

O Uso do Estatoscópio no Mapeamento em Escalas Médias e Pequenas

1.0 — Introdução

No mapeamento em escalas médias e pequenas predominam as grandes áreas a serem levantadas, normalmente em regiões de difícil acesso, e que portanto apresentam grandes dificuldades para a determinação dos pontos de apoio terrestre.

Tem sido preocupação constante do cartógrafo, elaborar métodos que permitam a minimização desse apoio, acelerando consequentemente o processo cartográfico, sem detimento da precisão final da carta.

Diversos equipamentos e métodos têm sido desenvolvidos que permitem a determinação direta ou indireta dos pontos de apoio terrestre. Na determinação indireta o método mais utilizado é o da triangulação aérea que aliada a equipamentos e métodos de determinação de dados auxiliares, permite reduzir ainda mais o número de pontos de apoio terrestre.

Faremos previamente uma breve descrição de alguns deles, para posteriormente concentrarmos nosso estudo na utilização dos perfis de ESTATOSCÓPIO juntamente com o ajuste da aerotriangulação.

2.0 — Apoio de Campo

2.1 — Métodos Terrestres

Métodos tradicionais de geodésia e da topografia.

2.2 — Métodos Espaciais

Estes métodos permitem a determinação das posições terrestres de uma estação realmente ocupada, embora utilizem para a determinação elementos fora do espaço terrestre, por exemplo:

Estrelas, no caso das câmaras balísticas, e satélites artificiais e receptores de sinais emitidos pelos satélites no segundo caso, permitem ao observador a obtenção dos dados que após uma série de transformações matemáticas que exploram as relações geométrico-dinâmicas entre seus elementos, permitindo obter as coordenadas da estação de observação com uma precisão que atende aos requisitos do mapeamento em questão.

Como exemplo podemos citar as câmaras Baker Nunn, e os receptores do tipo "TRANSIT" Magnavox 702 CA, e Canadian Marconi 722 B.

3.0 — Triangulação Aérea

A triangulação aérea como já vimos, é um método indireto de determinação de coordenadas dos pontos de apoio terrestre.

Elá está baseada no princípio de explorar-se as relações geométricas entre os feixes de raios que produzem as fotografias aéreas.

Diversos métodos de aerotriangulação têm sido desenvolvidos desde o advento da mesma na década de vinte, sendo que todos eles visam sempre o mesmo princípio:

"Reducir ao máximo a quantidade de pontos de apoio a ser determinada diretamente no campo".

A obtenção desse princípio foi tentada sempre de dois pontos de aproximação diferentes:

No campo teórico

- desenvolvendo pesquisas mais acuradas a fim de detectar a natureza dos erros que intervêm no processo da aerotriangulação, quantificarem esses erros, e logo desenvolver métodos que permitam eliminá-los.
- no campo tecnológico, pelo desenvolvimento de novos equipamentos, que diretamente eliminem determinados erros (como exemplo temos as modernas câmaras fotogramétricas que praticamente têm eliminado a distorção das lentes), ou pela introdução de equipamentos auxiliares atuando na etapa da tomada das fotografias que permitem a obtenção de informações complementares que, ao se introduzir nas etapas posteriores, já seja na etapa instrumental ou no ajuste, permitam o aprimoramento da aerotriangulação.

3.1 — Dados Auxiliares

Dados auxiliares são aqueles que forem informação sobre a

posição, a escala e/ou orientação no espaço de fotografias aéreas no momento da exposição. Esses dados não estão referidos necessariamente a um datum absoluto e nem sempre fornecem todos aqueles elementos.

No Quadro 1, damos uma breve relação dos equipamentos existentes e dos elementos de orientação que eles fornecem.

Não faremos uma descrição de cada um, já que isso ficaria fora do escopo do trabalho, e simplesmente, nos limitamos à descrição do estatoscópio, e de sua utilização como elemento auxiliar no controle altimétrico da triangulação aérea.

4.0 — Estatoscópio

O estatoscópio é um instrumento auxiliar destinado a registrar as diferenças de altura, com respeito a uma superfície isobárica, havidas durante o vôo (Figura 1).

