

PRECISÃO DO PROCESSO GRÁFICO DE RESTITUIÇÃO DENOMINADO
INTERSECÇÃO DE RETAS

Precision of Restitution of the Straight Line
Intersection Graphic Process

José Luiz Costa Rosskoff* e Argentino José Aguirre**

RESUMO

Através do processo gráfico denominado Intersecção de Retas foram restituídos pontos de fotografias aéreas de áreas com 3% (experimento 1) e 11% (experimento 2) de declividade média, com o objetivo de determinar a precisão de locação desses pontos. As escalas das fotografias aéreas são 1:15.000 e 1:20.000 para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

No experimento 1 a precisão de locação dos pontos foi de 0,950 m, com erros que variaram de 3,738 m até 22,031 m e erro médio de 11,989 metros, enquanto que no experimento 2 a precisão de locação foi igual a 4,956 m, com erros que variaram de 16,445 m até 101,581 m e erro médio de 53,299 m. A menor precisão obtida no experimento 2 (área com maior declividade) pode ter uma ou ambas das seguintes razões: (a) a restituição gráfica não eliminou o deslocamento devido ao relevo; (b) a fotografia aérea da área com maior declividade (experimento 2) tem uma certa inclinação, que causou deslocamentos que não foram eliminados pela restituição gráfica.

UNITERMOS: Fotointerpretação, Fotogrametria, restituição gráfica, precisão.

SUMMARY

By using the process Straight Line Intersection, graphic restitution of aerial photograph points of two areas were made. The objective was to determine the precision of these points' location.

One of the areas has a slope average of 3% (experiment 1) and the other one has a slope average of 11% (experiment 2). The scales of the aerial photographs used were 1:15,000 and 1:20,000, respectively, for experiment 1 and 2.

In experiment 1, the precision of the point location was 0.950 m,

* Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Pelotas. 96.100 - Pelotas, RS.

** Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Rural. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 97119 - Santa Maria, RS.

with errors that ranged from 3.738 to 22.031 m. The computed average error was 11.989 m. On the other hand, the precision of the points location in experiment 2 was 4.956 m. The errors ranged from 16.445 m to 101.581 m and the computed average error was 53.299 m. The lower precision obtained in experiment 2 (area with higher average slope) could be due to one (or both) of the following reasons: (a) the graphic restitutions did not eliminate the relief displacement; (b) the aerial photograph related to the area with more slope (experiment 2) shows a certain tilt, which caused displacements that were not eliminated by the graphic restitutions.

KEY WORDS: photographic interpretation, Photogrammetry, graphic restitution, precision.

INTRODUÇÃO

O propósito da interpretação de fotografias aéreas é identificar objetos e obter informações sobre o mundo físico pela análise das imagens fotográficas. Entre as informações extraídas das fotografias aéreas estão as de natureza quantitativa, referentes às características dimensionais da paisagem.

A medição planimétrica e altimétrica através de fotografias aéreas é uma atividade da fotogrametria; entretanto, a fotointerpretação necessita, por vezes, de dados dimensionais da superfície terrestre para efetivar interpretações.

As fotografias aéreas, não obstante, apresentam deformações planimétricas oriundas de deslocamentos da imagem, que são provocados pelas diferenças de altura entre pontos do relevo ou pela inclinação do eixo da câmara aerofotogramétrica no momento da tomada da fotografia.

Restituição é o processo de transporte de pontos de fotogramas para um mapa, buscando eliminar as deformações referidas anteriormente e transformando a projeção cônica da fotografia em projeção ortogonal.

A restituição pode utilizar-se de métodos ótico-mecânicos e gráficos.

Restituições gráficas são procedimentos baseados em construções geométricas e fundamentam-se no fato de que, segundo UZEDA (5), a perspectiva fotográfica tem a propriedade de conservar a relação de um feixe de retas.

HALLERT (3) e ALTENHOFEN & HEDDEN (1) também citaram processos gráficos de restituição e disseram que a razão de cruzamento entre raios em um plano é a mesma entre os correspondentes raios em outro

plano, isto é, a imagem fotográfica conserva a relação entre o feixe de retas homólogo do terreno.

Entre os processos gráficos de restituição está o processo denominado de Intersecção de Retas, citado por GIOTTO (2), que, embora o descreva, não nos fornece dados sobre sua precisão.

Assim, com a finalidade de se obter informações sobre a precisão do processo gráfico Intersecção de Retas que, necessitando apenas de material de desenho, poderia ser utilizado em trabalhos de fotointerpretação onde a precisão não fosse muito exigida, montaram-se dois experimentos em áreas com 3 e 11% de declividades médias.

Tais experimentos consistiram na restituição de pontos através do processo Intersecção de Retas e tiveram por objetivo determinar a precisão de locação desses pontos em cada uma das áreas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento 1 foi realizado na área delimitada pelas coordenadas 234,6 (E), 238,6 (E), 6708,0 (N) e 6712,0 (N) do fuso 22 do Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM) e localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria. O experimento 2 realizou-se na área delimitada pelas coordenadas 582,0 (E), 588,0 (E), 6794,0 (N) e 6800,0 (N) do fuso 22 do Sistema UTM e localizada no município de Cambarã do Sul, RS.

