

TRANSFORMAÇÃO DE ENTIDADES NATURAIS E ARTIFICIAIS PARA O SISTEMA
CARTOGRÁFICO, OBTIDAS A PARTIR DE IMAGENS DIGITAIS DE SATÉLITE

ENGº EDSON APARECIDO MITISHITA, M.Sc.
PROFº FLÁVIO FELIPE KIRCHNER, Ph.D.
PROFº JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE, Ph.D.
ENGº JOÃO NORBERTO DESTRO
ENGº ROBERTO ELIZEU PREOSCK

AERODATA S/A - Engenharia de Aerolevantamentos
Rua Alfredo Pinto, 3305 - Tel.: 041 - 282.5222
83.100 - São José dos Pinhais - Paraná

RESUMO

A utilização de imagens digitais, captadas por sensores à bordo de satélites artificiais, no levantamento de recursos naturais, torna-se extremamente poderosa quando a tecnologia digital é adotada. Os recursos oferecidos com o processamento digital aumentam a faixa de subprodutos obtidos a partir de uma imagem de satélite, permitindo assim, uma maior utilização de imagens de satélite em nosso País.

O presente trabalho descreve uma metodologia de transformação para o sistema cartográfico, de entidades naturais e artificiais, obtidas a partir de uma imagem digital de satélite, processada no sistema gráfico interativo "INTERGRAPH".

Assim sendo, a imagem processada em formato "RASTER" é transformada para o formato "VECTOR" e, através de um modelo matemático adequado as entidades são transformadas para o sistema de projeção UTM. No ajustamento é utilizado o Método Mínimos Quadrados para a determinação dos parâmetros de transformação e o Estimador Robusto para a depuração de erros grosseiros em pontos de apoio.

ABSTRACT

The utilization of digital images, captured by satellites with on board sensors, for natural resource surveys, turns out extremely powerfull when digital technology is used. The tools offered by digital processing, enlarge the subproducts obtained by a satellite image, and therefore, permits a much broader satellite image utilization in our country.

This paper describes a methodology to transform to cartographic systems, natural and artificial entities, obtained from a satellite digital image, processed an interactive graphic system "INTERGRAPH".

Therefore, an image processed in "RASTER" format is transformed to a "VECTOR" format and, by an adequate mathematical model, the entities are transformed to a cartographic projection (UTM). In the adjustment process, the Least Squares Method is utilized for parameters determination and Robust Estimator is used for gross error detection in control points.

1. INTRODUÇÃO

Os atuais satélites de observação da terra com maior número de bandas espectrais e maior poder de resolução, associados com a velocidade crescente de novas tecnologias em Processamento Digital de Imagens, tanto em "hardware" como em "software" tem ampliado as aplicações das imagens de satélites no Brasil.

A AERODATA S/A foi a primeira Empresa do Grupo de Usuários do Sistema Intergraph no Brasil a implantar no seu sistema computacional o "software" para processamento digital de imagens (IDEALS - Image Data Elements Analysis Library System).

O presente trabalho apresenta uma pesquisa realizada na área de Processamento Digital de Imagem, que tem por objetivo adequar a utilização de imagens de satélites, principalmente, nos projetos ligados à área florestal.

O processamento espectral é realizado na imagem digital, visando melhorar a qualidade visual e destacar as principais entidades. A imagem é, então, digitalizada numa "Workstation", onde são escolhidos os pontos de controle na imagem e na melhor carta existente da região. Após a depuração de erros grosseiros no apoio pelo Método do Estimador Robusto e a de-

terminação dos parâmetros de transformação pelo Método dos Mínimos Quadrados, as entidades digitalizadas são transformadas para o sistema de projeção UTM. Com as principais entidades transformadas, as mesmas são padronizadas nos níveis de informação e integradas num Banco de Dados (DMRS - Data Management and Retrieval System), visando a emissão de relatórios.

2. PROCESSAMENTO ESPECTRAL DA IMAGEM

O processamento espectral tem por objetivo obter uma imagem digital, onde as entidades de interesse são realçadas. Dependendo da aplicação, são utilizadas diferentes combinações de bandas espectrais.

