

HENRIQUE FIRKOWSKI

CONFIABILIDADE DA FOTOTRIANGULAÇÃO:
CONFIGURAÇÃO E DETECÇÃO DE ERROS
NO APOIO DE CAMPO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências.

CURITIBA

1988

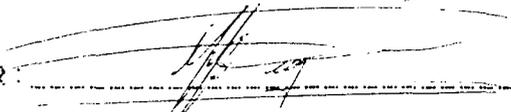
CONFIABILIDADE DA FOTOTRIANGULAÇÃO:
CONFIGURAÇÃO E DETECÇÃO DE ERROS
NO APOIO DE CAMPO

por

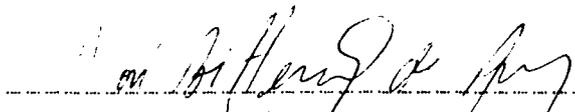
HENRIQUE FIRKOWSKI

Dissertação aprovada como requisito parcial para a
obtenção do Grau de Mestre em Ciências no Curso de Pós-Gradua-
ção em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná
pela Comissão formada pelos professores:

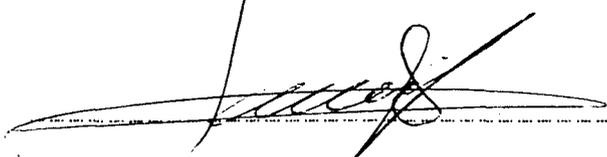
ORIENTADOR:



Prof. JOÃO BOSCO LUGNANI



Prof. JOSÉ BITTENCOURT DE ANDRADE



Prof. JOSÉ CELSO SÃO JOÃO

Curitiba, 20 de junho de 1988.

à minha mãe Halina

AGRADECIMENTOS

O autor deseja, sinceramente, agradecer :

- ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná;

- ao Prof. Dr. JOÃO BOSCO LUGNANI pela orientação baseada em constante dedicação, incentivo e paciência;

- aos amigos Professores MSc. ANTONIO JOSÉ BERUTTI VIEIRA (UFPR) e Dr. JOÃO FERNANDO CUSTÓDIO DA SILVA (UNESP-Pres. Prud.) pelas horas dispensadas em discussões que em muito contribuíram tanto para este trabalho quanto para o meu crescimento pessoal;

- aos colegas da Turma de Mestrado de 1983 que além da preciosa amizade deixaram muitas experiências, vivências e saudades (mais uma e chega);

- à minha mãe HALINA MARCINOWSKA pelo incentivo, compreensão e apoio em casa;

- à minha noiva OLGA LÚCIA C. DE FREITAS por tornar a minha vida mais completa;

- aos funcionários, EDGAR TEIGI MIYOSHI e MARCOS MASSAHARU AKATSU, do Centro de Computação Eletrônica da UFPR pelo auxílio prestado durante a digitação deste trabalho; e

- a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a confecção e término deste trabalho.

SUMÁRIO

TÍTULO.....	I
TERMO DE APROVAÇÃO.....	II
DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS.....	IV
SUMÁRIO.....	V
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	IX
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1 Conceito de Fototriangulação.....	4
2.2 Métodos de Fototriangulação.....	5
2.3 Fototriangulação Analítica.....	7
2.4 O Tratamento dos Erros Grosseiros.....	9
2.4.1 Detecção de Erros Grosseiros por Etapas.....	10
2.4.2 Teste de BAARDA.....	11
2.4.3 Teste de KRARUP.....	13
3. PROGRAMAS UTILIZADOS.....	16
3.1 Sistema de Programas BLUH.....	16
3.1.1 Programa BLOR.....	18
3.1.2 Programa BLAPP.....	24

3.1.3	Programa BLIM.....	25
3.1.4	Programa BLUH.....	26
3.1.5	Programa BLAN.....	29
3.2	Programas Desenvolvidos pelo Autor.....	30
3.2.1	Programa SIMUL.....	30
3.2.2	Programas DIFXY e DIFZ.....	31
3.2.3	Programas TRAR e CCA.....	31
3.3	Programas do Sistema Planicomp C-100.....	32
4.	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	33
4.1	Características do Bloco Simulado.....	33
4.2	Configurações dos Pontos de Apoio.....	34
4.2.1	Configuração 1.....	35
4.2.2	Configuração 2.....	35
4.2.3	Configuração 3.....	37
4.2.4	Configuração 4.....	37
4.3	Testes Realizados.....	39
5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	42
5.1	Deteccção nos Testes com egp	44
5.2	Valores Padrão para os Processamentos das Diferentes Configurações.....	48
5.3	Análise dos Processamentos onde houve Falha ou Detec- ção Parcial de Erros.....	50
5.3.1	Testes da Configuração 1.....	51
5.3.2	Testes da Configuração 2.....	55
5.3.2.1	Teste T2-2.....	57
5.3.2.2	Teste T2-5 e T2-51.....	59

5.3.3	Testes da Configuração 3.....	64
5.3.3.1	Testes T3-2 e T3-21.....	66
5.3.3.2	Testes T3-3 e T3-31.....	68
5.3.4	Testes da Configuração 4.....	70
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	77
6.1	Conclusões.....	77
6.2	Recomendações.....	78
	APÊNDICE A.....	80
	APÊNDICE B.....	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Testes realizados e nomenclatura utilizada.....	39
TABELA 2. Condições de execução dos testes.....	41
TABELA 3. Resultados dos testes com egp	45
TABELA 4. Resumo dos resultados da Tabela 3.....	47
TABELA 5. Resultados dos testes padrão.....	49
TABELA 6. Configuração 1. -Pesos ao final do ajustamento...	52
TABELA 7. Configuração 2. -Pesos ao final do ajustamento...	55
TABELA 8. Resultados dos testes falhos da configuração 2...	56
TABELA 9. Configuração 3. -Pesos ao final do ajustamento...	64
TABELA 10. Resultados dos testes falhos da configuração 3...	65
TABELA 11. Configuração 4. -Pesos ao final do ajustamento...	71
TABELA 12. Resultados dos testes falhos da configuração 4...	72
TABELA 13. Resultados de todos os testes da configuração 1.	81
TABELA 14. Resultados de todos os testes da configuração 2.	82
TABELA 15. Resultados de todos os testes da configuração 3.	83
TABELA 16. Resultados de todos os testes da configuração 4.	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Interferência de atividades computacionais nos três métodos de fototriangulação.....	6
FIGURA 2. Sequência de execução dos programas do Sistema de Programas BLUH.....	18
FIGURA 3. Matriz de razões (valor/emq) dos parâmetros adicionais (Q_i) e correlações entre parâmetros (C_{ij})	27
FIGURA 4. Posição e nomenclatura dos pontos do espaço-objeto.....	35
FIGURA 5. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 1.	36
FIGURA 6. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 2.	36
FIGURA 7. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 3.	38
FIGURA 8. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 4.	38
FIGURA 9. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T1-4 e T1-41.....	54
FIGURA 10. Representação gráfica dos erros em planimetria e altimetria do teste T2-2.....	58
FIGURA 11. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T2-5 e T2-51.....	63
FIGURA 12. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T3-2 e T3-21.....	67
FIGURA 13. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T3-3 e T3-31.....	69
FIGURA 14. Representação gráfica dos erros em planimetria e altimetria do teste T4-5.....	75

FIGURA 15. Representação gráfica dos erros em planimetria e altimetria do teste T4-51.....	76
FIGURA 16. Estrutura e ordem de processamento do Sistema de Programas BLUH.....	86
FIGURA 17. Fluxograma da etapa de pesquisa de erros por Orientação Relativa e Teste de BAARDA.....	87
FIGURA 18. Fluxograma das atividades da formação sequencial das faixas.....	88
FIGURA 19. Fluxograma da etapa de ligação de faixas adjacentes.....	89
FIGURA 20. Fluxograma das etapas de transformação horizontal aproximada e cálculo dos parâmetros aproximados de Orientação Exterior.....	90
FIGURA 21. Representação linear do bloco de fotografias com pontos de terreno (apoio e a calcular) e projeção das fotografias.....	91

RESUMO

Além de muitas outras aplicações, a Fototriangulação é etapa importante na metodologia de produção de cartas quando se usam fotografias aéreas como meio de coleta da informação.

A densidade e a geometria, bem como a qualidade do apoio de campo são fatores relevantes para os resultados do processo de Fototriangulação.

O avanço da computação eletrônica permitiu que blocos fotogramétricos maiores pudessem ser tratados simultaneamente. O aumento do tamanho dos blocos implica no aumento das observações, o que em consequência aumenta a probabilidade da ocorrência de erros.

Neste trabalho tem-se como preocupação principal o estudo da influência de erros grosseiros, densidade e geometria dos pontos de apoio de campo na qualidade dos parâmetros da Fototriangulação.

Os dados utilizados nos ajustamentos são provenientes de simulação computacional. Com isso teve-se oportunidade de estabelecer quatro situações de densidade e geometria para pontos de apoio de campo.

A parte prática deste trabalho consistiu em introduzir erros em pontos de apoio de campo, efetuar e analisar o ajustamento. Ao longo dos diferentes testes foram alterados a posição e o número de pontos afetados de erros grosseiros propositalmente.

Verificou-se que os blocos mais regulares e mais densos são mais confiáveis face à mais segura detecção de erros grosseiros. A deterioração da geometria e da densidade do apoio de campo leva a resultados enganosos. A confiabilidade decresce mesmo quando a precisão interna não o indique, pela presença de possíveis erros grosseiros remanescentes, no caso de configurações fracas.

ABSTRACT

Besides other applications, the Phototriangulation is an important part in the methodology of chart production where aerial photographs are the source of information.

The density and geometry as well as the quality of the ground control are relevant factors in the results of the Phototriangulation process.

Advances in Computer Science have made possible the treatment of large photogrammetric blocks in the simultaneous mode. The increase of the photogrammetric blocks implies in the increase of amount of observations, and as a result of this, the probability of the occurrence of errors increase too.

In this dissertation the main point of concern is the evaluation of the influence of gross errors in control points, and besides this, their density and geometry, in quality of the Phototriangulation parameters.

The data used in the tests were obtained by computational simulation. Through this procedure, it was feasible to establish four configurations for the ground control points.

The practical part of this work consists in the introduction of gross errors in the ground control points coordinates and then executing and analysing the adjustment. The main changes during the experiments were made in the gross error position in the block and the configuration of control points.

The results show that blocks in which there is more regular and dense net, the reliability is greater. The geometry and density deterioration leads to deceiving results because of weakness of the geometry. Even when the internal precision doesn't indicate, the reliability decreases due to the presense of eventual gross errors in the case of weak configuration.

1. INTRODUÇÃO

Sendo a Fototriangulação uma etapa importante do processo de produção de cartas, há a necessidade de se estabelecer os limites de confiabilidade deste método de determinação de apoio suplementar.