O estatoscópio serve assim ao dirigente de vôo para manter a altura de vôo constante, tanto quanto possível, e como os registros são reproduzidos nas fotografias, serve além disso

TIPOS DE INSTRUMENTOS AUXILIARES	CONTROLE VERTICAL				CONTR. HORIZONTAL		
	φ	ω	bz	Z	ESC.	γ	X, Y
A P R				X	X	X	
ESTATOSCÓPIO				X			
CÂMARA DE HORIZONTE	X	X					
PERISCÓPIO SOLAR	X	X					
SISTEMAS GIROSCÓPICOS	X	X					
SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL	X	X			X	X	
FOTOGRAFIA FRONTAL OBLÍQUA							X
NAVEGAÇÃO DOPPLER					X		
AERODIST, SHIRAN, HIRAN, etc.					X		X

para determinar as diferenças de altura relativas entre duas estações de tomada de fotografias consecutivas.

O princípio básico do estatoscópio é um manômetro líquido que mede as variações da altura de vôo na forma de mudanças da pressão barométrica estática. Os valores medidos como unidade de ascensão da coluna líquida, são transformados em impulsos eletromagnéticos que se registram continuamente num relógio indicador.

Os dados do estatoscópio assim obtidos deverão ser convertidos previamente em metros através da seguinte equação:

Onde:

h = diferença de altura em metros.

K = constante do instrumento (aprox. 0.8) em metros

p = pressão em mm Hg.

t = temperatura em graus centígrados.

h_e = unidade registro do estatoscópio.

4.1 — Precisão do instrumento

A divisão de escala do estatoscópio é de 50 divisões (± 25); a correspondente variação das alturas de vôo varia com a altura média, assim por exemplo para

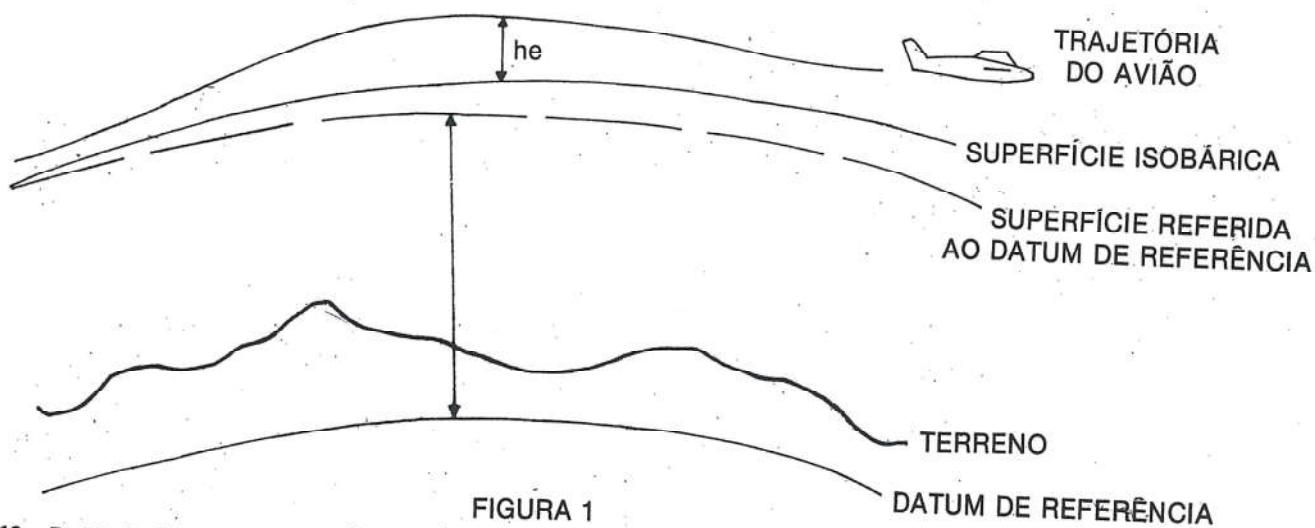


FIGURA 1

uma altura média de 2.000 m, representa uma variação ± 24 m, e para uma altura média de 5.000, uma de ± 30 m.