Os materiais empregados foram fotografias aéreas (Tabela 1), papel poliéster, lapiseira, estilete, régua milimetrada, esquadros, mesa de luz, estereoscópio de bolso e mapas restituídos no projetor Orto-3 nas escalas 1:7.500 e 1:10.000 das áreas dos experimentos 1 e 2, respectivamente.

O processo Intersecção de Retas utiliza dois pontos de apoio (pontos cujas coordenadas já são conhecidas) para a restituição de outros pontos. Foram escolhidos dois pontos para servirem de apoio e 20 pontos para serem restituídos, em cada área de experimento. Tais pontos foram escolhidos sob a condição única de serem perfeitamente identificáveis nas fotografias aéreas e nos mapas.

Escolhidos os pontos, foram estes transferidos por estereoscopia, para um poliéster, que veio a constituir o que se chamou de gabarito; procedendo-se assim, em ambos os experimentos, obtiveram-se dois gabaritos.

Para ser possível uma referência a cada ponto individualmente, foi estabelecida uma convenção segundo a qual as letras maiúsculas A e B

TABELA 1. Fotografias aéreas utilizadas.

Material	Experimento 1	Experimento 2
quantidade	03	03
data da cobertura aerofotogramétrica	janeiro de 1980	1979
ôrgão executor	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem	Esteio Engª e Aero-levantamentos S.A.
obra	116	---
faixa	06	02
números	130, 131 e 132	139, 140 e 141
escala	1:15.000	1:20.000
câmara empregada	grande angular	grande angular
constante da câmara	152,09 mm	152,88 mm
formato	23 x 23 cm	23 x 23 cm
imagem	positiva	positiva

representam os pontos de apoio no mapa e as respectivas letras minúsculas representam aqueles nos gabaritos. Ainda de acordo com a convenção, os números de 01 a 20 representam os pontos restituídos e os pontos testemunhas. Os pontos testemunhas são pontos dos mapas, homólogos aos escolhidos nas fotografias aéreas.

A precisão de locação dos pontos \bar{e} o erro médio da média aritmética dos erros de locação e foi determinada com base na seguinte fórmula, citada por MARQUES (4):

$$em = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e^2}{n(n-1)}}$$

onde: em = erro médio da média aritmética;

e^2 = quadrado da diferença entre cada observação e a média aritmética das observações;

n = número de observações, no caso o número de pontos restituídos em cada área.

Erro de locação \bar{e} o valor absoluto que expressa a menor distância entre um ponto testemunha e o seu homólogo obtido por restituição gráfica e foi calculado segundo a fórmula:

$$e_i = \sqrt{(X_i - X_{ti})^2 + (Y_i - Y_{ti})^2} \times 1000$$

onde: e_i = erro de locação do ponto i , em metros;

X_i e Y_i = respectivamente, coordenadas UTM (E) e UTM (N) do ponto i restituído graficamente, em quilômetros;

X_{ti} e Y_{ti} = respectivamente, coordenadas UTM (E) e UTM (N) do ponto i testemunha, em quilômetros.

Exemplo genérico de procedimento para restituição gráfica de um ponto "p" pelo processo Intersecção de Retas:

a) no gabarito, uniu-se o ponto "p" aos pontos de apoio e estes entre si, dando origem às retas ab, ap e bp e, no mapa, uniram-se os pontos A e B, dando origem à reta AB (Figura 1a e 1b);

b) levou-se o gabarito sobre o mapa, orientando-o conforme as instruções que seguem;

c) a partir do ponto "a" fez-se coincidir ab com AB, transferindo-se a seguir o ponto "p" para o mapa, dando origem ao ponto P' (Figura 1b);

d) a partir do ponto "b" fez-se coincidir ab com AB, transferindo-se a seguir o ponto "p" para o mapa, dando origem ao ponto P" (Figura 1b);

e) traçaram-se as retas AP' e BP" (Figura 1b);

f) na intersecção das duas retas locou-se o ponto P, restituição de "p" (Figura 1b).

Locado o ponto P, obtiveram-se suas coordenadas UTM por interpolação linear a partir das coordenadas UTM que figuravam nos mapas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes ao presente trabalho encontram-se na Tabela 2, onde podemos observar que no experimento 1, cuja declividade média da área foi estimada em 3%, os pontos restituídos pelo processo Intersecção de Retas apresentam erros de locação que variaram de 3,738 metros até 22,031 m, com um erro médio de 11,989 m e precisão de 0,950 metros.

No experimento 2, cuja declividade média da área foi estimada em 11%, os pontos restituídos pelo processo Intersecção de Retas apresentaram erros de locação que variaram de 16,445 m até 101,581 m, com um erro médio de 53,299 m e precisão de 4,956 m.