Técnicas de processamento são realizadas na imagem visando melhorar a sua qualidade visual. Basicamente podemos separá-las em técnicas que alteram o nível de cinza de um "PIXEL" sem levar em conta sua vizinhança (Processamento Radiométrico) e técnicas que levam em conta as relações entre "PIXELS" adjacentes. (Processamento Espacial) (Dutra, 1981).

O aumento de contraste, a razão entre canais, as filtragens digitais e o processamento de cores, são algumas das técnicas empregadas para evidenciar entidades de interesse na imagem. (Ver Dutra, 1981 e Schovengerdt, 1983).

3. DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE

Uma boa definição dos pontos de apoio na imagem e na carta topográfica, é requisito básico para a determinação de parâmetros matemáticos para a realização de transformações entre os sistemas. A quantidade de pontos e a sua distribuição sobre a imagem, irão influenciar na precisão dos parâmetros a serem determinados. (Santos, 1988).

Os detalhes planimétricos escolhidos para os pontos de apoio devem ser elementos perfeitamente identificáveis, tanto na imagem, como na carta. As entidades básicas escolhidas para os pontos de apoio são:

- cruzamento ou bifurcações de estradas;
- confluências de rios;
- canto de culturas;
- extremidades de aeroportos etc.

A definição de detalhes planimétricos, perfeitamente identificáveis na imagem e na carta topográfica é um procedimento que apresenta grande dificuldade. Para contornar este problema, estamos realizando pesquisas nesta área que simplificarão a escolha de pontos de apoio.

4. DIGITALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ENTIDADES

A imagem digital processada espectralmente, com o devido realce das entidades de interesse é posta no vídeo gráfico da "Workstation". Utilizando-se dos comandos do IGDS (Interactive Graphics Design System) posicionamos a imagem numa escala que permita visualizar com precisão as entidades (ZOOM-IN) e definimos o intervalo entre os pontos digitalizados. Com o auxílio de um "mouse" e do comando "STREAM

CURVE" as principais entidades são digitalizadas na própria tela da estação gráfica. Este procedimento transforma a imagem no formato "RASTER" para o formato "VECTOR", criando-se um arquivo de pontos com coordenadas bidimensionais, que serão transformadas para o sistema de projeção UTM.

Os detalhes planimétricos identificáveis na imagem digital e na carta topográfica são digitalizados em ambos os sistemas. Com isto, são criados dois arquivos seqüenciais de coordenadas de pontos de apoio, necessários para a determinação dos parâmetros de transformação.

5. DEFINIÇÃO DOS MODELOS DE TRANSFORMAÇÃO

Os tratamentos matemáticos e computacionais substituem cada vez mais, os métodos analógicos por processos totalmente analíticos. Com isto, as transformações geométricas passam a ser ferramentas indispensáveis para a realização dos nossos trabalhos.

A escolha do modelo matemático tem implicações fundamentais em aspectos de precisão, em problemas de mau condicionamento de sistemas, na eficiência numérica e na exatidão dos resultados obtidos (Lugnani, 1987).

As entidades digitalizadas na imagem em coordenadas da tela serão transformadas para o sistema de projeção UTM. Esta transformação de coordenadas pode ser comparada com a correção geométrica de imagens de satélite. Silva (1986) recomenda o modelo fotogramétrico, baseado nas equações de colinearidade que relacionam pontos do espaço-imagem com pontos do espaço-objeto. Entretanto, o modelo matemático polinomial poderá fornecer resultados satisfatórios, desde que se tenha maior número de pontos de apoio, com boa localização na imagem. A melhor solução encontrada foi com a utilização de polinômios de 5º grau. O uso desse modelo, na maioria das vezes, é extremamente difícil, pois o mesmo exige um número elevado de pontos de controle. A solução alternativa, foi com a adoção do polinômio do 2º grau, que necessita de, no mínimo, seis pontos de controle. (Ver Silva, 1986).

Santos (1988), Vieira (1984), em aplicações semelhantes a este trabalho, utilizando-se de imagens analógicas de satélite encontraram resultados significativamente bons, com polinômios de 2º e 3º grau.

Araújo e D'alge (1986), utilizando-se dos polinômios de 1º e 2º para correção geométrica de imagens, encontraram um erro médio quadrático de 232m e 266,42m respectivamente.