O instrumento permite ler facilmente 1/2 divisão da escala, de onde concluímos que a precisão de leitura para 2.000 metros, e 5.000 são de 0,5 m, a 0,6 m aproximadamente.

O fabricante assegura que a precisão testada em laboratório é muito maior, e que a velocidade de reação é suficientemente rápida para detetar imediatamente variações bruscas da altura de vôo.

5.0 — Ajuste da Aerotriangulação Utilizando Perfis de Estatoscópio.

Como já foi dito anteriormente, métodos de reduzir ao máximo o apoio terrestre têm sido uma procura constante do cartógrafo, normalmente nos mapeamentos de grandes áreas e em pequenas e médias escalas.

Nessas circunstâncias, as especificações para obter uma determinada precisão são diferentes na planimetria e na altimetria.

Os novos métodos de ajuste em bloco permitem o ajuste simultâneo de várias centenas de modelos com apoio planimétrico localizado apenas na periferia do bloco, mantendo a precisão planimétrica dentro dos padrões requeridos, devido as favoráveis propriedades do comportamento planimétrico no ajuste em bloco.

A situação é bem diferente no apoio vertical.

A redução do número de pontos do apoio vertical não é da mesma ordem que no apoio horizontal e exigindo ainda a maior parte dos pontos em

linhas no interior dos blocos, criando em muitas ocasiões, consideráveis problemas na determinação dos pontos, levando em consideração as dificuldades de identificação e acesso em áreas de vegetação densa.

Para contornar esses problemas, tem-se tentado aplicar vários métodos sendo que o uso do APR e/ou o ESTATOSCÓPIO parecem ser os mais econômicos e eficientes.

6.0 — Testes

6.1 — Descrição

O bloco utilizado para testar a utilização do Estatoscópio, compõe-se de 6 faixas transversais e 23 faixas longitudinais com um total de 283 modelos, sendo a escala média das fotografias de 1:70.000 da Região do Rio São Francisco, no Estado de Pernambuco, abrangendo uma área aproximada de 14.800 Km².

6.1.1 — Este bloco já tinha anteriormente sido triangulado analogicamente em aparelho do tipo Wild Autógrafo A-9, sendo a escala do diapositivo de 1:140.000 e a escala do modelo estereoscópio de 1:80.000.

Para os testes foram aproveitados os registros da aerotriangulação já existente.

6.1.2 — Os pontos de apoio e os pontos fotogramétricos utilizados na ligação entre modelos e entre faixas, foram escolhidos nas fotos, não tendo sido usado o transferidor de pontos Wild P UG-4.

6.1.3 — Para o ajuste anterior por faixas foram determinados 52 pontos planimétricos e 260 pontos altimétricos, que foram

distribuídos da forma convencional (no início, meio e fim da faixa) bem como linhas de nivelação ao longo das faixas longitudinais da periferia do bloco e em todas as faixas transversais.

6.1.4 — Foram realizados dois ajustes na compensação do bloco, utilizando-se o programa PAT N-43, do Prof. Ackermann.

6.1.4.1 — No primeiro (I), foram usados 18 pontos de apoio planimétrico na periferia do bloco, com uma distância média de 8 bases ou aproximadamente 50 Km entre si, e 257 pontos de apoio altimétrico distribuídos ao longo das faixas transversais e das faixas longitudinais da periferia, e sem a utilização dos dados do Estatoscópio.

6.1.4.2 — No segundo (II) foram usados 8 pontos de apoio planimétrico e 8 pontos de apoio altimétrico (Figura 2) distribuídos na periferia do bloco com uma distância média de 8 a 16 bases ou aproximadamente 50 a 100 Km de distância entre si, com a utilização dos dados do Estatoscópio.