Os modernos programas computacionais de Fototriangulação contam com artifícios que se destinam à detecção e depuração automática de erros grosseiros e modelagem de erros sistemáticos.

Apesar dos esforços da comunidade fotogramétrica internacional existem lacunas no conhecimento da confiabilidade da Fototriangulação quando se trata da qualidade, disposição e quantidade de pontos de apoio de um bloco fotogramétrico, e principalmente não se pode prever a magnitude dos erros e as conseqüências de deficiências no apoio de campo. A interação dos diferentes elementos caracterizadores de um bloco fotogramétrico impede que se estabeleçam limites rígidos para deficiência em número, disposição e qualidade dos pontos de apoio.

O método analítico de fototriangulação é ainda pouco usado no Brasil. As causas disso são a sua mais recente entrada no mercado de programas (reduzida capacidade de memória dos primeiros computadores), a modificação das técnicas e equipa-

mentos utilizados e o não conhecimento completo, pelos usuários, das suas características. Mais largamente utilizado é o método semi-analítico por Modelos Independentes. As vantagens e características do método analítico são descritas no capítulo 2.

O Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná possui um equipamento restituidor analítico PLANICOMP C-100 Zeiss. Neste sistema, administrado por um mini-computador HP-1000, está implantado um dos programas mais modernos destinado à fototriangulação, o denominado Sistema de Programas BLUH.

Este sistema de programas pertence à geração de programas modernos. Conta, portanto, com testes e procedimentos voltados à detecção e depuração de erros grosseiros. Neste sistema de programas estão disponíveis o Teste de BAARDA, o Teste de KRARUP e o procedimento de eliminação de erros de modo sequencial denominado Filtragem Progressiva.

Neste trabalho serão tratados apenas situações correlatas aos pontos de apoio, tais como: grandeza do erro proporcional nas coordenadas dos pontos de espaço-objeto; posição do ponto afetado de erro dentro do bloco; e configuração e densidade do apoio de campo. As fotocoordenadas serão afetadas de "erros de observação" muito pequenos, com desvio-padrão da ordem de 2 μ m.

O objetivo desta dissertação é delinear as fronteiras aproximadas da eficiência do Sistema de Programas BLUH no tocante à deficiência em qualidade, localização e quantidade dos pontos de apoio, e apontar os riscos decorrentes desta deficiência.

Para a execução dos testes com finalidade de atender ao objetivo da dissertação, será desenvolvido um programa para efetuar a simulação de um bloco de fotografias. A partir desses dados, provenientes da simulação, é que serão determinadas as configurações para os pontos de apoio e escolhidas as situações de erro.

No capítulo 2 são tratados os conceitos, vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de fototriangulação e alguns dos dispositivos de detecção de erros grosseiros. O capítulo 3 traz uma descrição dos programas utilizados. No quarto capítulo os experimentos realizados são descritos. No capítulo 5 os resultados são apresentados e avaliados e no sexto capítulo são apresentadas conclusões e recomendações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo são apresentados o conceito e os diferentes métodos de Fototriangulação e as formulações matemáticas dos recursos que se destinam à detecção de erros grosseiros que fazem parte do Sistema de Programas BLUH.

2.1 Conceito de Fototriangulação

O surgimento da fototriangulação está ligado ao mapeamento.

O conceito clássico atribui à técnica apenas a tarefa de determinar apoio suplementar. Isso significa ser sua principal destinação o apoio à compilação de mapas. Alguns autores conceituam Fototriangulação dessa maneira /11/, /21/, /25/, /30/.

O desenvolvimento dos equipamentos fotogramétricos e o advento dos computadores digitais permitiram que princípios de fotogrametria analítica já formulados, pudessem ser postos em prática. É o caso da Fototriangulação Analítica cujo desenvolvimento teórico já existia, porém era inviável diante da inexistência dos computadores, tendo em vista o volume de da-

dos e cálculos que envolve /27/.

A disponibilidade de computadores facilitou a aplicação, avaliação e melhoria das técnicas analíticas. A sua aplicabilidade aumentou tanto na área fotogramétrica quanto em outras áreas. Isso tornou obsoleto o conceito clássico /4/.

Lugnani /17/ apresenta conceito que dá caráter mais geral à Fototriangulação.

" Fototriangulação é o método fotogramétrico de determinação de coordenadas de pontos do espaço objeto através de :

- a) relação geométrica de fotos adjacentes devidamente tomadas;
- b) esparsa apoio de campo dado no espaço objeto; e
- c) um conjunto de valores aproximados dos parâmetros. "

2.2 Métodos de Fototriangulação

Não há conformidade entre os diversos autores quanto à classificação da Fototriangulação (ver /11/, /21/, /25/, /30/).

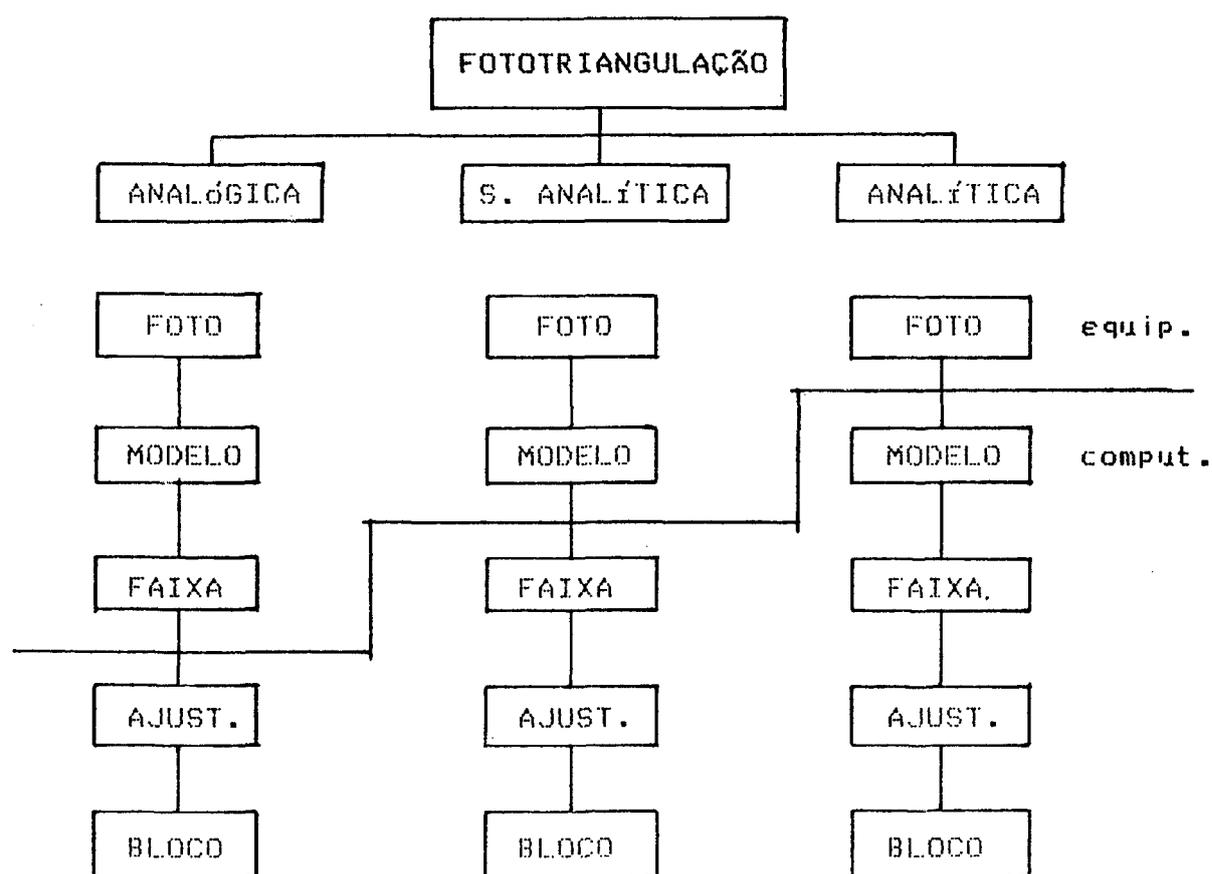
A classificação a ser apresentada enfoca a Fototriangulação sob o aspecto do tipo de processamento envolvido.

Segundo o tipo de processamento a Fototriangulação pode ser :

- a) Fototriangulação Analógica
- b) Fototriangulação Semi-Analítica
- c) Fototriangulação Analítica.

A figura 1 /17/ mostra, segundo esta classificação, o aumento das atividades computacionais e redução das atividades analógicas quando se aplica o método analítico de fototriangulação.

FIGURA 1. Interferência de atividades computacionais nos três métodos de fototriangulação.



O método analógico envolve, em quase sua totalidade, procedimentos instrumentais. A unidade a sofrer ajustamento é a faixa, enquanto que no caso semi-analítico e analítico a unidade considerada no ajustamento é o modelo estereoscópico e

a fotografia respectivamente /25/.

O método semi-analítico ainda é mais largamente utilizado no Brasil pois fornece resultados melhores que o método analógico, que tornou-se obsoleto, e proporciona menores custos computacionais que o método analítico /21/.

A grande popularidade do método semi-analítico por modelos independentes se deve, principalmente, ao fato de combinar técnicas e procedimentos analógicos e analíticos /1/, /17/. E, ainda, ao fato de utilizar instrumentos não universais na fase analógica, como por exemplo WILD A8 ou KERN PG2 e computadores de pequeno porte.

Embora exista uma grande variedade de programas analíticos desenvolvidos e disponíveis no mercado internacional /4/, o método analítico de fototriangulação é pouco empregado pelas empresas de aerolevantamentos no Brasil.

2.3 Fototriangulação Analítica

A fototriangulação analítica caracteriza-se por operar com fotocordenadas. A obtenção das fotocordenadas se efetua por observação a diapositivos ou negativos em equipamentos adequados, tais como, monocomparadores, estereocomparadores ou restituidores analíticos /19/.

A determinação das coordenadas do espaço-objeto a partir de fotocordenadas (espaço-imagem) pode ter como modelo matemático as equações de colinearidade ou a condição de coplanaridade /25/, /31/.

A condição de colinearidade é mais usual entre os autores (/19/, /21/, /25/, /30/).

É estabelecido pela condição de colinearidade que o ponto do espaço-objeto, o ponto correspondente do espaço-imagem e o centro ótico da câmara pertencem à mesma reta /23/.