Neste trabalho, as seguintes transformações foram analisadas:

Transformação Afim Geral

$$\begin{vmatrix} X \\ Y \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a1 & a2 & a3 \\ b1 & b2 & b3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \\ 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Polinômios de 2º Grau

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ xy \\ x^2 \\ y^2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Polinômios de 3º Grau

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 & a_7 & a_8 & a_9 & a_{10} \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 & b_8 & b_9 & b_{10} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ xy \\ x^2 \\ y^2 \\ x^2y \\ yx^2 \\ x^3 \\ y^3 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$\begin{pmatrix} XY \\ xy \end{pmatrix}^T$ Coordenadas no sistema de projeção UTM
 $\begin{pmatrix} XY \\ xy \end{pmatrix}^T$ Coordenadas no sistema de tela
 $\{a_i, b_i\}^T$ Parâmetros de transformação
 $i = 1, 2 \dots 20$

6. DEPURAÇÃO DE ERROS GROSSEIROS NOS PONTOS DE CONTROLE

Encontrar pontos de controle em cartas topográficas, na maioria das vezes desatualizadas, com o propósito de apoiar imagens de satélite, dependendo da região, é uma operação extremamente complicada. Em áreas não urbanas, a definição de detalhes planimétricos visíveis em ambos os sistemas é bastante prejudicada.

As entidades disponíveis nesta região são, na maioria das vezes, os cruzamentos de estradas e confluências de rios. A probabilidade de se cometer erro de identificação do detalhe na imagem é elevada. A fim de minimizar o problema, os pontos selecionados são verificados por um algoritmo matemático de depuração automática de erros grosseiros.

O ajustamento com a Estimativa Robusta (DANISH METHOD) é o método proposto para a depuração de erros grosseiros. O Método dos Mínimos Quadrados ($\sum p_{vv} = \text{mín.}$), utilizado no ajustamento para a determinação dos parâmetros, quando em presença de observações eivadas de erros grosseiros, apresenta a indesejável distribuição de erros sobre todo o conjunto. A análise dos resíduos para a detecção e localização de erros é difícil, pois nem sempre o resíduo serve de indicador seguro de que a observação a que está associada deve ser eliminada do ajustamento.

O método de ajustamento com a introdução da estimativa robusta é similar ao método convencional de mínimos quadrados, com a diferença que, através dos resíduos fornecidos na primeira iteração, efetua-se o cálculo de novos pesos, que serão introduzidos no ajustamento da iteração seguinte. Assim o processo de cálculo de pesos, em função de resíduos e novo ajustamento, é repetido várias vezes, até que os pesos das observações erradas são reduzidos a valores próximos de 0 e os pesos das observações boas ficam próximos de 1. Desta maneira,

os resíduos das observações erradas se aproximam dos erros existentes. (Ver Mitishita, 1986).

As funções para o cálculo de pesos e a seqüência de cálculo são as seguintes:

1ª Etapa:
na 1ª iteração

$$P = I \quad (4)$$

2ª Etapa:
nas 2ª e 3ª iterações

$$P = \text{Exp}(-0,05(V/\sigma_0)^{4,4}) \quad (5)$$

3ª Etapa
nas 4ª e 5ª iterações

$$P = \text{Exp}(-0,05(V/\sigma_0)^{3,0}) \quad (6)$$

I = Matriz Identidade

σ_0^2 = Variância a posteriori de peso unitário

V = resíduos das observações

A transformação Afim Geral foi o modelo matemático proposto para a verificação da qualidade dos pontos de controle. Esta transformação, se comparada com os polinômios de 2º e 3º grau possui a propriedade de não absorver facilmente os erros, o que torna sua aplicação mais adequada ao caso proposto. A tabela-1 mostra os resíduos provenientes do ajustamento com o método dos mínimos quadrados na determinação dos parâmetros do modelo em tela. A tabela-2 mostra os resíduos com a utilização do Estimador Robusto. no ponto nº 10026 foi introduzido um erro de 100m nas coordenadas X e Y com o propósito de mostrar a eficiência do método.

