

CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS: UMA ABORDAGEM PARA O REGISTRO DE IMAGENS DIGITAIS LANDSAT-TM APOIADO EM CARTAS TOPOGRÁFICAS DE GRANDE E MÉDIA ESCALA

Carlos Alberto Gonçalves de Araújo  
Instituto de Cartografia Aeronáutica  
Ministério da Aeronáutica  
Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Júlio Cesar Lima d'Alge  
Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP, Brasil

RESUMO

As imagens de satélite apresentam distorções geométricas em função das características dos sistemas sensores e das variações de atitude, altitude e velocidade das plataformas. O objetivo deste trabalho é desenvolver um procedimento para a correção de imagens digitais LANDSAT-TM a partir de dados extraídos de cartas topográficas de grande e média escala. Utilizou-se uma transformação de similaridade seguida de um mapeamento polinomial para o ajustamento de uma imagem TM a uma carta topográfica considerada como documento padrão. Os resultados mostram um erro médio quadrático da ordem de 900 m para o produto digital TM processado pelo INPE. Após a aplicação do procedimento aqui descrito este erro situa-se em torno de 250 m.

ABSTRACT

Satellite images present geometric distortions that are a function of the sensor systems and of the variations in the platforms attitude, speed, and height. The aim of this work is to develop a procedure for the correction of LANDSAT-TM digital images based on data obtained from topographic maps of medium and great scales. It has been used a similarity transformation followed by a polynomial mapping to match a TM image to a topographic map considered as a standard. The results show a root mean square error of about 900 m in the TM digital image processed at INPE. After the application of the procedure described here in that error is reduced to about 250 m.

1. INTRODUÇÃO

Para a correção geométrica de imagens de satélite é recomendado (Silva, 1984) um modelo fotogramétrico baseado em equações de colinearidade, que relacionam espaço-imagem e espaço-objeto. Este modelo requer poucos pontos de controle (GCP's), sendo especialmente importante para regiões com cobertura cartográfica deficiente. Contudo, o método mais comum de correção geométrica de imagens de satélite faz uso de um modelo polinomial, que necessita de um grande número de GCP's bem localizados para proporcionar um resultado satisfatório. Por ser mais simples e exigir um menor esforço computacional, o modelo polinomial é adotado neste trabalho para a correção geométrica da imagem digital LANDSAT-TM no Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais (I-100) do INPE. Numa fase anterior é utilizada uma transformação de similaridade para a avaliação do produto digital TM processado pelo INPE.

2. METODOLOGIA EMPREGADA

O diagrama de fluxo de dados do sistema é apresentado na figura 1.

2.1 IDENTIFICAÇÃO E EXTRAÇÃO DOS GCP's

Neste subsistema é feito um estudo preliminar sobre a carta topográfica e a imagem analógica LANDSAT-TM da área em estudo. Os pontos

de controle, feições bem definidas e identificáveis na carta e na imagem, são então escolhidos. Nesta etapa do trabalho foram utilizadas cartas nas escalas 1:25.000 e 1:100.000 de determinadas áreas do Distrito Federal e imagens analógicas TM, canal 3, na escala 1:100.000.

As coordenadas planas (X,Y) dos GCP's das cartas topográficas foram obtidas a partir do coordenatógrafo DZT do Laboratório de Tratamento de Imagens do INPE, que mede coordenadas com uma precisão de 0,050 mm.

2.2 NORMALIZAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE COORDENADAS DA CARTA E DA TELA DO I-100

Foi utilizada uma transformação de similaridade para relacionar as coordenadas dos GCP's das cartas e das imagens digitais visualizadas na tela do I-100. O modelo matemático da transformação é expresso por

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ \sin\theta & -\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}, \dots\dots\dots (1)$$

onde (X,Y) e (x,y) são, respectivamente, coordenadas da carta e da tela do I-100 dos GCP's,  $\lambda$  é um fator de escala e  $\Delta x$  e  $\Delta y$  são translações. Inicialmente os quatro parâmetros da transformação foram determinados pelo método dos mínimos quadrados, tendo sido utilizados cinco GCP's