As equações de colinearidade tem a forma /30/,/31/:

$$\begin{aligned}x &= -f \frac{m_{11}(X-X_0)+m_{12}(Y-Y_0)+m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0)+m_{32}(Y-Y_0)+m_{33}(Z-Z_0)} \\y &= -f \frac{m_{21}(X-X_0)+m_{22}(Y-Y_0)+m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0)+m_{32}(Y-Y_0)+m_{33}(Z-Z_0)}\end{aligned}\tag{1}$$

onde :

m_{ij} = elementos da matriz de rotação, $F(\omega, \varphi, \alpha)$;

X, Y, Z = coordenadas de pontos do espaço-objeto;

X_0, Y_0, Z_0 = coordenadas do centro ótico da câmara no espaço-objeto;

f = distância focal da câmara; e

x, y = fotocoordenadas (espaço-imagem).

Os valores ω , φ e α são os ângulos formados entre os eixos homólogos dos sistemas do espaço-imagem e espaço-objeto.

O desenvolvimento matemático que resulta nas equações de colinearidade, e que envolve as equações da reta e a transformação de similaridade pode ser encontrado em MERCHANT /19/.

As equações de colinearidade (1) são um modelo matemático aproximado da realidade física. Devido a fatores tais como refração atmosférica, trabalho do filme, variações de temperatura e umidade, distorção de lentes e a não planura do filme durante a tomada da foto, não se verifica a condição de colinearidade /22/. Ou, resumidamente, "os erros sistemáticos

são desvios da condição de colinearidade causados por situações físicas diversas" /23/.

A não fidelidade das equações de colinearidade em relação à realidade física e a tendência a melhorar a qualidade das fototriangulações conduziu a comunidade científica fotogramétrica à pesquisa e formulação matemática para efeitos sistemáticos, presentes nas imagens fotográficas /1/.

Não sendo objetivo do trabalho comentar os modelos matemáticos dos artifícios destinados à parametrização de efeitos sistematicos sobre imagens fotográficas, só serão indicadas as referências relativas (ver ANDRADE /3/, JACOBSEN /5/, MERCHANT/19/, MITISHITA /20/, OLIVAS /22/, SILVA /23/, A.S.P./25/).

2.4 O Tratamento dos Erros Grosseiros

A presença de erros grosseiros nos dados de entrada para as fototriangulações representa um sério problema pois sua detecção e localização fica difícil na medida em que os blocos fotogramétricos crescem. O problema assume importância maior quando existem vários erros grosseiros e de diferentes dimensões, o que torna praticamente impossível a localização destes erros pela análise de resíduos /8/.

Segundo Masson e Giraudin /18/ é mais seguro e mais econômico detectar erros quando o número de dados é menor.

JACOBSEN /12/ e EL-HAKIN /8/ sugerem como forma de detecção o procedimento denominado Filtragem Progressiva, enfatizado por TOMASELLI /28/, e aplicado por MITISHITA /20/.

Na **Filtragem Progressiva** são utilizados procedimentos rigorosos ou não na depuração de erros grosseiros /8/, sendo considerado como rigoroso o **Teste de BAARDA**.

São apresentadas as formulações matemáticas dos dispositivos **Teste de BAARDA** (item 2.4.2) e **Teste de KRARUP** (item 2.4.3.). Entretanto foi desenvolvido, a nível de doutorado pelo professor João Fernando C. da Silva /24/, o tema **Inferência Bayesiana**, a qual, de um modo bem geral, permite efetuar o processamento da fototriangulação, inicialmente sem a utilização de pontos de apoio com o objetivo de avaliar e depurar fotocoordenadas e, em fase subsequente, introduzir os pontos de apoio para o ajustamento definitivo da fototriangulação. Esse procedimento prevê conhecimento aproximado dos parâmetros de orientação exterior e dos pontos de apoio.

É apresentado no item 2.4.1 um procedimento adotado para a filtragem progressiva de acôrdo com JACOBSEN /12/.

2.4.1 Detecção de Erros Grosseiros (eg) por Etapas

Os erros grosseiros (eg) presentes no conjunto de dados das fototriangulações podem ter diferentes magnitudes /26/. A aplicação de dispositivos estatísticos para depuração de eg só é factível se houver convergência do ajustamento /12/. Para que a convergência ocorra é necessário que existam apenas erros de pequena magnitude. A eliminação de erros "grandes" é realizada em fase anterior ao ajustamento final. O procedimento de **Filtragem Progressiva** tem como objetivo eliminar observações afetadas de erro, iniciando com erros maiores (testes apropriados) indo até os erros menores, onde, no caso do Sis-

tema de Programas BLUH, é aplicado o Teste de BAARDA.

JACOBSEN /12/ sugere como forma de depuração ou Filtragem Progressiva o procedimento seguinte:

- cálculo do valor médio das fotocorreadas e estimativa da precisão da pontaria;
- transformação de similaridade entre fotos vizinhas e detecção de erros no sistema de coordenadas de foto e erro na numeração de pontos;
- orientação relativa (teste mais rigoroso para coordenadas y);
- transformação de similaridade entre modelos vizinhos (verificação da transferência de pontos na faixa)
- transformação de similaridade entre faixas (verificação da transferência de pontos entre faixas); e
- transformação horizontal do bloco formado no espaço-imagem para o sistema de coordenadas do espaço-objeto (verificação dos pontos de apoio).

2.4.2 O Teste de BAARDA

O Teste de BAARDA é um artifício estatístico destinado à detecção de erros grosseiros. Foi aplicado inicialmente para detecção de erros em redes de triangulação geodésica /10/. Atualmente também é aplicado na detecção de erros grosseiros nas fototriangulações /5/. As aplicações do Teste de BAARDA à fotogrametria podem ser encontradas em publicações diversas: Ackerman (1979), El-Hakin (1981-b), Forstner (1980), Mikhail (1979) e Gruen (1979, 1980), além das publicações de Jacobsen (1980, 1982, 1984).

Este procedimento faz parte do Sistema de Programas BLUH; mais precisamente do programa BLOR (ver Apêndice B).

Neste dispositivo de depuração de erros, são duas as variáveis utilizadas na determinação de observações afetadas de erro grosseiro. Estas variáveis são o número redundância ou redundância parcial r_i e a correção normalizada w_i /5/, /8/, /28/.

Segundo JACOBSEN /12/, o número redundância é dado por :

$$r_i = (Q_{vv} P_{ll})_{ii} \quad (2)$$

onde : Q_{vv} - matriz cofatora dos resíduos e

P_{ll} - matriz dos pesos das observações.

E ainda :

$$Q_{vv} = Q_{ll} - A N^{-1} A^T \quad (3)$$

$$\text{onde : } Q_{ll} = S_0^2 P^{-1} \quad /28/ \quad (4)$$

N - matriz normal $(A^T P A)^{-1}$

A - matriz dos coeficientes das derivadas parciais

S_0 - desvio-padrão da unidade de peso.

Para $r_i = 0$ a observação i não é confiável e para $r_i = 1$ a observação tem máxima confiabilidade. Para o caso de $r_i = 1$ o erro grosseiro só afetará o resíduo da observação i /28/.

A correção normalizada w_i é definida por :

$$w_i = (v_i \sqrt{p_i}) / (\sqrt{r_i} S_0) \quad (5)$$

onde :

w_i - correção normalizada da observação i

v_i - resíduo da observação i

p_i - peso da observação i

r_i - número redundância da observação i

S_0 - desvio padrão da unidade de peso.

O valor da correção normalizada de cada observação é testado com um valor padrão. Se este limite for excedido esta observação deverá ser rejeitada /5/. O valor crítico para a correção normalizada está em torno de 4. E este é o valor adotado pelo programa BLDR /5/.

Segundo JACOBSEN /12/, a principal vantagem do Teste de BAARDA é ser um teste sensível quando aplicado a um grande número de redundâncias parciais. De acordo com o mesmo autor tem-se como desvantagens:

- o valor S_0 é influenciado por erros grosseiros e quando a redundância é pequena o seu valor é pouco confiável;
- para o caso da orientação relativa de modelos os pesos das observações devem ser bem conhecidos;
- se as observações são correlacionadas, um erro grosseiro tem influência também em outras observações; e
- somente um erro pode ser detectado a cada ajustamento.

2.4.2 O Teste de KRARUP

O método constitui-se de uma função de peso cujo objetivo é diminuir, de modo iterativo, o peso das observações

suspeitas de abrigar erro grosseiro /12/.

A versão do teste aplicada no Sistema de Programas BLUH é aquela devida a Juhl, Kubik e Krarup /5/, /12/:

$$p = e^{-A(v/s_0)^B} \quad (6)$$

onde :

e - base do logaritmo neperiano

v - máximo valor absoluto dentre os resíduos das fotocordenadas de um ponto

S₀ - desvio-padrão da unidade de peso da iteração precedente.

A constante A tem valor 0,05 enquanto a constante B, para as duas primeiras iterações com o estimador, vale 4,4, e para as iterações seguintes assume o valor 3,0 /5/.

A constante B assume inicialmente o valor 4,4 para que a aplicação da função de peso resulte numa diminuição mais drástica nos pesos das observações, porquanto o desvio-padrão usado no cálculo dos novos pesos é afetado por observações errôneas /12/.

No Sistema de Programas BLUH o teste é usado apenas após a convergência do ajustamento /12/.

Para diferentes problemas existem variantes do método original, que são, especificamente, mais eficientes.

Existem, ainda, as versões de Jensen e Mark (1980) para redes de nivelamento e de Johannsen e Kjaersgaard (1980) para ressecção /15/.

Aspectos desfavoráveis ao uso do Teste de KRARUP apresentam-se no caso em que erros pequenos não são detectados

com facilidade; a negligência do aspecto geométrico pode acarretar lenta convergência; ou ainda, o que é mais perigoso, a rejeição incorreta de pontos /18/. No caso de detecção de erro por meio de orientação relativa, o método pode levar a resultados errados /12/.

O método tem as seguintes vantagens:

- mais de um erro pode ser detectado no mesmo ajustamento
- a matriz de equações normais não precisa ser invertida, o que implica em diminuição do tempo de processamento.

3. PROGRAMAS UTILIZADOS

Neste capítulo são descritos os principais programas envolvidos na execução da parte prática desta dissertação.

Os programas utilizados pertencem a três grupos:

- 1) Sistema de Programas BLUH;
- 2) programas desenvolvidos pelo autor; e
- 3) programas utilitários do Sistema Planicomp C-100.

3.1 Sistema de Programas BLUH

O Sistema de Programas BLUH destina-se à fototriangulação analítica. As observações, portanto, são fotocoordenadas que podem ser provenientes de operações no equipamento Planicomp C-100 ou similar, mono-comparadores, estereo-comparadores ou como na presente dissertação, provenientes de simulação.

A função matemática que propicia o ajustamento das observações é a equação de colinearidade.

O modelo matemático adotado (equação de colinearidade) permite a inclusão de parâmetros destinados à modelagem de efeitos sistemáticos. Essa inclusão, de parâmetros ao modelo matemático original, é opcional.