7.0 — Discrepâncias

7.1 — Bloco I

7.1.1 — Os erros médios das coordenadas dos pontos fotogramétricos e dos pontos de apoio, determinados pela compensação do bloco I são apresentados na relação abaixo:

a) para os pontos fotogramétricos:

em X = ± 1.304 m

em Y = ± 1.203 m

em Z = ± 0.841 m

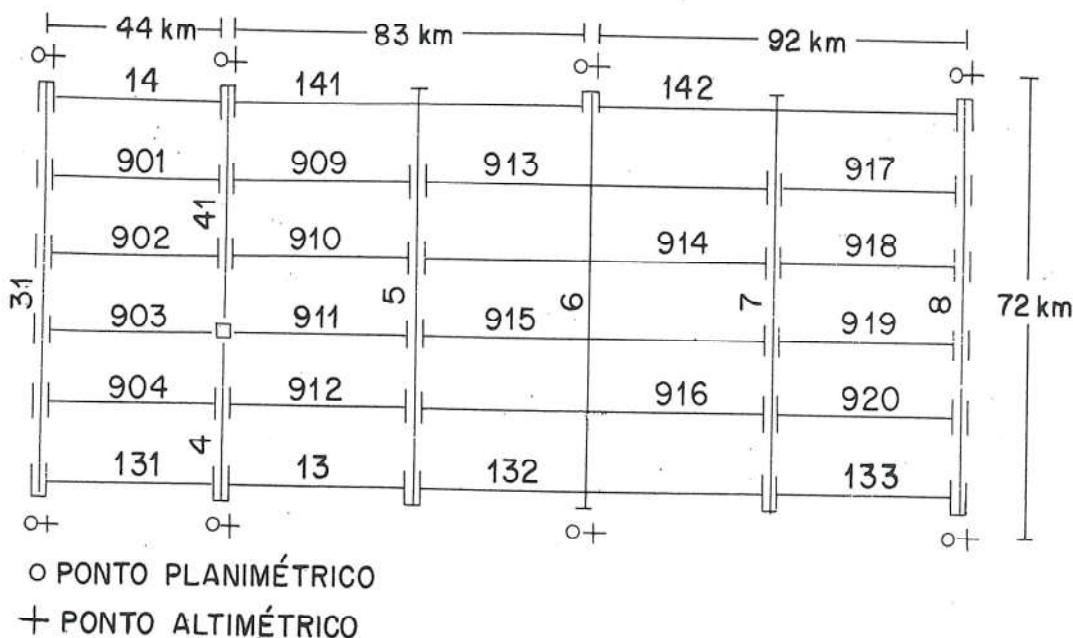
b) para os pontos de apoio:

em X = ± 2.920 m

em Y = ± 2.419 m

em Z = ± 0.779 m

FIGURA 2



c) para os pontos de apoio utilizados no ajuste, em relação aos valores determinados no terreno:
em $X = \pm 1.885$ m
em $Y = \pm 1.843$ m
em $Z = \pm 0.698$ m

7.2 — Bloco II

7.2.1 — Os erros médios das coordenadas dos pontos fotogramétricos, dos pontos de apoio utilizados e dos pontos de apoio terrestre, determinados pela compensação do Bloco II, são apresentados na relação abaixo:

a) para os pontos fotogramétricos:

em $X = \pm 1.202$ m
em $Y = \pm 1.068$ m
em $Z = \pm 0.803$ m

b) para os pontos de apoio:

em $X = \pm 2.629$ m
em $Y = \pm 2.148$ m
em $Z = \pm 0.623$ m

c) para os pontos de apoio utilizados no ajuste, em

relação aos valores determinados no terreno:
em $X = \pm 1.160$ m
em $Y = \pm 0.920$ m
em $Z = \pm 0.386$ m

d) para os pontos de apoio altimétrico não utilizados no ajuste:

em $Z = \pm 2.947$

e) para os pontos fotogramétricos obtidos do ajuste do Bloco I, ao longo das faixas longitudinais centrais, não utilizados no ajuste:
em $Z = \pm 3.093$ m