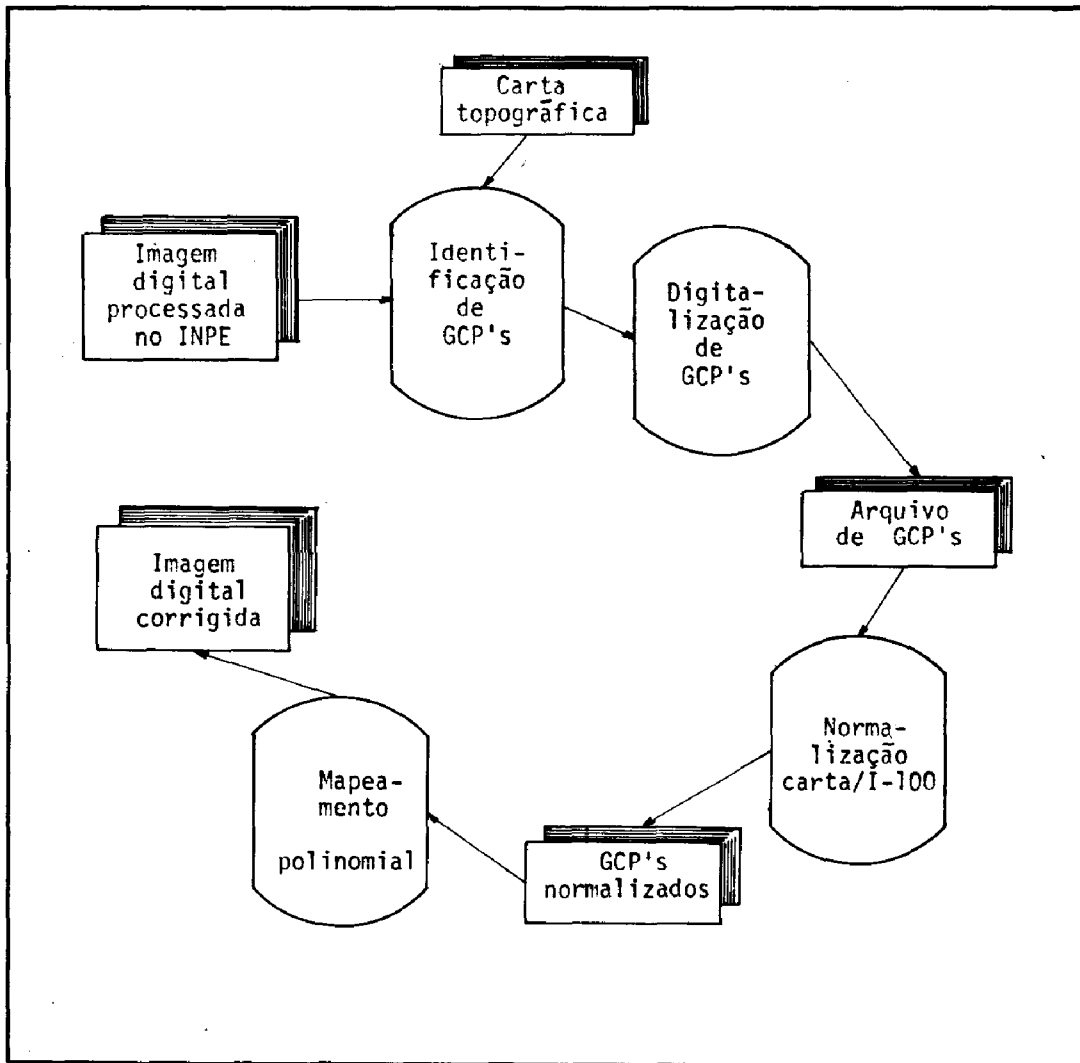


Figura 1 - Fluxo de dados do sistema.

bem distribuídos sobre a área em estudo. Com os parâmetros determinados, as coordenadas de carta, (X,Y), foram transformadas em coordenadas de tela do I-100, (x,y), através da equação (1). Após esta etapa as coordenadas iniciais obtidas na mesa digitalizadora ficaram compatíveis com o sistema de coordenadas da tela do I-100. A comparação das coordenadas (x,y) resultantes da equação (1) com as coordenadas (x,y) dadas pelo sistema I-100 permitiu a análise da qualidade geométrica do produto LANDSAT-TM processado pelo INPE. Enfatiza-se que o modelo matemático representado pela equação (1) leva em conta o fato dos sistemas de coordenadas da mesa digitalizadora e da tela do I-100 serem, respectivamente, dextrógiro e levógiro.