Os parâmetros adicionais levam em conta:

- curvatura da Terra;
- refração;
- distorção radial simétrica;
- afinidade angular das fotos;
- afinidade das fotos;
- tensões afins na rede terrestre no caso de faixas paralelas;
- distorção parabólica; e
- parte da distorção tangencial.

Os parâmetros adicionais são aplicados às fotocoordenadas segundo as seguintes expressões:

$$x' = x + x(x + y - 10000)V_1 + yV_2 + xV_3 \quad (7)$$

$$y' = y + y(x + y - 10000)V_1 + xV_2 - yV_3 + xV_4$$

onde:

V_i , com $i=1, 2, 3$ e 4 são os parâmetros adicionais, x e y são as observações e x' e y' são as observações corrigidas dos efeitos sistemáticos.

Além da parametrização dos efeitos sistemáticos, o Sistema de programas BLUH dispõe de artifícios destinados à detecção e depuração automática de erros grosseiros. Estes artifícios são a Filtragem Progressiva, Teste de BAARDA e o Teste de KRARUP, já descritos nos itens 2.4.1, 2.4.2 e 2.4.3 respectivamente.

O Sistema de Programas BLUH implantado no Planicom C-100 da UFPR é composto de cinco programas. Estes programas são executados na seguinte ordem (fig. 2):

FIGURA 2. Sequência de execução dos programas do Sistema de Programas BLUH.



A estruturação do Sistema de Programas BLUH é mostrada na figura 16 /4/ no apêndice B.

O conjunto de programas tem como limites para ser operacional os seguintes valores:

- número máximo de pontos de terreno ----- 1800
- número máximo de fotos ----- 300
- número máximo de imagens por ponto ----- 18
- número máximo de correções de erro no prog. BLIM - 30
- número máximo de correções de erro no prog. BLAPP - 200
- número máximo de pontos por modelo ----- 500
- diferença máxima de número de ordem ----- 27.

A seguir são descritas as principais funções e características dos programas do Sistema de Programas BLUH.

3.1.1 Programa BLOR

É o primeiro programa a ser executado.

Os objetivos do programa BLOR são:

- a) efetuar filtragem progressiva;
- b) determinar e armazenar os parâmetros de orientação exterior aproximados de cada foto; e
- c) armazenar uma sequência para os números das fotos que leva à menor largura de banda do sistema de equações normais

reduzidas.

Durante o processamento do programa BLOR estão envolvidos quatro arquivos:

- 1- arquivo de fotocoordenadas;
- 2- arquivo de pontos de apoio;
- 3- arquivo para orientações exteriores aproximadas; e
- 4- arquivo para sequência dos números das fotos.

Os primeiros dois arquivos contém dados de entrada e os dois últimos são para as saídas do programa.

Durante a fase de diálogo do programa BLOR deve-se fornecer as seguintes informações:

- desvio-padrão para as fotocoordenadas;
- limite do erro admissível para o cálculo da ligação entre faixas adjacentes;
- limite do erro admissível para o ajustamento planimétrico aproximado do bloco ao terreno; e
- número dos arquivos envolvidos.

As fotocoordenadas (dados de entrada) são inicialmente testadas com observações repetidas, tendo por objetivo determinar discrepâncias. Caso algumas fotocoordenadas apresentem diferenças maiores do que três vezes o desvio-padrão "a priori" para fotocoordenadas, é usado o valor médio das observações. Após isso é efetuada uma transformação afim no plano entre fotos vizinhas para avaliar as observações e fornecer os valores iniciais aproximados, b_x e K , para a orientação relativa analítica.

As equações usadas para a transformação isogonal no plano são /4/:

$$\begin{aligned} X' &= A + C X'' - D Y'' \\ Y' &= B + D X'' + C Y'' \end{aligned} \quad (8)$$

onde :

X' e Y' - fotocoordenadas dos pontos da foto número 1;

X'' e Y'' - fotocoordenadas dos pontos da foto número 2;

A e B - translações nas direções X e Y; e

C e D - elementos implícitos da rotação e escala.

O valor B é usado como base b_x na orientação relativa e o valor da rotação K provém de:

$$K = \text{arc tan } (D/C) \quad (9).$$

Na etapa de orientação relativa é utilizada a equação de colinearidade. A orientação relativa é dependente sendo fixada sempre a foto da esquerda .

A operação que se segue à orientação relativa é a aplicação do Teste de BAARDA. Da aplicação deste recurso obtém-se os valores r (número redundância) e w (correção normalizada). Quando uma observação apresentar o valor da correção normalizada igual ou superior a 4, o ponto que contém a observação será eliminado do conjunto, e será efetuado um novo cálculo da orientação relativa. Caso ainda hajam observações com correção normalizada igual ou superior a 4, estas serão retiradas e repetir-se-á o cálculo da orientação relativa, e assim até que todos os pontos com algum $w > 4$ sejam eliminados. Pode ocorrer o caso em que a retirada de pontos impeça a orientação relativa com ajustamento, então uma mensagem indicará orientação relativa aproximada. Ainda pode ocorrer erro na orientação relativa cuja origem não é possível identificar (qual ponto

causa o erro), isso também é informado no relatório de saída.

A figura 17 do apêndice B ilustra a etapa de orientação relativa, inclusive com o funcionamento do dispositivo de depuração, o Teste de BAARDA.

Após a etapa de orientação relativa, o modelo é concatenado à faixa, caso não seja o primeiro modelo da faixa. Na ligação de novo modelo à faixa podem ocorrer três situações:

- ligação com possibilidade de ajustamento;
- ligação sem possibilidade de ajustamento; e
- ligação impossível por falta de pontos e conseqüente subdivisão da faixa.

Os modelos de uma faixa são transformados sucessivamente para a faixa por meio de uma transformação de Helmert horizontal. /4/. Cada faixa tem seu sistema de coordenadas com origem no centro perspectivo da foto da esquerda do primeiro modelo da faixa. A transformação horizontal é acompanhada pelo Teste de BAARDA.

As informações de saída relativas à ligação de modelo à faixa são:

- número dos pontos comuns do modelo a ser concatenado;
- coordenadas de modelo dos pontos;
- diferenças DX, DY e DZ entre coordenadas provindas do ajustamento e coordenadas às quais se aplicaram os parâmetros calculados;
- correções normalizadas wx e wy (transformação horizontal) para cada coordenada de modelo; e
- redundâncias parciais rx e ry (transformação horizontal) para cada ponto de modelo.

"As diferenças DZ são provenientes da transformação de altura com o fator de escala da transformação horizontal e um deslocamento z." /8/.

A figura 18 (apêndice B) mostra a formação sequencial da faixa.

Após a concatenação dos modelos às respectivas faixas ocorre a ligação de faixas adjacentes. Novamente o Teste de BAARDA é utilizado para avaliar os resultados da transformação. O limite de erro para ligação de faixas é usado como "desvio-padrão equivalente" no cálculo da correção normalizada w . Os procedimentos para eliminação de pontos e reproprocessamento são análogos aos da etapa de ligação de modelo à faixa.

A figura 19 (apêndice B) mostra a ligação de faixas.

Ao final da etapa de ligação de faixas tem-se todos os pontos do espaço imagem (agora coordenadas tridimensionais) referidos a um único sistema de coordenadas localizado no centro perspectivo da primeira foto da primeira faixa do bloco.

A operação que se segue é a determinação dos parâmetros da transformação horizontal entre o espaço imagem e o espaço objeto (figura 20 do apêndice B).

As funções utilizadas neste ajustamento planimétrico são (/4/):

$$\begin{aligned} X &= A + Cx' + Dy' \\ Y &= B - Dx' + Cy' \end{aligned} \quad (10)$$

onde :

x' e y' - são "fotocoordenadas internas" /4/;

X e Y - são as coordenadas de terreno dos pontos de apoio; e

A, B, C e D são os coeficientes da transformação de Helmert no plano.

Ao final do ajustamento as diferenças entre as coordenadas provenientes do arquivo de pontos de apoio e as coordenadas do ajustamento são comparadas e caso existam diferenças maiores que o limite estipulado para esta transformação, o ponto de apoio suspeito é retirado e novo ajustamento é efetuado. Isso se repete até que não hajam diferenças superiores ao limite estabelecido ou até que se tenha o número mínimo de pontos para a transformação que é 2.

Quando um conjunto de parâmetros satisfatório é encontrado, a próxima etapa a ser executada é a aplicação destes parâmetros (equações 12) a todos os pontos do espaço-imagem, obtendo-se assim as coordenadas planimétricas aproximadas de todos os pontos do espaço-objeto.

A última etapa de cálculos do programa BLOR é a determinação aproximada dos parâmetros de orientação exterior de cada foto que é mostrada juntamente com a transformação horizontal aproximada do espaço-imagem para o espaço-objeto na figura 20 do apêndice B.

Como principais resultados do processamento do programa BLOR tem-se:

- arquivo com orientações exteriores aproximadas;
- arquivo com a sequência dos números das fotos; e
- lista de pontos com suspeita de abrigar erro grosseiro.

Durante a fase de diálogo do programa BLOR escolhe-se a informação a ser impressa no relatório de saída. Existem quatro opções de conteúdo.

3.1.2 Programa BLAPP

O programa BLAPP efetua o pré-processamento dos dados a serem utilizados pelo programa BLUH de ajustamento simultâneo do feixe de retas.

As tarefas executadas por este programa, entre outras, são:

- arranjo das fotocoordenadas em arquivos de acesso mais rápido para o uso pelo programa BLUH;
- possibilidade de retirar os pontos, com suspeita de abrigar erro grosseiro, que foram acusados pelo programa BLOR;
- escolha dos arquivos que serão usados pelos programas BLIM e BLUH; e
- escolha do número de ponto que funciona como código limite para pontos a serem calculados fora do ajustamento (aplicação dos parâmetros ajustados de uma foto).

Do relatório de saída do programa BLAPP, as informações mais importantes são:

- quadro com o número, o tipo e o tamanho mínimo dos arquivos que serão criados pelo programa BLUH;
- número máximo de diferença de ordem (matriz normal);
- número de pontos de terreno (incluindo os pontos de apoio);
- número de fotos; e
- número de pontos de foto.

3.1.3 Programa BLIM

O programa BLIM tem como função formar os arquivos com informações de como deve ser efetuado o ajustamento. Ou seja, contém as opções escolhidas sobre o modo de processamento do programa de ajustamento (BLUH).

As informações manipuladas pelo programa BLIM são de dois tipos. As informações referentes ao modo do processamento e as informações referentes aos arquivos e modo de saída dos resultados.

As principais informações referentes ao modo do processamento são:

- indicação de uso ou não da opção de parâmetros adicionais;
- valor limite do quociente entre variâncias resultantes de duas iterações consecutivas, como limitador de iterações;
- peso das observações (se existe algum grupo de observações que deva ter peso diferente de 1);
- indicação de uso ou não do Teste de KRARUP, quais os coeficientes das funções de peso e quais as funções usadas; e
- distância focal calibrada.

