de coordenadas (x, y) qualquer.

Os extremos do segmento da reta AB apresentados na figura 2 possuem coordenadas (X_A, Y_A) e (X_B, Y_B) . Neste segmento escolhe-se um ponto "Q" qualquer de coordenadas (X, Y) que subdivide o

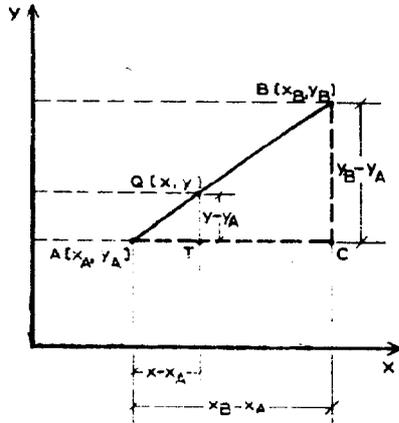


Fig. 2 - Representação gráfica do segmento de reta AB referente ao sistema de coordenadas (X, Y).

segmento \overline{AB} em \overline{AQ} e \overline{QB} .

Através de semelhança de triângulos chega-se a:

$$\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{Y - Y_A}{X - X_A} = t \quad (1)$$

sendo t o parâmetro do segmento de reta.

Pode-se considerar que o segmento de reta em questão é uma feição reta referente ao sistema de coordenadas (X, Y), cujos extremos são conhecidos. Pode-se portanto, expressar as coordenadas (X, Y) de um ponto "Q" qualquer como:

$$\begin{aligned} X &= X_A + t (X_B - X_A) \\ Y &= Y_A + t (Y_B - Y_A) \end{aligned} \quad (2)$$

Foram escolhidos para este trabalho os modelos polinomiais do 1º ao 3º grau e a equação projetiva. Estes modelos adaptados a feições retas apresentaram-se da seguinte forma:

a) Polinômio do primeiro grau adaptado a feições retas.

$$\begin{aligned} F_X &\Rightarrow a_0 + a_1 x + a_2 y - (X_A + t \cdot (X_B - X_A)) = 0 \\ F_Y &\Rightarrow b_0 + b_1 x + b_2 y - (Y_A + t \cdot (Y_B - Y_A)) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

onde F: representa a função;
 a_i e b_i com $i=0...2$ representam os parâmetros da transformação;
 (x, y): representam as coordenadas de um ponto qualquer "Q" da feição, obtidas do monocomparador;
 (X_A, Y_A) e (X_B, Y_B): representam as coordenadas dos pontos extremos A e B da feição reta, respectivamente;

b) Polinômio do 2º grau adaptado a feições retas.

$$F_X \Rightarrow a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 - (X_A + t(X_B - X_A)) = 0$$

$$F_Y \Rightarrow b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 - (Y_A + t(Y_B - Y_A)) = 0 \quad (4)$$

c) Polinômio do 3º grau adaptado a feições retas.

$$\begin{aligned} F_X &\Rightarrow a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 + a_6 x^3 + a_7 x^2 y + a_8 xy^2 + \\ & a_9 y^3 - (X_A + t(X_B - X_A)) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_Y &\Rightarrow b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 x^2 + b_4 xy + b_5 y^2 + b_6 x^3 + b_7 x^2 y + b_8 xy^2 + \\ & b_9 y^3 - (Y_A + t(Y_B - Y_A)) = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

d) Equação projetiva adaptada a feições retas

$$\begin{aligned} F_X &\Rightarrow ((a_1 x + a_2 y + a_3) / (a_4 x + a_5 y + 1)) \\ & - (X_A + t(X_B - X_A)) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_Y &\Rightarrow ((a_6 x + a_7 y + a_8) / (a_4 x + a_5 y + 1)) \\ & - (Y_A + t(Y_B - Y_A)) = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

2.2.4. Ajustamento de Observações

Observa-se que os modelos matemáticos apresentados no item 2.2.3 apresentam parâmetros incógnitos (a_i , b_i e t) e quantidades observadas (x, y, X_A, Y_A, X_B, Y_B), numa mesma expressão, o que caracteriza a necessidade de ajustamento pelo Método Combinado.