TABELA - 1

RESÍDUOS NO SISTEMA DE COORDENADAS UTM, PARA O AJUSTAMENTO MMQ

Nº do Ponto	RX(m)	RY(m)
10026	16,718	9,157
10025	2,279	-3,201
10024	25,828	7,671
10022	-23,034	-6,946
10021	-9,387	-1,089
10034	-11,705	-26,513
10012	54,302	-9,222
10010	67,927	0,056
10040	30,154	22,133
10019	-49,455	29,488
10018	-20,743	28,888
10041	-57,847	0,835
10036	-25,016	0,958
10007	-29,628	24,135
10015	26,996	-16,784
10016	-14,409	-49,181
10031	-73,514	-19,083
10027	15,401	-14,619
10001	-55,903	-21,687
10003	62,714	14,286

TABELA - 2
RESÍDUOS NO SISTEMA DE COORDENADAS
UTM, COM A APLICAÇÃO DO
ESTIMADOR ROBUSTO

Nº do Ponto	RX(m)	RY(m)
10026	100,331	107,239
10025	-10,981	-4,823
10024	15,914	6,374
10022	-26,696	-7,651
10021	-9,701	-1,469
10034	-30,215	-29,247
10012	25,604	-13,140
10010	45,191	-2,528
10024	21,780	21,973
10019	-37,281	31,589
10018	-0,377	32,090
10041	-34,381	4,452
10036	-2,102	4,028
10007	-14,562	27,426
10015	50,560	-9,163
10016	26,580	-43,512
10031	-48,011	-12,393
10027	50,251	-2,530
10001	-18,750	-12,506
10003	43,284	21,722

As coordenadas dos pontos de apoio, utilizadas no exemplo acima, são valores reais, retirados de uma carta topográfica na escala de 1:50.000.

Considerando um ponto isento de erro de identificação na carta e na imagem, o erro esperado em planimetria é de 25 metros. O erro de 100m introduzido com o propósito de verificar a capacidade do método corresponde a aproximadamente 4 vezes o erro esperado nas observações.

7. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

Após a depuração dos erros grosseiros nas observações com o método proposto (Estimador Robusto - DANISH METHOD) os parâmetros do modelo de transformação serão determinados por ajustamento com o Método dos Mínimos Quadrados.

Usamos, neste trabalho o método de ajustamento combinado que reúne os parâmetros e os valores observados ajustados, ligados por uma função não explícita. Este modelo pode ser escrito como:

$$F(L_a, X_a) = 0, \quad (7)$$

que após linearizado assume a seguinte forma:

$$AX + BV + W = 0 \quad (8)$$

Os parâmetros serão calculados, através da resolução do sistema de equações, pelas seguintes fórmulas, já bastante conhecidas. (Ver Gemael, 1984)

$$X = - (A^T M^{-1} A)^{-1} A^T M^{-1} W \quad (9)$$

$$X_a = X_0 + X \quad (10)$$

Com o objetivo de verificar, entre as três transformações matemáticas propostas (Transformação Afim Geral, Polinômios de 2º e

3º grau), qual a que melhor se comporta à modelagem das deformações existentes nesta aplicação, os seus parâmetros foram determinados e analisados. As tabelas 3, 4 e 5 mostram os resultados obtidos em cada ajustamento.

TABELA - 3

RESULTADOS OBTIDOS DO AJUSTAMENTO
NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS
DO MODELO AFIM GERAL

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

$$a_1 = 99,2460 \pm 0,306$$

$$a_2 = 14,5929 \pm 0,375$$

$$a_3 = 272085,716 \pm 26,85$$

$$b_1 = 14,5648 \pm 0,307$$

$$b_2 = 98,2952 \pm 0,372$$

$$b_3 = 7553798,383 \pm 26,59$$

RESÍDUOS NO SISTEMA DE COORDENADAS UTM

Nº do Ponto	RX(m)	RY(m)
10026	16,718	9,157
10025	2,279	-3,201
10024	25,828	7,671
10022	-23,034	-6,946
10021	-9,387	-1,089
10034	-11,705	-26,513
10012	54,302	-9,222
10010	67,927	0,056
10040	30,154	22,133
10019	-49,455	29,488
10018	-20,743	28,888
10041	-57,847	0,835
10036	-25,016	0,958
10007	-29,628	24,135
10015	26,996	-16,784
10016	-14,409	-49,181
10031	-73,514	-19,083
10027	15,401	-14,619
10001	-55,903	-21,687
10003	62,714	14,286