7.3 — Erros referidos a escala de fotografia

7.3.1 — Na escala da fotografia, o erro médio das coordenadas dos pontos fotogramétricos e dos pontos de apoio, no ajuste dos Blocos I e II, é o seguinte:

Bloco I

Pontos fotogramétricos
m $X = 0,019$ m

m $Y = 0,017$ mm
m $Z = 0,129$ o/ooH

Bloco II

Pontos fotogramétricos
m $X = \pm 0,017$ mm
m $Y = \pm 0,015$ mm
m $Z = \pm 0,124$ o/ooH

Pontos de apoio altimétrico testados:
m $Z = \pm 0,453$ o/ooH

Pontos de apoio
m $X = 0,027$ mm
m $Y = 0,026$ mm
m $Z = 0,107$ o/ooH

Pontos de apoio
m $X = \pm 0,017$ mm
m $Y = \pm 0,013$ mm
m $Z = \pm 0,006$ o/ooH

8.0 — Quadros Comparativos

Erros médios no ajuste do Bloco I

TRABALHO APRESENTADO NO VIII CBC

PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
2631	X	± 1.304
2631	Y	± 1.203
3067	Z	± 0.841

PONTOS DE APOIO		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
18	X	± 1.885
18	Y	± 1.843
238	Z	± 0.698

Erros médios no ajuste do Bloco II

PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
2492	X	± 1.202
2492	Y	± 1.068
3074	Z	± 0.803

PONTOS DE APOIO		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
8	X	± 1.160
8	Y	± 0.920
8	Z	± 0.386

PONTOS DE APOIO ALTIMÉTRICO NÃO UTILIZADOS NO AJUSTE		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
250	Z	± 2.947

PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS (ALTIMÉTRICOS) DO BLOCO I, NÃO UTILIZADOS NO AJUSTE		
NÚMERO DE DETERMINAÇÕES		ERRO MÉDIO (m)
63	Z	± 3.093

8.1 — Diferença nos pontos de apoio altimétricos das faixas transversais.

FAIXA 31	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
157	+ 0.110	+ 1.391
159	+ 0.326	+ 3.058
165	- 0.701	+ 1.404
155	- 1.903	- 3.058
153	+ 0.295	+ 1.093
151	- 0.628	- 0.885

FAIXAS 4/41	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
181	+ 0.982	- 0.963
177	+ 0.024	- 0.964
179	- 0.396	- 4.114
183	+ 0.278	- 2.869
185	+ 0.784	- 2.443
187	- 0.775	- 4.817

TRABALHO APRESENTADO NO VIII CBC

FAIXA 31	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
PS 145B	+ 0.125	- 0.102
PS 147A	- 0.382	+ 0.791
143	+ 1.062	+ 2.939
139	+ 0.931	+ 3.475
141	- 2.085	- 3.121
PS 139A	+ 0.449	+ 3.040
PS 109	- 0.012	+ 0.214
109	- 1.149	- 1.284
111	- 0.547	- 0.517
113	+ 0.138	+ 0.251
PS 107B	+ 0.271	+ 0.680

ERRO MÉDIO

ΔH

± 0.879

± 1.989

FAIXAS 4/41	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
189	- 0.688	- 5.758
191	- 0.260	- 5.105
127	+ 0.904	+ 0.027
129	+ 0.607	- 0.762
131	- 1.080	- 3.382
135	- 1.324	- 4.143
137	+ 0.760	- 1.366

ERRO MÉDIO

ΔH

± 0.766

± 3.356

FAIXA 5	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I.	BLOCO II
213	- 0.034	- 1.862
289	- 0.605	- 0.237
291	- 0.032	- 0.671
293	+ 0.612	+ 1.575
295	+ 0.996	+ 3.879
297	- 0.258	+ 0.454
PS 297	+ 0.031	+ 1.335
1167	- 0.312	- 2.868
1169	- 0.649	- 3.355
1171	+ 0.198	- 2.769
1215	+ 0.031	- 3.065
1217	- 0.935	- 4.626
1221	- 0.750	- 4.518