O ajustamento de observações pelo Método Combinado é adotado na forma iterativa, através do modelo desenvolvido por Pobe (1974). O modelo matemático geral para este tipo de ajustamento é dado por:

$$F(X_{ai}, L_{ai}) = 0 \quad (7)$$

Através da linearização pela série de Taylor, descrita em Dalmolin (1976), Moffit (1980) e Souza (1982), obtém-se o modelo linearizado, representado na forma matricial por:

$$A_i X_i + B_i V_i + W_i = 0 \quad (8)$$

Aplicou-se o ajustamento aos quatro modelos propostos visando-se testá-los através de programas computacionais em BASIC, com execução através do TURBO-BASIC implementado no microcomputador ITAUTEC PC XT II.

3. TESTES E RESULTADOS

Inicialmente fez-se testes preliminares através de simulação para a detecção de erros de lógica e/ou de programação.

Nos testes com dados reais, o ajustamento apresenta como valores de entrada as coordenadas de imagem de um ponto qualquer da feição reta e as coordenadas

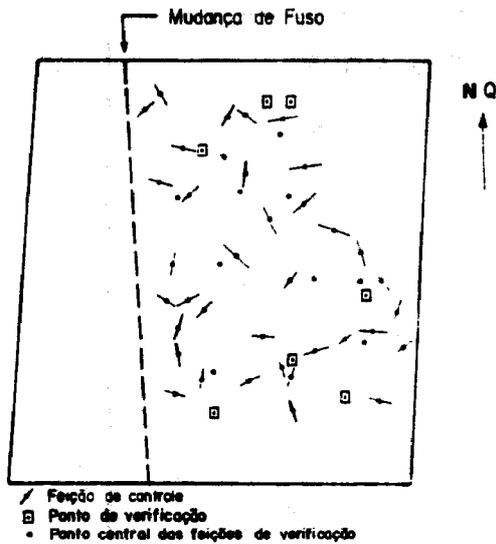


Fig. 3 - Distribuição das feições de controle, dos pontos de verificação e dos pontos centrais das feições de verificação na imagem TM - 45° W.

de carta dos pontos extremos da mesma, denominada feição de controle. São dados de saída os valores dos parâmetros ajustados e as coordenadas ajustadas dos pontos e das feições de verificação, previamente selecionados para testarem a qualidade dos modelos propostos.

Neste trabalho testou-se os modelos matemáticos para as feições pertencentes ao setor da imagem correspondente ao fuso UTM cujo meridiano central é o de 45° W. Estes testes foram efetuados utilizando-se 36 feições de controle, 10 feições de verificação e 7 pontos de verificação, distribuídos conforme mostra a figura 3.

Nos testes utilizando-se feições retas como controle foi possível se identificar uma grande quantidade de feições, somente ficando desprovidos de controle os setores da área escolhida com ausência de cartas topográficas e os setores onde eram escassas as vias de acesso, principais fontes de feições neste trabalho.

As feições de controle e os pontos e as feições de verificação permanecem os mesmos para todos os testes efetuados.

A Tabela 1 apresenta os resultados na forma de média dos erros planimétricos e de erros médios quadráticos para os testes efetuados.

TABELA I

MÉDIA DOS ERROS PLANIMÉTRICOS E EMQs PARA OS TESTES COM FEIÇÕES RETAS COMO CONTROLE.

	Modelos Matemáticos			
	Projetiva	1º Grau	2º Grau	3º Grau
E_{EP} (m)	31,12	34,45	34,24	44,33
E_{NP} (m)	48,53	40,65	51,57	51,94
E_{NF} (m)	47,71	49,80	60,00	54,10
E_{NT} (m)	48,05	46,02	56,53	53,21
EMQ_{EP} (m)	42,12	45,70	52,05	57,19
EMQ_{NP} (m)	70,34	57,08	73,28	71,70
EMQ_{NF} (m)	61,40	63,53	76,97	74,53
EMQ_{NT} (m)	65,23	60,96	75,69	73,38

Aparecem na Tabela 1 as médias dos erros planimétricos e os erros médios quadráticos para as coordenadas 'E' dos pontos de verificação (EP), para as coordenadas 'N' dos pontos de verificação (NP), para as coordenadas 'N' das feições de verificação (NF) e para as coordenadas 'N' do total de pontos e feições de verificação (NT).