As principais informações referentes a arquivos e conteúdo de relatório de saída constantes dos arquivos de saída do programa BLIM são:

- número do arquivo para orientações exteriores ajustadas;
- nome do arquivo de informações geradas no programa BLUH e que serão usadas pelo programa BLAN;

- grandeza dos resíduos das fotocoordenadas a partir da qual estes são impressos;
- número do arquivo que contém as coordenadas dos pontos de apoio; e
- número do arquivo que contém as orientações exteriores aproximadas.

3.1.4 Programa BLUH

O programa BLUH efetua o ajustamento simultâneo do feixe de retas. Durante a execução do programa BLUH não há fase de diálogo, isso já foi realizado no programa BLIM.

As informações que podem ser obtidas no relatório de saída vão desde a apresentação das coordenadas aproximadas a cada iteração até a saída das coordenadas finais ajustadas, ou, apenas as coordenadas ajustadas com os resíduos das fotocoordenadas dos pontos de apoio em micrometros e nos pontos em que os resíduos excederem o limite pré-fixado para sua impressão.

O programa BLUH é iterativo. As iterações só cessam quando o quociente entre a variância a posteriori da iteração n e a variância a posteriori da iteração $n-1$ for menor ou igual a L , a opção do programa é $L = 0,8$. Quando o quociente entre as variâncias for menor do que 1 houve convergência entre as duas iterações em questão, caso contrário não ocorreu convergência e o processamento cessa automaticamente. Ocorre divergência no ajustamento quando existe um ou mais pontos ou observações com erros grandes que não foram percebidos em etapas anteriores, ou foram percebidos e não foram eliminados do

conjunto de dados.

Quando o ajustamento for efetuado com uso dos parâmetros adicionais, após a convergência são apresentadas as razões entre o valor do parâmetro e o seu erro médio quadrático, além das correlações entre os parâmetros. Chamando de Q_i os quocientes entre o valor do parâmetro e o seu erro médio quadrático e de C_{ij} as correlações tem-se como resultado da aplicação dos parâmetros adicionais o ilustrado na figura 3.

FIGURA 3. Matriz de razões (valor/emq)-dos parâmetros adicionais (Q_i) e correlações entre parâmetros (C_{ij}).

$$\begin{bmatrix} Q_1 & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & Q_2 & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & Q_3 & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & Q_4 \end{bmatrix} .$$

O uso dos parâmetros adicionais melhora o ajustamento apenas quando $(\sum Q_i / 4) \geq 1$, com $i=1, \dots, 4$. Caso contrário o uso dos parâmetros não melhora a solução, e esta opção não deve ser usada.

No caso de processamento com a opção do Teste de KRUPUR este só é aplicado após ter havido a convergência do ajustamento.

Constam do relatório de saída do programa BLUH, dentre outras menos importantes, as seguintes informações:

- texto com denominação do processamento;

- número do arquivo para armazenamento das coordenadas ajustadas;
- número do arquivo para armazenamento das orientações exteriores ajustadas;
- nome do arquivo para transferência das informações e dados do programa BLUH para o programa BLAN;
- número de fotos do bloco;
- distância focal calibrada da câmara ou câmaras utilizadas (máximo 10);
- número máximo de iterações;
- peso das fotocoordenadas dos pontos de apoio plani-altimétrico;
- peso das fotocoordenadas dos pontos de apoio planimétrico;
- peso das fotocoordenadas dos pontos de apoio altimétrico;
- limite de erro para impressão de resíduos;
- valor limite para que cessem as iterações;
- valor dos coeficientes das funções de peso (Teste de KRARUP);
- número de iterações para processamento com o Teste de KRARUP;
- número de pontos do espaço-objeto;
- coordenadas dos pontos de apoio;
- valor dos somatórios dos resíduos das fotocoordenadas ao longo dos eixos coordenados e a variância de peso unitário para cada iteração;
- valores das orientações exteriores ajustadas;

- coordenadas ajustadas, resíduos nos pontos de apoio e resíduos nos pontos em que o limite para impressão é excedido;
- erro médio quadrático dos pontos de apoio;
- quadro com o erro médio quadrático de fotocoordenadas (em μm) para: a) pontos de apoio plani-altimétrico; b) pontos de apoio planimétrico; c) pontos de apoio altimétrico; d) pontos ajustados; e e) todos os pontos envolvidos (pontos de apoio ou não);
- número de fotocoordenadas observadas, número de incógnitas, redundância de observações, variância da observação de peso unitário "a posteriori", escala média das fotos; e
- coordenadas ajustadas.

3.1.5 Programa BLAN

O programa BLAN efetua análise dos dados por comparação entre dois arquivos.

Os principais resultados do processamento do programa BLAN são:

- apresentação das diferenças entre coordenadas dos pontos de apoio antes e depois do ajustamento;
- média quadrática das diferenças;
- maior distância entre dois pontos pertencentes aos dois arquivos; e
- tabela da covariância normada e desvio padrão-relativo efetuados em função de grupos de distâncias e das diferenças.

Além de resultados numéricos o programa BLAN conta com recursos gráficos. A saída gráfica pode ser obtida tanto na tela quanto na impressora.

As saídas gráficas consistem de:

- gráficos de covariância normalizada e desvio-padrão relativo;
- representação linear de parte ou da totalidade do bloco de fotografias com várias opções de conteúdo (figura 21 do apêndice B); e
- representação gráfica das diferenças para os pontos de apoio dentro da área do bloco de fotografias.

Outras informações relativas ao Sistema de Programas BLUH constam do manual de operação, referência /4/.

3.2 Programas Desenvolvidos pelo Autor

Dentre os programas desenvolvidos para a execução da parte prática desta dissertação tem-se:

- programa SIMUL;
- programas DIFXY e DIFZ;
- programas TRAR e CCA.

3.2.1 Programa SIMUL

Este programa tem por objetivo efetuar a simulação de um vôo fotogramétrico, apresentando como resultado alguns arquivos com dados numéricos. Seu funcionamento se dá por diálogo durante o qual são fornecidas as seguintes informações:

- dimensões da área abrangida pelo bloco;
- superposições lateral e longitudinal;
- distância focal da câmara;
- escala da foto;

- dimensões do negativo; e
- altitude média da região do bloco.

Os dados simulados são armazenados em arquivos que podem ser editados de modo a poder-se escolher dentre os dados disponíveis um bloco de fotografias que seja adequado aos propósitos que se quer alcançar.

3.2.2 Programas DIFXY e DIFZ

Nos programas DIFXY e DIFZ são calculadas as diferenças entre as coordenadas provenientes da simulação e aquelas provenientes do ajustamento e ainda são calculados os desvios-padrão destas diferenças. Os programas também preparam arquivos para a plotagem dos vetores representativos das diferenças. A plotagem das diferenças é feita usando o programa C-087 (3.3).

3.2.3 Programas TRAR e CCA

O programa TRAR é usado para transportar os dados simulados, já selecionados, de um arquivo para outro que seja compatível com a entrada do Sistema de Programas BLUH.

O programa CCA é utilizado para efetuar alterações dentro dos arquivos de fotocoordenadas. Estas alterações são a troca de número dos pontos. Este programa é utilizado quando se deseja alterar a configuração (numeração) dos pontos de apoio sem atuar manualmente nos arquivos de fotocoordenadas.

3.3 Programas do Sistema Planicomp C-100

Os programas A-056 e C-087 são os mais utilizados dentre os pertencentes ao 'software' do Sistema Planicomp. O programa A-056 efetua a edição de arquivos e o programa C-087 realiza a plotagem, no terminal de vídeo ou na mesa traçadora, dos vetores representativos das diferenças entre as coordenadas calculadas pelos programas DIFXY e DIFZ. Exemplos da plotagem dos vetores de erro encontram-se no capítulo 5 (figuras 9 a 15).

4. DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Todos os experimentos, perfazendo um total de 32, foram efetuados utilizando dados de um mesmo bloco fotogramétrico simulado (programa SIMUL).

Os experimentos são separáveis em quatro grupos que se distinguem pela configuração adotada para os pontos de apoio. Esta separação é conveniente para caracterizar as situações de deficiência no apoio.

4.1 Características do Bloco Simulado

A simulação do bloco fotogramétrico, em estudo, tem origem nos seguintes valores iniciais :

- largura da área	-----	23 Km
- comprimento da área	-----	35 Km
- superposição lateral	-----	30 %
- superposição longitudinal	-----	60 %
- distância focal da câmara	-----	153 mm
- escala da fotografia	-----	1/30000
- altitude média da região	-----	1000 m
- amplitude máxima das altitudes	-----	543 m

- valor inicial para o gerador randômico -- 97.

Como resultados da simulação, em função dos dados acima, obteve-se um bloco com as seguintes características:

- número de faixas ----- 5
- número de fotos por faixa ----- 13
- altura de vôo ----- 4590 m
- base terrestre ----- 2760 m
- distância entre linhas de vôo ----- 4830 m
- número de pontos do espaço-objeto --- 169
- número médio de pontos por modelo. --- 8

Ao final da simulação são disponíveis os seguintes arquivos:

- fotocordenadas arranjo mono e isentas de erro
- orientações exteriores
- rede de pontos de terreno
- fotocordenadas arranjo estéreo com erros acidentais
- erros acidentais introduzidos nas fotocordenadas.

A posição e a nomenclatura adotada para os pontos do espaço objeto são mostradas na figura 6.

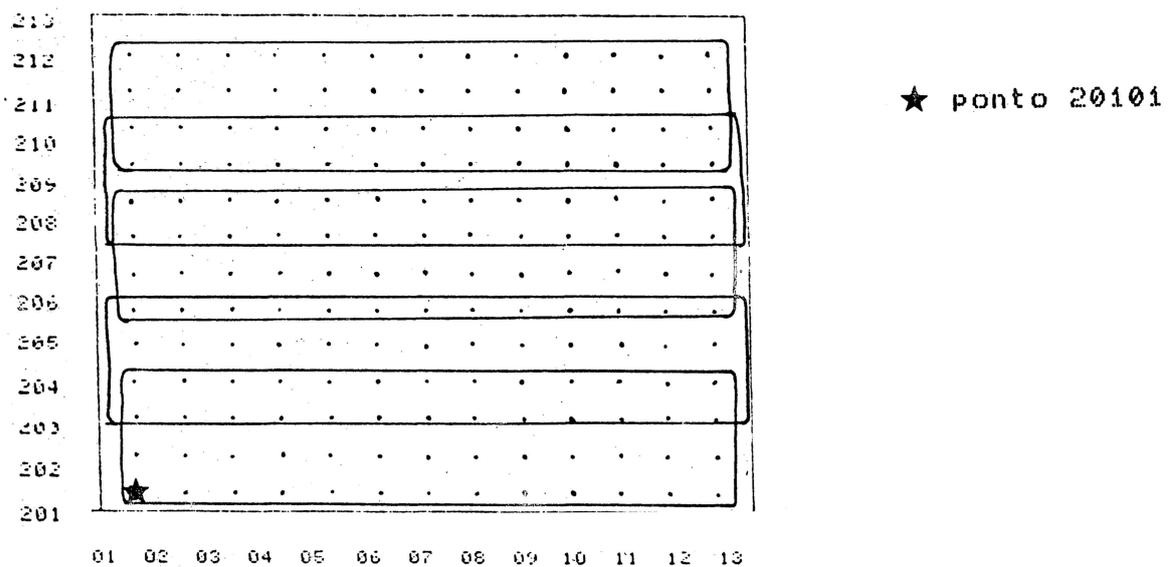
4.2 Configurações dos Pontos de Apoio

Com base nos pontos do espaço-objeto, mostrados na figura 4, foram estabelecidas quatro configurações para os pontos de apoio nas quais se procura mostrar uma tendência à deficiência em número e geometria.