TABELA - 4

RESULTADOS OBTIDOS DO AJUSTAMENTO
NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO
MODELO POLINÔMIO DE 2º GRAU

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

$$a_1 = 94,2594 \pm 0,676$$

$$a_2 = 10,9175 \pm 0,652$$

$$a_3 = 0,0465 \pm 0,009$$

$$a_4 = 0,0456 \pm 0,005$$

$$a_5 = 0,004 \pm 0,007$$

$$a_6 = 272149,205 \pm 21,64$$

$$b_1 = 14,9902 \pm 0,679$$

$$b_2 = 95,4015 \pm 0,667$$

$$b_3 = -0,0144 \pm 0,009$$

$$b_4 = 0,0061 \pm 0,005$$

$$b_5 = -0,0320 \pm 0,008$$

$$b_6 = 7553777,960 \pm 21,62$$

RESÍDUOS NO SISTEMA DE COORDENADAS UTM

Nº do Ponto	RX(m)	RY(m)
10026	-4,719	6,262
10025	-8,518	-7,523
10024	25,619	3,539
10022	-5,510	-5,395
10021	16,419	5,959
10034	-38,283	-21,705
10012	-16,268	1,481
10010	22,699	4,670
10040	32,770	12,282
10019	-14,874	13,111
10018	14,966	15,270
10041	-23,442	-10,910
10036	14,308	10,284
10007	4,447	-5,484
10015	-0,678	13,489
10016	-1,795	-24,539
10031	-24,081	-18,737
10027	15,714	5,425
10001	-7,692	5,089
10003	-1,120	-2,549

TABELA - 5
RESULTADOS OBTIDOS DO AJUSTAMENTO
NA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO
MODELO POLINÔMIO DE 3º GRAU

PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

$$a_1 = 86,4396 \pm 2,049$$

$$a_2 = 11,5332 \pm 2,425$$

$$a_3 = 0,1098 \pm 0,063$$

$$a_4 = 0,1981 \pm 0,047$$

$$a_5 = 0,0357 \pm 0,081$$

$$a_6 = 0,0003 \pm 0,0005$$

$$a_7 = -0,0006 \pm 0,0002$$

$$a_8 = 0,0001 \pm 0,0005$$

$$a_9 = 0,00004 \pm 0,0004$$

$$a_{10} = 272263,692 \pm 34,72$$

$$b_1 = -17,2777 \pm 2,047$$

$$b_2 = 99,3697 \pm 2,439$$

$$b_3 = 0,0570 \pm 0,063$$

$$b_4 = 0,0664 \pm 0,046$$

$$b_5 = 0,0944 \pm 0,081$$

$$b_6 = 0,0002 \pm 0,0005$$

$$b_7 = -0,0003 \pm 0,0002$$

$$b_8 = 0,0006 \pm 0,0005$$

$$b_9 = -0,00009 \pm 0,0004$$

$$b_{10} = 7553816,648 \pm 36,03$$

RESÍDUOS NO SISTEMA DE COORDENADAS DE UTM

Nº do Ponto	RX(m)	RY(m)
10026	-12,992	1,695
10025	-11,776	-10,587
10024	25,181	1,636

10026	-5,965	-3,827
10021	13,078	10,791
10034	-16,933	-12,927
10012	9,992	11,591
10010	2,033	-4,062
10040	1,619	2,158
10019	-16,030	7,373
10018	18,421	9,793
10041	-18,525	-16,296
10036	3,527	11,222
10007	14,356	0,573
10015	4,330	11,447
10016	-6,619	-20,021
10031	-6,703	0,819
10027	-0,693	1,237
10001	3,793	-1,844
10003	-0,108	-0,756

8. ANÁLISE DO AJUSTAMENTO

A partir dos resíduos provenientes do ajustamento calculamos o erro médio quadrático nas coordenadas X e Y para os três principais modelos de transformação, que são os seguintes:

Transformação Afim Geral

$$\sigma_X = 40,744m$$

$$\sigma_Y = 20,159m$$

Polinômio de 2º Grau

$$\sigma_X = 18,468m$$

$$\sigma_Y = 11,867m$$

Polinômio de 3º Grau

$$\sigma_X = 12,187m$$

$$\sigma_Y = 9,323m$$

Estes resultados mostram uma grande diferença entre a Transformação Afim Geral e os Polinômios de 2º e 3º Grau. Os modelos polinomiais de 2º e 3º grau são mais adequados à modelagem das deformações existentes entre os dois sistemas.