Não se nota grandes alterações nos resultados obtidos para os diversos modelos matemáticos, embora, em todos os casos destaquem-se os melhores resultados para os modelos lineares, ou seja, para o Polinômio de 1º Grau e para a Equação Projetiva.

Nestes testes, podem ser comparados com os resultados apresentados pelo INPE, os valores de EMQs correspondentes aos pontos de verificação. A Tabela 2 apresenta a média geral dos erros planimétricos (\bar{E}_p) e dos EMQs (\bar{EMQ}_p) entre os valores obtidos para as coordenadas 'E' e 'N' dos pontos de verificação.

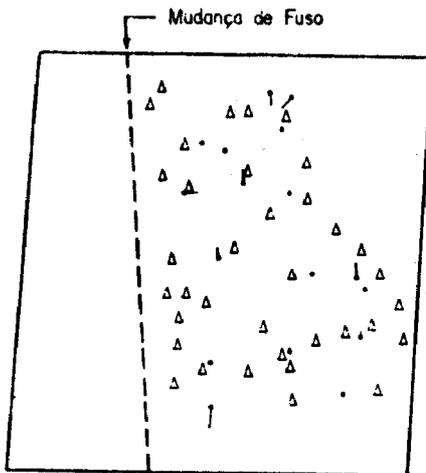
Observa-se na Tabela 2 que os valores obtidos nestes testes para o Polinômio de 1º Grau equivalem aproximadamente aos obtidos pelo INPE, para a imagem TM no nível 3, ou seja, $EMQ=50$ m. Observa-se também que a Equação Projetiva apresenta valores finais bastante aceitáveis para o refinamento da imagem TM. Os polinômios de graus superiores não são de utilização aconselhável, principalmente em função destes propiciarem a absorção de erros grosseiros.

A figura 4 apresenta a distribuição das feições retas utilizadas como controle e os vetores dos erros planimétricos para os pontos e as feições de verificação. Observando-se esta figura nota-se que a maioria dos pontos e fei

FEIÇÕES RETAS COMO CONTROLE

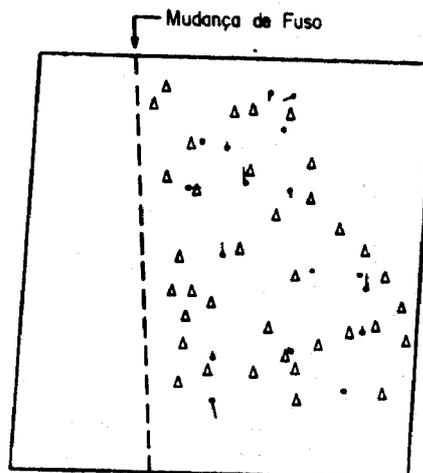
TESTE PARA O FUSO COM M.C.=45°WGr

a) Equação Projetiva



△ Ponto central das feições de controle
• Ponto e/ou feição de verificação

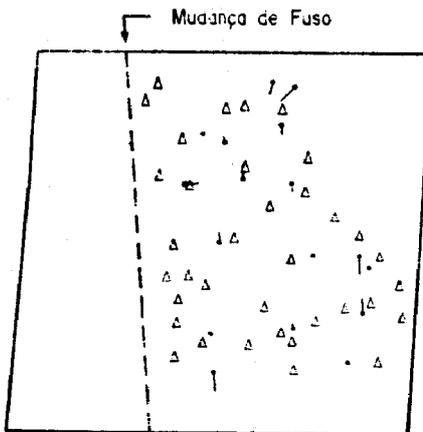
b) Pol. Primeiro Grau



△ Ponto central das feições de controle
• Ponto e/ou feição de verificação

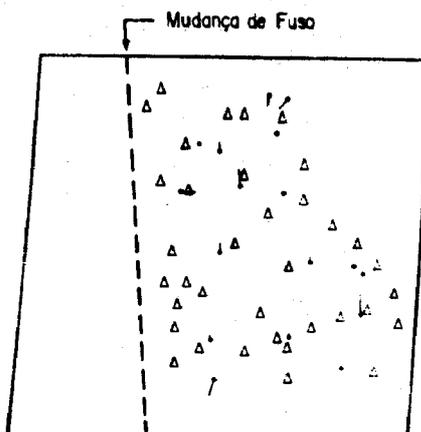
NQ

c) Pol. Segundo Grau



△ Ponto central das feições de controle
• Ponto e/ou feição de verificação

d) Pol. Terceiro Grau



△ Ponto central das feições de controle
• Ponto e/ou feição de verificação

Des Elen A. Andreoli

Fig. 4 - Representação das feições de controle e dos vetores dos erros planimétricos para M.C.: 45° W. Escala da Imagem: 1:3.000.000. Escala dos vetores de erros: 1:50.000.