A convenção gráfica adotada foi:

- ponto de apoio plani-altimétrico ★ .
- ponto de apoio altimétrico ☆ .

FIGURA 4. Posição e nomenclatura dos pontos do espaço-objeto



4.2.1 Configuração 1

A distância entre os pontos de apoio na direção longitudinal do bloco é de aproximadamente 4 bases aéreas e na direção transversal é variável entre 1 e 3 bases (figura 5).

Número total de pontos de apoio:

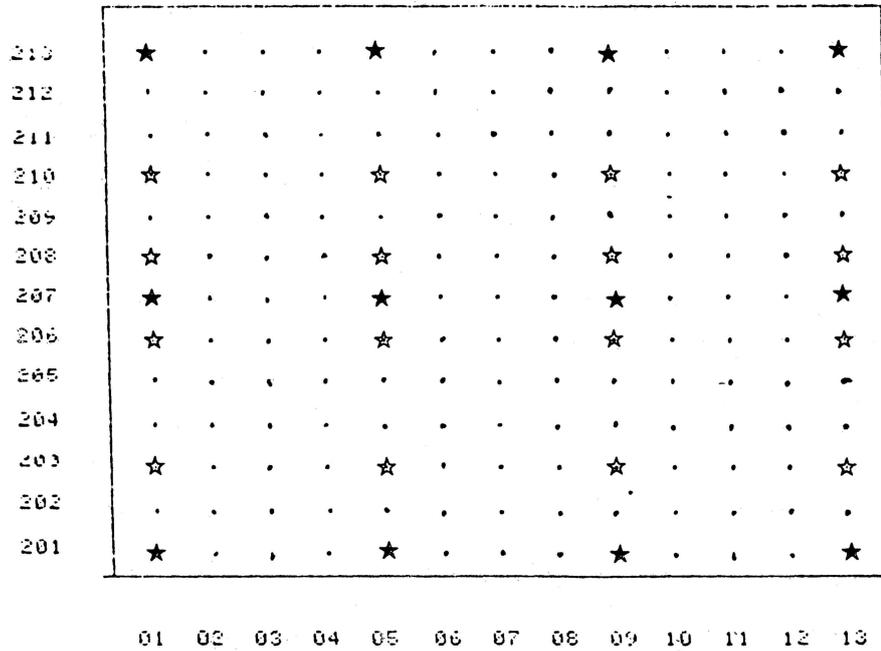
- pontos plani-altimétricos 12
- pontos altimétricos 16.

A configuração 1 é a mais forte sob o aspecto de densidade de apoio. Esta densidade diminui para as configurações seguintes.

4.2.2 Configuração 2

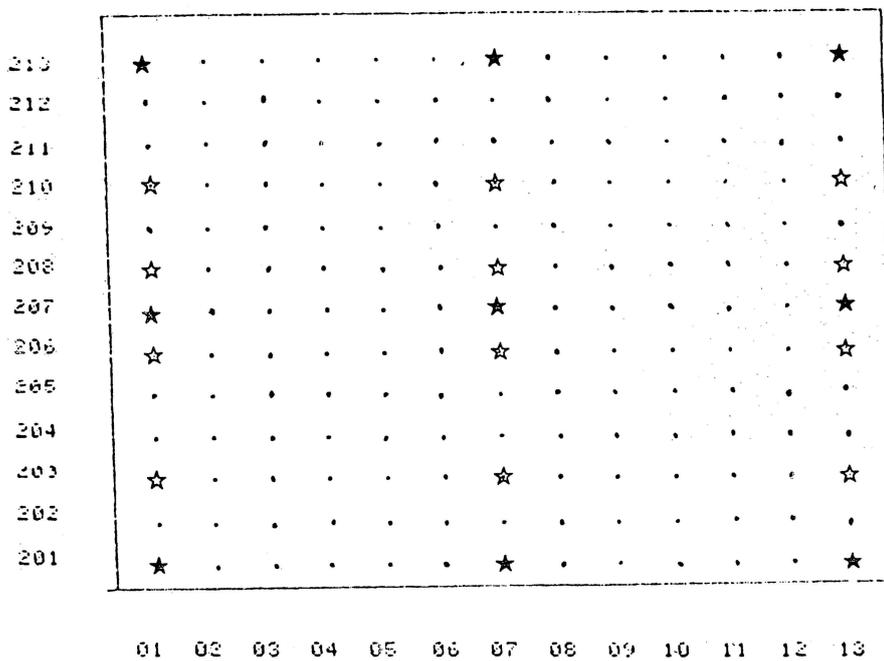
Na configuração 2 (fig. 6) a distância entre os pontos de apoio ao longo do eixo X (longitudinal) aumenta de 4b na configuração 1 para 6b, permanecendo a distribuição ao longo da direção transversal tal qual na configuração 1.

FIGURA 5. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 1



- ponto de apoio plani-altimétrico ★
- ponto de apoio altimétrico ☆

FIGURA 6. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 2



Número total de pontos de apoio:

- pontos plani-altimétricos 9
- pontos altimétricos 12.

4.2.3 Configuração 3

Esta configuração (fig. 7) é a mais deficiente dentre o conjunto de configurações regulares, em função da existência de apenas quatro pontos plani-altimétricos nos cantos do bloco e 12 pontos altimétricos dispostos nas regiões de ligação de faixas.

Número total de pontos de apoio:

- pontos plani-altimétricos 4
- pontos altimétricos 12.

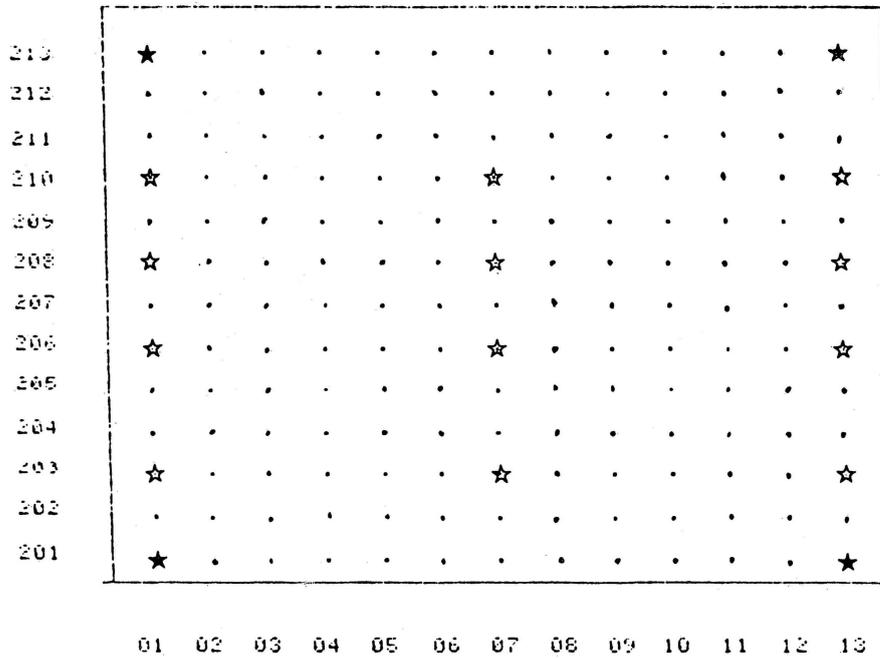
4.2.4 Configuração 4

A configuração 4 é irregular e a maioria dos pontos de apoio são internos (fig. 8). Figuram dentre as incógnitas pontos do espaço-objeto que são exteriores à poligonal formada pelos pontos de apoio, havendo portanto extrapolação, o que é indesejável.

Número total de pontos de apoio:

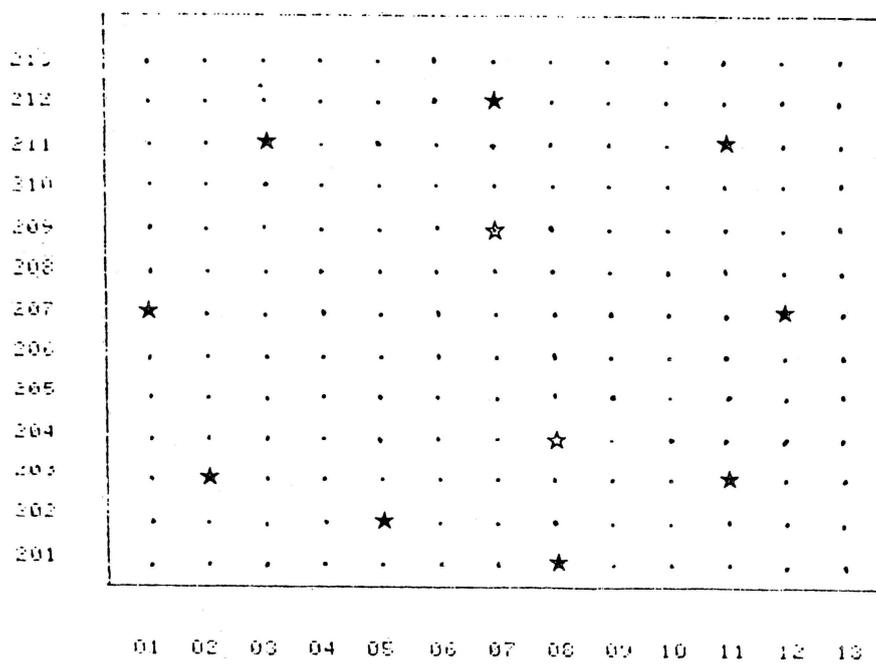
- pontos plani-altimétricos 9
- pontos altimétricos 2.