Analisando a matriz Variância-Covariância dos parâmetros ajustados do modelo polinomial de 3º grau, encontramos 8 parâmetros não significativos no ajustamento, que são exatamente os que transformam um polinômio de 2º grau para 3º grau. A não significância destes parâmetros, indiretamente nos mostra uma maior adequação do modelo polinomial de 2º grau. Esta conclusão não pode ser extrapolada para o caso geral, pois a área em estudo neste trabalho possui características especiais, tais como:

- dimensões de 16km x 16km aproximadamente;
- latitude de 21,45°S e longitude de 46,10°W no centro da imagem;
- grande número de pontos de apoio, com distribuição uniforme por toda a área;

Outros testes deverão ser executados com áreas maiores, menor número de pontos de apoio e localização geográfica diferente, a fim de que se possa chegar a uma conclusão mais acurada a respeito do modelo polinomial mais adequado.

9. TRANSFORMAÇÃO DAS ENTIDADES DIGITALIZADAS PARA O SISTEMA DE PROJEÇÃO UTM

O ajustamento com o Método dos Mínimos Quadrados determinou os parâmetros ajustados e suas precisões.

As entidades digitalizadas no sistema de coordenadas da tela (arquivo vetorial das entidades), são nesta etapa, transformadas para o sistema de projeção UTM (arquivo vetorial das entidades transformadas).

Após esta transformação, com os comandos gráficos do IGDS (Interactive Graphics Design System) transformamos o arquivo vetorial das entidades transformadas num arquivo gráfico das entidades, com os respectivos níveis de informação, "canevá" UTM, legenda etc. Este arquivo gráfico poderá ser "plotado" na escala compatível.

Estas entidades gráficas são, também, integradas num banco de dados geográficos (DMRS - Data Management and Retrieval System), onde são manipuladas para a elaboração de relatórios padronizados, tais como: áreas de polígonos, classificação de polígonos, informações sobre estradas, rios, culturas, etc.

10. VERIFICAÇÃO DO ARQUIVO GRÁFICO

A verificação do arquivo gráfico, ou melhor, das entidades transformadas para o sistema de projeção, principalmente nos locais afastados dos pontos de controle, é um procedimento fundamental na elaboração da conclusão final sobre a adequação do modelo de transformação.

Nas figuras 1, 2 e 3, em anexo, apresentamos os arquivos gráficos das entidades obtidos com as três transformações propostas.

Comparando os arquivos gráficos com a carta topográfica na escala de 1:50.000, verificamos que no arquivo obtido com a Transformação Afim Geral existe uma diferença significativa, e nos arquivos obtidos com os polinômios de 2º e 3º grau as diferenças estão dentro do grau de precisão esperado.

As diferenças existentes entre os dois modelos polinomiais 2º e 3º grau não são significativas.

11. CONCLUSÕES

Apresentamos neste trabalho os resultados de uma pesquisa desenvolvida na AERODATA, na área de Sensoriamento Remoto, visando capacitá-la para a utilização de imagens de satélite, principalmente, nos projetos ligados com a área florestal.

Esta metodologia foi totalmente desenvolvida em ambiente gráfico interativo INTERGRAPH, tanto na parte de processamento digital de imagens, como na parte de computação gráfica (CAD - Computer Aided Design).

Particularmente, para uma área amostral como a utilizada neste trabalho, encontramos os melhores resultados, com os modelos polinomiais de 2º e 3º grau. Verificamos que a utilização

de um polinômio de 3º grau é desnecessária. Contudo, a conclusão mais geral, a respeito do modelo matemático adequado, exigirá mais testes e certamente numa outra oportunidade apresentaremos novos resultados.