### 2.3 MAPEAMENTO POLINOMIAL

Neste trabalho foi utilizado o sistema Registro (Mitsuo Ii et alii, 1984) implantado no I-100 para a correção da imagem digital a partir dos GCP's normalizados com o sistema de coordenadas da tela do I-100.

Na primeira fase do registro são inseridos os GCP's para que possam ser determinados os coeficientes do polinômio a partir das matrizes de regressão polinomial. Nesta fase o usuário define o grau do polinômio a ser usado na regressão. Uma vez determinados os coeficientes do polinômio, pode-se determinar as novas coordenadas de qualquer ponto da imagem, sendo o nível de cinza aproximado por uma interpolação do tipo "vizinho mais próximo". O modelo polinomial utilizado é dado por

ficientes do polinômio a partir das matrizes de regressão polinomial. Nesta fase o usuário define o grau do polinômio a ser usado na regressão. Uma vez determinados os coeficientes do polinômio, pode-se determinar as novas coordenadas de qualquer ponto da imagem, sendo o nível de cinza aproximado por uma interpolação do tipo "vizinho mais próximo". O modelo polinomial utilizado é dado por

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ xy \\ x^2 \\ y^2 \end{bmatrix} \dots (2)$$

onde (x,y) são coordenadas normalizadas com a tela do I-100 e (x',y') são as coordenadas resultantes do mapeamento polinomial. Apesar do sistema Registro permitir o uso de polinômios de grau mais elevado, foram realizados testes somente com polinômios do primeiro e segundo graus, posto que a partir do terceiro grau os resultados

são satisfatórios apenas nas vizinhanças dos GCP's (Silva, 1984). Os coeficientes  $a_1$  e  $b_1$  foram determinados usando na equação (2) as coordenadas  $(x,y)$  resultantes da equação (1) e as coordenadas  $(x',y')$  da tela do I-100. Uma vez obtidos estes coeficientes a equação (2) é aplicada, resultando na tela do I-100 uma imagem corrigida. A comparação das coordenadas  $(x',y')$  resultantes da equação (2) com as coordenadas  $(x',y')$  dadas pelo sistema I-100 permitiu a análise da qualidade geométrica do produto digital LANDSAT-TM corrigido através do mapeamento polinomial.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 1 reúne os principais resultados atingidos neste trabalho, mostrando através do erro médio quadrático (RMS) a qualidade geométrica do produto digital LANDSAT-TM processado pelo INPE antes e depois da aplicação do mapeamento polinomial. Nesta tabela  $RMS_x$  denota o erro médio quadrático no sentido da órbita do satélite ("along-track") e  $RMS_y$  representa o erro médio quadrático na direção das varreduras ("across-track");  $RMS_{xy}$ , por conseguinte, denota o erro médio quadrático resultante.

As figuras 2 e 3 mostram a distribuição dos pontos envolvidos na aplicação das equações (1) e (2) com a finalidade de se analisar a qualidade dos produtos em questão.

#### 3.1 PRODUTO DIGITAL LANDSAT-TM PROCESSADO PELO INPE

A imagem digital TM processada no INPE somente possui as correções geométricas relacionadas ao movimento de varredura do espelho do sistema sensor e a correção do efeito provocado pela rotação da Terra ("Earth Skew"), feita através do sistema I-100. Não são feitas as correções devidas às variações de atitude, altitude e velocidade do satélite ao longo da cena, nem a correção devida à esfericidade da Terra. Isto explica o erro médio quadrático substancialmente superior ao encontrado para a imagem analógica TM, que é da ordem de 45 m, pois esta última possui todas as correções de sistema necessárias (Silva e d'Alge, 1986).

A grande diferença entre os valores de  $RMS_x$  e  $RMS_y$  é causada principalmente pela variação da velocidade do satélite ao longo da cena, ou seja, a velocidade real do satélite é bem diferente da velocidade nominal, que está associada a uma perfeita justaposição das varreduras. Com os dados da Tabela 1 pode-se concluir que a velocidade real é maior que a nominal, o que originou uma escala maior no sentido longitudinal da cena ("along-track").