FIGURA 7. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 3



- ponto de apoio plani-altimétrico ★
- ponto de apoio altimétrico ☆

FIGURA 8. Disposição dos pontos de apoio da Configuração 4



4.3 Testes realizados

Os testes efetuados são mostrados na tabela 1. Os teste T1-1, T2-1, T3-1 e T4-1 foram efetuados utilizando foto-coordenadas afetadas de erros de observação que foram gerados aleatoriamente com média 0,0 e desvio-padrão 2,0 μm e pontos de apoio isentos de erros.

Os demais testes foram efetuados com fotocoordenadas com erros "acidentais" (gerados randomicamente) e pontos de apoio com erro proposital escolhido.

TABELA 1. Testes realizados e nomenclatura utilizada.

TESTES			
Config. 1	Config. 2	Config. 3	Config. 4
T1-1	T2-1	T3-1	T4-1
T1-2	T2-2	T3-2	T4-2
T1-2-1	T2-2-1	T3-2-1	T4-2-1
T1-3	T2-3	T3-3	T4-3
T1-3-1	T2-3-1	T3-3-1	T4-3-1
T1-4	T2-4		T4-4
T1-4-1	T2-4-1		T4-4-1
T1-5	T2-5		T4-5
T1-5-1	T2-5-1		T4-5-1

Exceto os testes T2-5, T2-5-1, T4-5 e T4-5-1, onde eram dois os pontos de apoio de campo afetados de erro grosseiro proposital, todos os outros testes foram efetuados com

apenas um ponto de apoio com erro grosseiro proposital.

A tabela 2 apresenta todos os testes realizados. Na tabela tem-se: na primeira coluna o número da configuração; na segunda coluna o número do teste; na terceira coluna, o número do ponto afetado de *egp*; na quarta coluna está o valor do erro grosseiro proposital; na coluna 5 está indicada a posição do ponto afetado de *egp*; e finalmente, na última coluna está indicado o uso ou não do Teste de KRARUP.

Os resultados e sua análise são apresentados no capítulo 5.

TABELA 2. Condições de execução dos testes.

Config.	Teste	Pto. c/ eg	Erro (XYZ)	Posição	TK
1	1-1	-----	-----	-----	n
	1-2	20101	5,-2,0	canto	n
	1-21	20101	5,-2,0	canto	s
	1-3	20105	8,5,0	borda	n
	1-31	20105	8,5,0	borda	s
	1-4	20705	8,5,0	inter.	n
	1-41	20705	8,5,0	inter.	s
	1-5	20705	0,0,7	inter.	n
	1-51	20705	0,0,7	inter.	s
2	2-1	-----	-----	-----	n
	2-2	20101	5,5,0	canto	n
	2-21	20101	5,5,0	canto	s
	2-3	20107	5,5,2	borda	n
	2-31	20107	5,5,2	borda	s
	2-4	20707	3,3,1	inter.	n
	2-41	20707	3,3,1	inter.	s
	2-5	20107,20707	2X(3,3,1)	bor-int	n
	2-51	20107,20707	2X(3,3,1)	bor-int	s
3	3-1	-----	-----	-----	n
	3-2	20101	1,1,0	canto	n
	3-21	20101	1,1,0	canto	s
	3-3	20101	5,5,2	canto	n
	3-31	20101	5,5,2	canto	s
4	4-1	-----	-----	-----	n
	4-2	20302	3,3,0	inter.	n
	4-21	20302	3,3,0	inter.	s
	4-3	21111	1,-2,1	inter.	n
	4-31	21111	1,-2,1	inter.	s
	4-4	20108	-2,1,-2	borda	n
	4-41	20108	-2,1,-2	borda	s
	4-5	20108,21103	-2,1,-2e5,-5,3	bor-int	n
	4-51	20108,21103	-2,1,-2e5,-5,3	bor-int	s

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A análise dos resultados dos testes efetuados será feita em duas etapas. Inicialmente serão analisados os testes nos quais só existem erros aleatórios nas fotocoordenadas. Posteriormente serão analisados os testes onde além dos erros aleatórios existem também os erros grosseiros propositais (egp) nos pontos de apoio de campo.

O primeiro grupo de testes fornecerá a resposta considerada como padrão do programa de ajustamento, para cada configuração dos pontos de apoio de campo. Estes testes são: T1-1, T2-1, T3-1 e T4-1.

Do segundo grupo de testes, com egp nos pontos de apoio de campo, serão observados, ao final do ajustamento, o ponto com maior resíduo e o ponto com menor peso, neste último caso quando se efetuar o processamento com a opção do Teste de KRARUP.

Sempre que for feita alguma referência a peso de observação estará implícito o uso do Teste de KRARUP (item 2.4.3)

Nos casos onde houver falha do programa de ajustamento serão analisados os indicadores quantitativos do programa

BLUH e a estatística dos erros nos pontos fototriangulados (diferença entre as coordenadas reais e as coordenadas provenientes do ajustamento).

Como falha do programa de ajustamento entende-se a atribuição do maior resíduo a um ponto isento de erro grosseiro proposital, a redução do peso de uma ou mais fotocoordenadas sem que estas sejam imagens de pontos de apoio afetados de erro grosseiro e a não detecção de algum erro grosseiro proposital.

As variáveis dos testes padrão que serão analisadas no item 5.2 são as seguintes:

- 1- variância da unidade de peso "a posteriori";
- 2- variância da unidade de peso "a posteriori" para ajustamentos onde se utilizou o Teste de KRARUP (TK);
- 3- erro médio quadrático dos pontos de apoio (EMQA) para cada direção, em metros;
- 4- erro médio quadrático interno (EMQI) das fotocoordenadas dos pontos de apoio altimétricos;
- 5- erro médio quadrático interno (EMQI) das fotocoordenadas dos pontos de apoio plani-altimétricos;
- 6- erro médio quadrático interno (EMQI) das fotocoordenadas dos pontos ajustados;
- 7- erro médio quadrático interno (EMQI) das fotocoordenadas de todos os pontos do bloco;
- 8- média e desvio-padrão dos erros dos pontos ajustados (nas três direções X, Y e Z em metros).

As mesmas variáveis serão analisadas para os casos de falha, além dos pesos das coordenadas das imagens dos pontos de apoio de campo afetadas de egp (para os testes com uso do

TK) e posição do ponto de apoio de campo afetado de *egp*.

5.1 Detecção nos Testes com *egp*.

Na tabela 3 estão os resultados dos 28 processamentos nos quais haviam erros grosseiros propositais em um ou em dois pontos de apoio de campo.

Na coluna 1 estão os números dos testes separados por configuração de pontos de apoio de campo. Na coluna 2 estão os números dos pontos de apoio de campo com erro grosseiro proposital. Na coluna 3 estão os números dos pontos que ao final do ajustamento tiveram o maior resíduo ou o menor peso, a barra horizontal indica que ao final do ajustamento nenhum ponto do conjunto todo tinha resíduo maior que o limite estabelecido para a sua impressão. E finalmente, na coluna 4 tem-se a indicação de coincidência ou não entre os números do ponto com erro e o número do ponto com maior resíduo ou o número do ponto com menor peso.

Os testes cujos números são formados por três dígitos representam os testes efetuados com a utilização do Teste de KRARUP.

A coluna 4 oferece três possibilidades:

- S :houve coincidência entre o número do ponto com erro proposital e o número do ponto de maior resíduo ou menor peso;
- N :não houve coincidência entre o número do ponto com erro e o ponto com maior resíduo ou menor peso; e
- S/N :houve coincidência parcial, o primeiro dos dois pontos com erro coincidiu e o segundo não e vice-versa.

TABELA 3 : Resultados dos testes com erro grosseiro propo-
sital nos pontos de apoio de campo

Testes	Pto. c/ egp	Pto. c/ >res <pes.	Detect.
1-2	20101	20101	S
1-21	20101	20101	S
1-3	20105	20105	S
1-31	20105	20105	S
1-4	20705	20705	S
1-41	20705	20705	S
1-5	20705	20705	S
1-51	20705	20705	S
2-2	20101	-----	N
2-21	20101	20101	S
2-3	20107	20107	S
2-31	20107	20107	S
2-4	20707	20707	S
2-41	20707	20707	S
2-5	20107-20707	20707	N/S
2-51	20107-20707	20707	N/S
3-2	20101	-----	N
3-21	20101	-----	N
3-3	20101	-----	N
3-31	20101	20101	S
4-2	20302	20205	N
4-21	20302	20701	N
4-3	21111	-----	N
4-31	21111	20712	N
4-4	20108	20108	S
4-41	20108	20108	S
4-5	20108-21103	21207	N/N
4-51	20108-21103	20108	S/N

A letra S é considerada como acerto, a letra N é considerada como falha e as letras S/N são consideradas acerto parcial.

Para os 28 ajustamentos efetuados houve 9 falhas (N), 16 acertos (S) e 3 acertos parciais (S/N).

O maior número de acertos está nos testes da configuração mais densa e mais regular de pontos de apoio. Nesta configuração são 8 acertos contra 0 (zero) falhas (testes 1-2 até 1-51 da tabela 13 do apêndice A). O número de acertos diminui quando a configuração para os pontos de apoio de campo deixa de ser regular. Para a configuração 4 o número de falhas (5) é superior ao número de acertos (2) e ocorreu 1 acerto parcial.

Para os testes com dois pontos de apoio de campo afetados de erro grosseiro, apenas para a configuração irregular e quando o ajustamento é efetuado sem a utilização do Teste de KRARUP existe a falha completa. Para os outros três testes o acerto é parcial.

A configuração 2 apresenta 5 acertos, uma falha e dois acertos parciais.

Os teste efetuados com o Teste de KRARUP são em número de 14 e 9 deles representam acertos. Três deles representam falhas e os outros dois representam acertos parciais.

Para os testes com ajustamentos sem TK o número de acertos é 7, o número de falhas é 6 e para acertos parciais tem-se um teste.

A tabela 3 pode ser resumida na tabela 4.

Da tabela 4 pode-se concluir que para configurações mais densas e mais regulares a quantidade de acertos é maior pela maior proximidade entre os pontos de apoio de campo e pe-

la inexistência de extrapolação.

O número de falhas aumenta com a deterioração da densidade e da geometria do apoio de campo. Este é o caso da configuração 4 quando comparada à configuração 1.

TABELA 4 : Resumo dos Resultados da Tabela 3

TESTES	ACERTO	FALHA	A.PARC	TOTAL
CONF. 1	8	-	-	8
CONF. 2	5	1	2	8
CONF. 3	1	3	-	4
CONF. 4	2	5	1	8
s/ TK	7	6	1	14
c/ TK	9	3	2	14

Os acertos parciais ocorrem somente nos testes onde são dois os pontos de apoio de campo afetados de erro grosseiro proposital. Estes testes (com 2 pontos errados) são em número de quatro. Sendo que um acerto parcial ocorreu na configuração 4, outros dois ocorreram na configuração 2 e o último dos 4 aparece como falha na configuração 4.