A maior dificuldade nesta metodologia é a definição de pontos na imagem, a partir de cartas topográficas. Pesquisas estão sendo elaboradas para solucionar o problema. Oportunamente apresentaremos os resultados.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, C.A.G; d' ALGE, J.C. Correção Geométrica de Imagens: Uma Abordagem para o Registro de Imagens Digitais Landsat-TM Apoiada em Cartas Topográficas de Grande e Média Escala, IN: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Vol. 1: 526 - 530, 1986.
- DUTRA, L.V.; et. al Análise Automática de Imagens Multiespectrais, INPE - 2212-MD/009; 40p, 1981
- GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de Observações: Aplicações geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1984.
- LUGANANI, J.B. Introdução à Fototriangulação, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas; 134p, 1987.
- MITISHITA, E.A. Detecção de Erros Grosseiros nas Aerotriangulações, Tese, Mestre em Ciências, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 245p, 1986.
- SANTOS, J.N.L. Retificação Analítica - Fotogramétrica de uma Imagem Landsat MSS BULK Processada no Brasil, Visando sua aplicação na cartografia, Revista Brasileira de Cartografia; Vol. 42: 63-73, 1988.
- SILVA, A.J.F.M. Modelo Fotogramétrico para Correção de Imagens MSS-LANDSAT, INPE, São José dos Campos, 12p, 1986.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Academic Press Inc., 249p, 1983.
- VIEIRA, A.J.B. Compilação Planimétrica de Originais (1:1.000.000) com Desenho Automático, Por Meio do Planicomp C-100 e a Partir de Imagens Digitais de LANDSAT, Tese - Mestre em Ciências, Universidade Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 80p, 1984.