#### 3.2 PRODUTO DIGITAL LANDSAT-TM CORRIGIDO ATRAVÉS DO MAPEAMENTO POLINOMIAL

Pode-se ver pela Tabela 1 que a aplicação do polinômio de 1º grau melhora cerca de 20% o valor de  $RMS_x$  e cerca de 80% o valor de  $RMS_y$ . Conclui-se então que a principal contribuição do polinômio de 1º grau foi absorver o erro sistêmico provocado pela variação da velocidade do satélite ao longo da cena. Pode-se ainda inferir que, se não houvesse variação de velocidade, a melhora no valor de  $RMS_x$  deveria ser também da ordem de 20%.

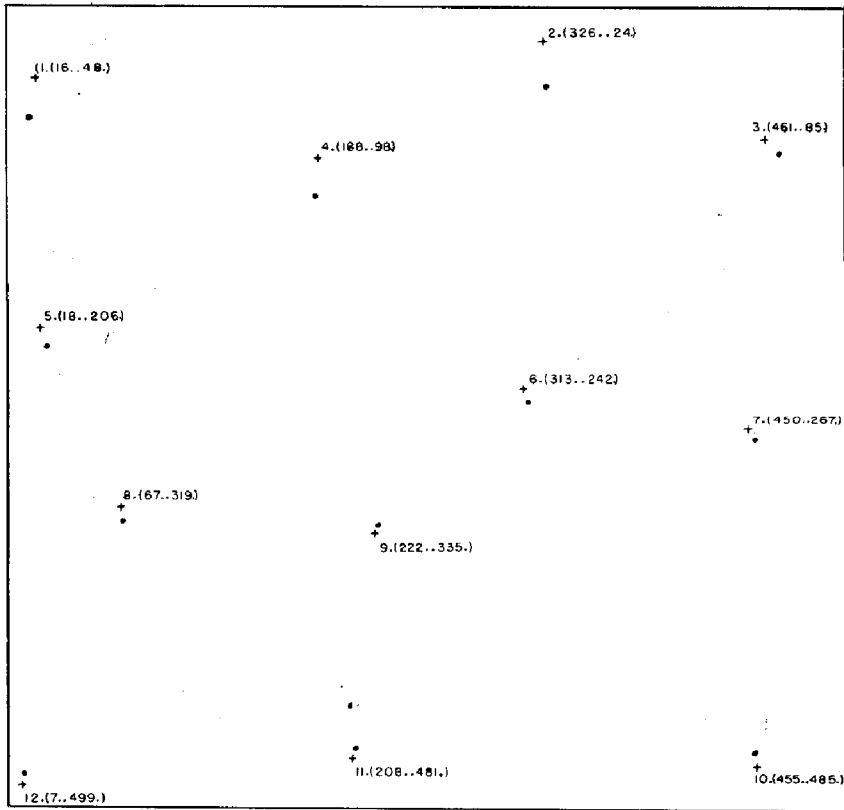
Como era esperado, o polinômio do 2º grau apresenta um resultado um pouco inferior ( $RMS_{xy}$ ) ao do polinômio de 1º grau, fato este explicado pelo igual número de GCP's utilizados na determinação dos coeficientes dos dois polinômios.

### 4. CONCLUSÃO

A constatação básica é a inviabilidade de utilização do produto digital LANDSAT-TM processado pelo INPE para trabalhos que exijam uma precisão cartográfica. Tal afirmação pode ser ratificada pelos resultados obtidos após o mapeamento polinomial, que mostram um erro médio quadrático da ordem de 250 m, que é um valor compatível somente para trabalhos de registro sobre cartas topográficas em escala 1:500.000 ou menores. Não obstante, esta situação vem de encontro ao esforço que o INPE, apesar de alguns problemas de suporte computacional, vem realizando para fornecer à comunidade de usuários produtos com qualidade idêntica a seus produtos analógicos digitais.

ANÁLISE DA QUALIDADE GEOMÉTRICA	NÚMERO DE PONTOS	$RMS_x$ (m)	$RMS_y$ (m)	$RMS_{xy}$ (m)
PRODUTO DIGITAL TM PROCESSADO NO INPE	12	855,04	209,79	880,41
PRODUTO DIGITAL TM CORRIGIDO COM POLINÔMIO 1º GRAU	10	163,04	165,07	232,00
PRODUTO DIGITAL TM CORRIGIDO COM POLINÔMIO 2º GRAU	10	160,95	212,34	266,42

Tabela 1 - Resultados da análise da qualidade geométrica.