A análise da variância (Tabela 3) mostrou haver diferença significativa entre os erros médios de locação dos dois experimentos. Esse resultado pode ter uma das seguintes razões (ou ambas):

a) a restituição gráfica não eliminou o deslocamento devido ao relevo;

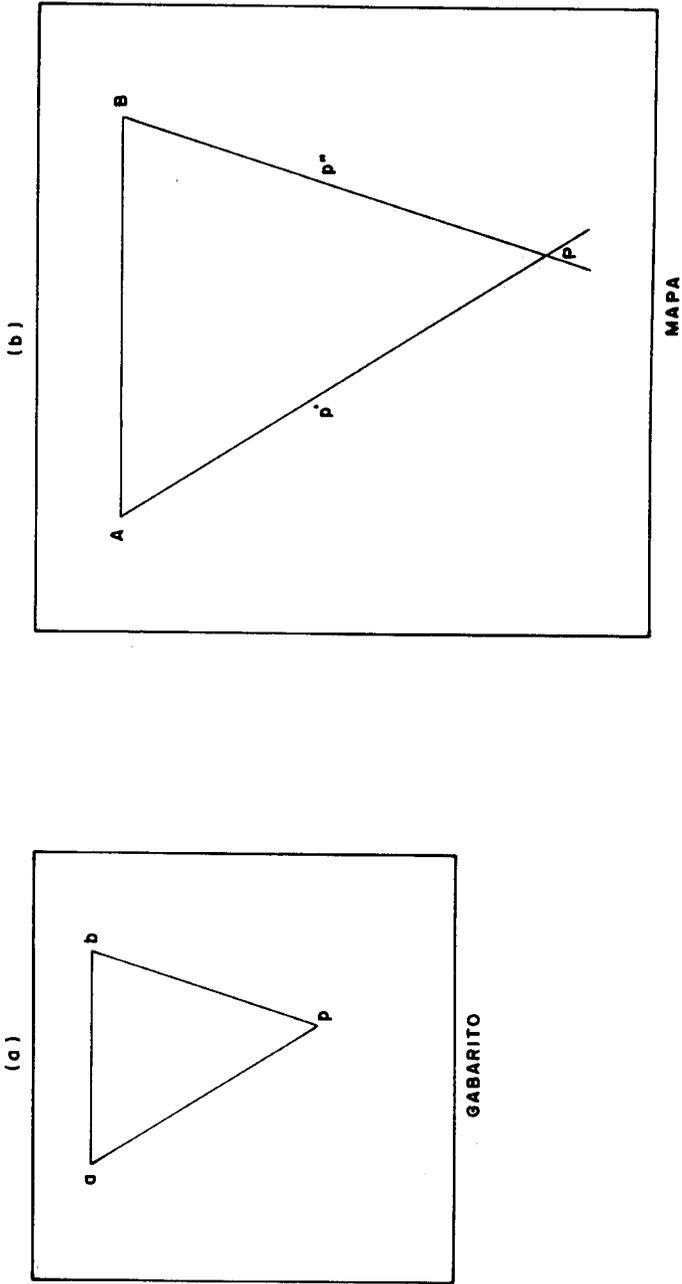


FIGURA 1. Restituição de um ponto "p" pelo processo de intersecção de retas.

TABELA 2. Precisão e erros de locação dos pontos restituídos pelo processo Intersecção de Retas.

Ponto	Experimento 1 Erro de locação (m)	Experimento 2 Erro de locação (m)
1	8,031	16,445
2	16,603	71,709
3	13,001	69,441
4	11,868	40,490
5	8,661	30,282
6	10,151	17,256
7	16,070	47,155
8	13,677	60,457
9	8,661	62,458
10	11,905	32,506
11	5,615	35,736
12	16,231	40,457
13	15,259	43,224
14	12,305	86,342
15	13,693	101,581
16	8,449	77,454
17	13,681	51,232
18	10,151	56,679
19	3,738	59,902
20	22,031	65,094
Erro Médio	11,989	53,299
Precisão	0,950	4,956

TABELA 3. Análise da variância das médias de erros de locação dos experimentos.

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
blocos	19	5275,671	277,667	1,197
tratamentos	1	17064,438	17064,438	73,591**
resíduo	19	4405,756	231,882	
Total	39	26745,865		

** Muito significativo ($P < 0,01$).

b) a fotografia aérea da área com maior declividade (experimento 2) tem uma certa inclinação, que causou deslocamentos no mesmo sentido do que o relevo que não foram eliminados pela restituição gráfica.

Como a precisão é calculada em função dos erros, essas razões apontadas explicam também a diferença de precisão entre os experimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTENHOFEN, R.E. & HEDDEN, R.T. Transformation and rectification. In: AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of Photogrammetry*. Falls Church, Am. Soc. Photogrammetry, 1966. v. 2, chap. 16, p. 803-7.
2. GIOTTO, E. *Técnicas de restituição elementar*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1981. 30 p.
3. HALLERT, B. *Photogrammetry. Basic principles and general survey*. New York, McGraw-Hill, 1960. 340 p.
4. MARQUES, G.G.M. *Topografia. Fundamentos básicos*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1978. 322 p.
5. UZEDA, O.G. *Topografia*. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1963. 414 p.