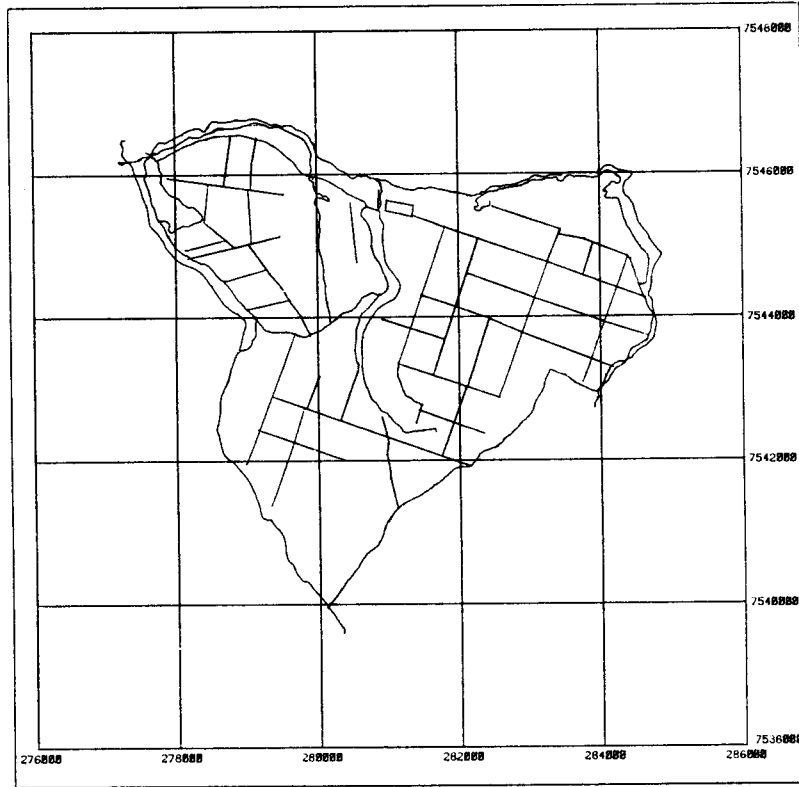


FIG. 1- ARQUIVO GRAFICO DAS ENTIDADES, OBTIDO COM A TRANSFORMACAO AFIM GERAL

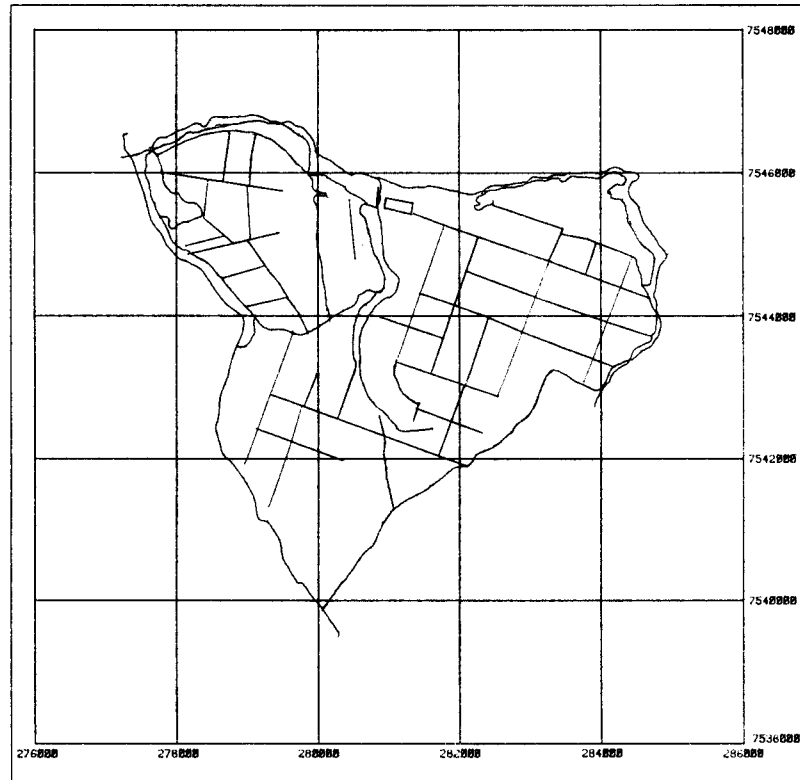


FIG. 2 - ARQUIVO GRAFICO DAS ENTIDADES, OBTIDO COM O MODELO POLINOMIO DO SEGUNDO GRAU

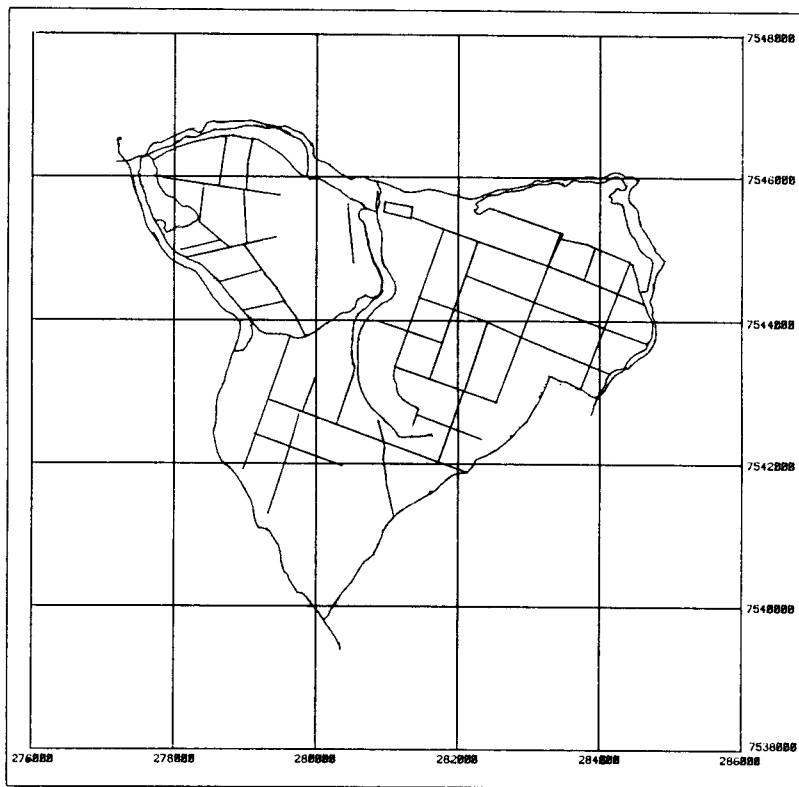


FIG. 3 - ARQUIVO GRAFICO DAS ENTIDADES, OBTIDO COM O MODELO POLINOMIO DO TERCEIRO GRAU