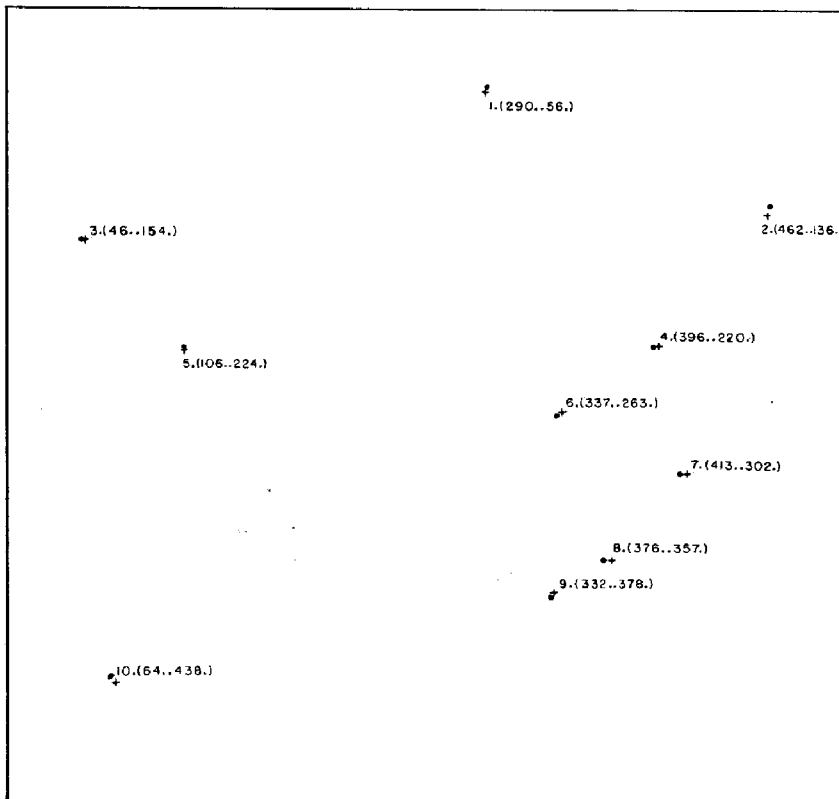


+ PONTO NA CARTA ERRO MEDIO QUADRATICO = 880.410 METROS. NUMERO DE PONTOS = 12.

• PONTO NA IMAGEM GRAU DO POLINOMIO = 0. SEM ESCALA

CROQUI COM DISTRIBUICAO DOS PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS NO REGISTRO.

FIGURA 2 - DISTRIBUICÃO DOS PONTOS APÓS A APLICAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE



+ PONTO NA CARTA ERRO MEDIO QUADRATICO = 232.000 METROS. NUMERO DE PONTOS = 10.

• PONTO NA IMAGEM GRAU DO POLINOMIO = 1. SEM ESCALA

CROQUI COM DISTRIBUICAO DOS PONTOS DE CONTROLE UTILIZADOS NO REGISTRO.

FIGURA 3 - DISTRIBUICÃO DOS PONTOS APÓS A APLICAÇÃO DO POLINÔMIO DE 1º GRAU

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GANE C. ; SARSON T. 1979. Structured Systems Analysis: Tools and Techniques. Systems Technologies, Inc., New York ; N.Y. pp 25-35.
2. Ii F.A.M. 1982. Sistema Registro, arquivo de documentação de software do L.T.I.D. D.S.C. - INPE, São José dos Campos.
3. MIKHAIL E.M., ACKERMANN F. 1976. Observations and Least Square. IEP - A Dun - Donnelley Publisher, New York , N.Y. pp 110-127
4. RIBEIRO E.A. ; Ii F.A.M.; MOREIRA J.C. ; DUTRA L.V. 1982. Manual do usuário dos Sistemas de Tratamento de Imagens Digitais São José dos Campos, INPE,D.S.C.-L.T.I.D.
5. SILVA A.J.F.M. Modelo Fotogramétrico para Correção de Imagens MSS-LANDSAT. São José dos Campos, INPE (no prelo).
6. SILVA A.J.F.M. Correção Geométrica das Imagens MSS-LANDSAT. São José dos Campos,INPE (no prelo).
- 7) SILVA A.J.F.M. ; d'ALGE J.C.L. Estudo da Qualidade Geométrica das Imagens TM-LANDSAT. São Jose dos Campos, INPE (no prelo).