TABELA II

MÉDIA GERAL DOS ERROS PLANIMÉTRICOS (\bar{E}_p)
E DOS ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS (EMQ_p)
ENTRE OS VALORES DAS COORDENADAS DOS PON-
TOS DE VERIFICAÇÃO.

	Modelos Matemáticos			
	Projetiva	1º Grau	2º Grau	3º Grau
\bar{E}_p (m)	39,83	37,54	42,91	48,14
EMQ_p (m)	57,97	51,70	63,56	64,25

ções de verificação apresentam erro planimétrico inferior a 25 metros, o que lhes confere uma representação puntual. Os maiores vetores de erros são os que pertencem a pontos ou a feições de verificação externos às feições de controle.

4. CONCLUSÕES

A primeira e mais significativa conclusão é a obtenção de resultados de qualidade nos testes com dados reais fazendo-se uso de feições como controle.

Também conclui-se que as feições, sendo mais abundantes na imagem de satélite do que os pontos de controle, possibilitam uma maior facilidade de identificação e escolha de controle para o trabalho de refinamento, mesmo quando se trabalha com imagens pouco providas de pontos de controle.

Neste trabalho utilizou-se uma imagem datada de 1986 e cartas topográficas elaboradas com base em fotografias aéreas datadas de 1965 em diante. São portanto 21 anos de diferença entre ambos os registros. Mesmo assim foi possível a identificação de uma grande quantidade de feições para controle, o que vem salientar a vantagem do uso de feições mesmo com uma diferença temporal significativa entre os dados do trabalho.

Além disso, os modelos matemáticos e de ajustamento utilizando-se feições mostraram-se eficientes numericamente, porém necessitaram de um maior tempo de processamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos a Rosemeide Ap. Franchin pelo trabalho de datilografia e a Elen Ap. Andreolli pela elaboração das figuras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DALMOLIN, Q. Ajustamento de Observações pelo processo iterativo. Tese de Mestrado. Departamento de Geociências, UFPR, Curitiba, PR. 1976.
- FORD, G.E.; ZANELLI, C.I. Analysis and Quantification of Errors in the Geometric Correction of Satellite Images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Falls Church, 51(11):1725-34, 1985.
- LUGNANI, J.B. Quality Estimation for Digitized Features - A New Approach in: "XV Congress of the ISP", Rio de Janeiro, RJ. Comissão IV, 248-252, 1984.
- _____. Using Digital Entities as Control. Ph.D. Thesis, Department of Surveying Engineering, UNB, 1980.
- MACHADO E SILVA, A.J.F. Estudo de Qualidade Geométrica das Imagens MSS-LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1983. No prelo.
- _____. Modelo Fotogramétrico para Correção de Imagens MSS - LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1984. No prelo.
- MACHADO E SILVA, A.J.F.; D'ALGE, J.C.L. Avaliação da Qualidade Geométrica das Imagens TM-LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1986. No prelo.
- MASRY, S.E. Digital Mapping Using Entities: A New Concept. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Falls Church, 48(11):1561-5, 1981.
- MOFFIT, F.; MIKHAIL, E.N. Photogrammetry. 3. ed. New York, Harper & Row, 1980. 648p.
- POPE, A.J. Some pitfalls to be avoided in the interative adjustment of nonlinear problems. NOAA, Geodetic Research and Development Laboratory. Rockville, MD., 1974.
- SOUZA, F.C.B. Orientação absoluta de modelos utilizando feições digitalizadas como controle. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências, UFPR, Curitiba, PR. 1982.
- VIADANA, M.I.C.F. Modelos Matemáticos para Refinamento de Imagens de Satélite TM Utilizando Feições Retas como Controle. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências, UFPR, Curitiba, PR. 1989.