FAIXAS 6	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
225	+ 1.567	+ 1.106
227	+ 0.634	+ 0.117
229	+ 0.156	- 0.019
233	+ 0.266	+ 3.802
299	+ 0.302	+ 1.134
301	- 0.491	+ 1.195
PS 303	+ 1.366	+ 2.625
303	- 0.097	+ 1.482
305	+ 0.323	+ 1.652
RN 163	- 0.694	- 2.304
1317	- 0.914	- 1.671
1319	+ 0.379	- 1.030
1313	+ 0.429	- 1.056

FAIXA 5	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
Rep 466	+ 0.194	- 1.708
1259	+ 0.339	- 2.240
1515	- 0.082	- 4.281

ERRO MÉDIO

ΔH

± 0.497

± 2.745

FAIXAS 6	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
1325	- 2.147	- 3.544
1403	+ 0.843	+ 3.114
1405	+ 0.423	+ 3.406
253	+ 0.513	+ 0.464

ERRO MÉDIO

ΔH

± 0.863

± 2.094

FAIXA 7	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
243	+ 0.137	-3.585
245	-0.188	-3.718
249	-2.063	-5.297
251	+ 0.887	+ 1.168
307	+ 0.308	-1.327
309	+ 0.690	-3.187
PS 309	-0.161	-3.398
PS 307A	-0.039	-1.886
PS 315	-0.408	-1.056
311	-0.003	+ 0.793
313	+ 0.152	-0.135
315	+ 0.916	+ 0.916
319	-0.704	+ 1.549
321	-0.116	+ 0.106
325	-0.508	+ 0.991
327	-0.467	+ 1.296

ERRO MÉDIO

ΔH ± 0.694 ± 2.415

FAIXAS 8	$\Delta H(m)$	
PONTOS	BLOCO I	BLOCO II
261	-0.243	-0.751
263	-0.150	-2.233
265	-0.558	-2.360
269	+ 0.427	-2.097
329	-0.236	-5.657
331	-0.577	-5.728
333	+ 0.261	-3.337
335	+ 0.863	-1.789
337	-0.175	-2.999
PS 335	+ 0.245	-2.659
PS 377	+ 0.442	-0.578
383	-0.054	-0.371
419	+ 0.054	-0.371

ERRO MÉDIO

ΔH ± 0.512 ± 3.046

9.0 — Conclusões

Pelo exposto podemos concluir:

I) as leituras de estatoscópio obtidas durante o vôo fotogra-

métrico são dados auxiliares de grande valia, uma vez que, no ajuste do bloco, os pontos de apoio vertical restringiram-se à periferia do bloco, e nos extre-

mos das faixas transversais, permitindo espaçar a distância entre os apoios de 100 km a 200 km ou mais, mantendo a precisão do ajuste dentro dos mesmos níveis de um bloco apoiado da forma convencional.

II) A precisão alcançada de $0.45^\circ/ooH$ ou 40 microns na escala da fotografia, é suficiente para o mapeamento nas seguintes escalas:

**Escala carta
Eqüidistância das curvas**

1:100.00	40 m
1:50.000	20m
1:25.000	10m

Acreditamos, ainda, que o uso do estatoscópio poderia ser utilizado no mapeamento em 1:10.000 com eqüidistância das curvas de 5 m.

III) O uso do estatoscópio torna-se recomendável, não só pela eficiência da informação auxiliar, mas também pelo baixo custo do instrumento e sem onerar o valor do vôo fotogramétrico em si.

IV) Finalmente podemos adiantar que o Prof. Ackermann (1) sugere pesquisas visando aprimorar os instrumentos existentes no mercado, quanto ao seu manejo e a sua resolução, não devendo causar surpresa se em um futuro próximo, os estatoscópios possam ser utilizados nos mapeamentos em escalas grandes, com eqüidistância das curvas, talvez de até 2 metros.

10.0 — Bibliografia

(1) F. Ackermann — Progress in aerial triangulation for medium scale and small-scale topographic mapping.

Eighth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Far East — Bangkok, Thailand, January 1977.