As duas últimas linhas da tabela 4 apresentam os acertos, falhas e acertos parciais para os mesmos 28 testes porém agrupados segundo o modo: sem e com o TK. Do número total de acertos (16), nove deles foram ajustamentos com o TK e sete sem o TK. As falhas são em maior número quando os ajustamentos não utilizam o TK. São 6 contra 3. Os acertos parciais ocorrem em número de 2 para ajustamentos com o TK e 1 para os ajustamentos sem o TK.

Para os testes da configuração 1 não houve falhas, será feita apenas uma rápida análise destes resultados.

Para os testes de outras configurações onde houve falhas e acertos parciais será feita uma análise mais criteriosa conjugando as diversas características dos testes.

5.2 Valores Padrão para os Processamentos das Diferentes Configurações

Estão reunidos na tabela 5 os indicadores qualitativos do programa BLUH e as diferenças por direção (eixos cartesianos) dadas pelo programa DIFXYZ (programas já descritos no capítulo 3).

Estes valores serão tomados como a melhor solução para cada configuração, uma vez que não existem erros grosseiros propositais nos pontos de apoio de campo. Existem apenas erros aleatórios artificiais nas fotocoordenadas.

As variâncias "a posteriori" para todos os processamentos são iguais a 2,0 (coluna 3). Os erros médios quadráticos nos apoios EMQA (colunas 5, 6 e 7) se apresentam da ordem do centímetro, não superiores a 4 cm na direção X, não superiores a 6 cm na direção Y e não superiores a 8 cm na direção Z. Para os erros médios quadráticos internos EMQI, presentes nas colunas 8 a 11, em média os valores se localizam entre 0,9 e 1,3 μm , exceto para as imagens dos pontos de apoio plani-altimétrico (coluna 9) do teste 3-1, em razão de serem em número reduzido (apenas 4), tem valores 0,7 na direção x e 0,4 na direção y.

TABELA 5. Resultados dos Testes Padrão

TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMO Externo (m)			EMO Interno (μm)								Erros nos pntos. ajustados (m)					
		BLUH	TK	Y	Y	Z	Z		YZ		Ajust		Todos		\bar{x}	σ_x	\bar{y}	σ_y	Z	σ_z
							x	y	x	y	x	y	x	y						
1-1	-----	2,0	-----	0,032	0,045	0,068	1,2	1,1	1,4	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	0,01	0,07	0,02	0,07	-0,01	0,12
2-1	-----	2,0	-----	0,036	0,043	0,075	0,9	1,1	1,4	1,0	1,1	1,3	1,1	1,3	0,00	0,09	-0,02	0,09	-0,07	0,17
3-1	-----	2,0	-----	0,028	0,059	0,040	0,9	1,1	0,7	0,4	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,21	0,13	-0,14	0,13	-0,10	0,14
4-1	-----	2,0	-----	0,026	0,024	0,021	1,5	1,2	1,4	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	0,02	0,07	-0,01	0,07	0,02	0,17

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

A estatística dos erros nos pontos ajustados apresenta-se com médias próximas de zero e desvios-padrão inferiores a uma dezena de centímetros para as direcções X e Y dos testes T1-1, T2-1 e T4-1. Para estes mesmos testes as médias das diferenças para a direcção Z são próximas de zero, porém os desvios-padrão tem valores entre 12 e 17 centímetros. São superiores, portanto, aos desvios-padrão para os eixos X e Y. Novamente para o teste 3-1 (apoio de campo planimétrico mínimo) tanto as médias ao longo das três direcções quanto os desvios-padrão, são superiores aos dos testes deste grupo de análise.

Com base nestes resultados chega-se aos seguintes valores como representativos da melhor solução para os processamentos de qualquer configuração:

- variância da unidade de peso "a posteriori" 2,0;
- erro médio quadrático dos pontos de apoio 2 a 8 cm;
- erro médio quadrático interno EMQI 0,9 a 1,3 μ m;
- média dos erros nos pontos ajustados 0,0 m; e
- desvio-padrão dos erros nos pontos ajustados, em X e Y inferior a 10 cm e em Z inferior a 18 cm.

5.3 Análise dos Processamentos Onde Houve Falha ou Detecção Parcial de Erros

Neste ítem serão analisados os testes onde houve falhas de detecção ou detecção parcial. Serão base para análise os seguintes elementos e parâmetros:

- densidade de apoio de campo (configuração);
- posição do erro grosseiro;

- os indicadores quantitativos do programa de ajustamento (BLUH);
- erros nos pontos ajustados (média e desvio-padrão);
- uso ou não da opção de detecção de erros (Teste de KRUP);
- valores padrão do ajustamento sem erro grosseiro proposital;
- peso das fotocoordenadas das imans dos pontos de apoio de campo afetadas de egp.

O primeiro conjunto de resultados analisado será o conjunto de processamentos da configuração 1, apesar deste conjunto de testes não apresentar nenhuma falha ou acerto parcial. A intenção desta análise é mostrar o comportamento dos resultados perante uma boa configuração, boa densidade e boa geometria dos pontos de apoio de campo.

5.3.1 Testes da Configuração 1

Como foi apresentado na tabela 3 para a configuração 1, nenhum dos testes foi classificado como falha, ou seja, o maior resíduo ou menor peso sempre foi relativo ao ponto imagem do ponto de apoio de campo afetado de erro grosseiro proposital. Entretanto uma rápida análise destes resultados será benéfica ao trabalho.

Os dados analisados se encontram na tabela 13 do Apêndice A, a menos dos pesos das imagens dos pontos de apoio de campo afetados de egp que são apresentados na tabela 6.

TABELA 6. Configuração 1 - Pesos ao final do ajustamento

TESTE	PONTO	N. FOTOS	PESOS
T1-21	20101	2	0,91721225 0,00000001
T1-31	20105	3	0,00000001 0,00000001 0,00000001
T1-41	20705	3	0,00000001 0,00000001 0,00000001
T1-51	20705	3	0,00000001 0,99958217 0,00000001

Observa-se, na tabela 6, que a possibilidade de influência de um ponto de apoio de campo afetado de **egp** foi completamente eliminada. A anulação do peso das fotocoordenadas de uma fotografia, quando o ponto de terreno gera duas imagens, já é suficiente. Para o teste T1-21 ocorreu a anulação do peso de uma das imagens apenas e o ajustamento apresentou resultados coerentes com os resultados padrão. Para os testes T1-31 e T1-41 a anulação dos pesos foi completa. As três imagens do ponto afetado de **egp** foram retiradas. O peso destas imagens ao final do ajustamento foi $1E-08$. No teste T1-51 duas imagens foram anuladas, restando uma que não influi no ajustamento.

A análise prossegue, agora, com base nos dados constantes da tabela 13 do Apêndice A.

As variâncias "a posteriori" são maiores para os processamentos onde o ponto afetado de erro gera o maior número de equações, ou seja, no caso de ponto interior ao bloco. Ocorre o oposto para os ajustamentos com o uso do TK.

Comparando os testes sem e com o TK percebe-se nestes últimos uma redução nas variâncias "a posteriori" relativamente aos primeiros.

O comportamento dos erros médios quadráticos dos pontos de apoio de campo (EMQA) é condicionado pela posição e valor do erro grosseiro proposital. Para pontos interiores o EMQA se apresenta grande, maior do que para erro na borda e, tanto nessa ordem. Quando o ajustamento é efetuado com o TK a tendência dos EMQA é de aumentar e mostrar a existência de erros nos pontos de apoio. O que sugere a não retirada do ponto afetado de *egp* para o cálculo do EMQA.

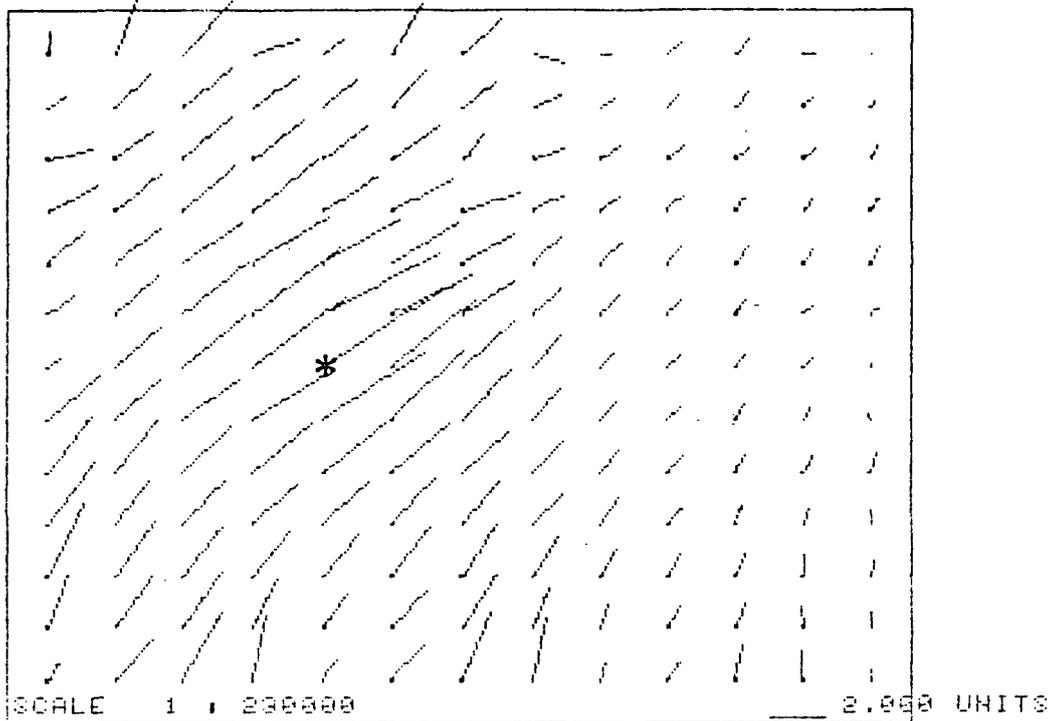
Para os EMQI existem diferenças importantes no que se refere ao ajustamento com e sem o Teste de KRARUP (TK). Para ajustamentos com TK os EMQI se reduzem aos níveis ideais, exceto para as imagens dos pontos de apoio de campo plani-altimétrico que são justamente aqueles afetados de erro grosseiro proposital. Os ajustamentos efetuados sem TK tem seus valores de EMQI altos pois a influência do erro é absorvida pelos pontos vizinhos à imagem do ponto de apoio afetado de erro grosseiro proposital, elevando os seus resíduos.

Com relação aos erros nos pontos ajustados verifica-se que a média deles diminui quando se efetuam os processamentos com o TK, o mesmo ocorrendo com os seus desvios-padrão.

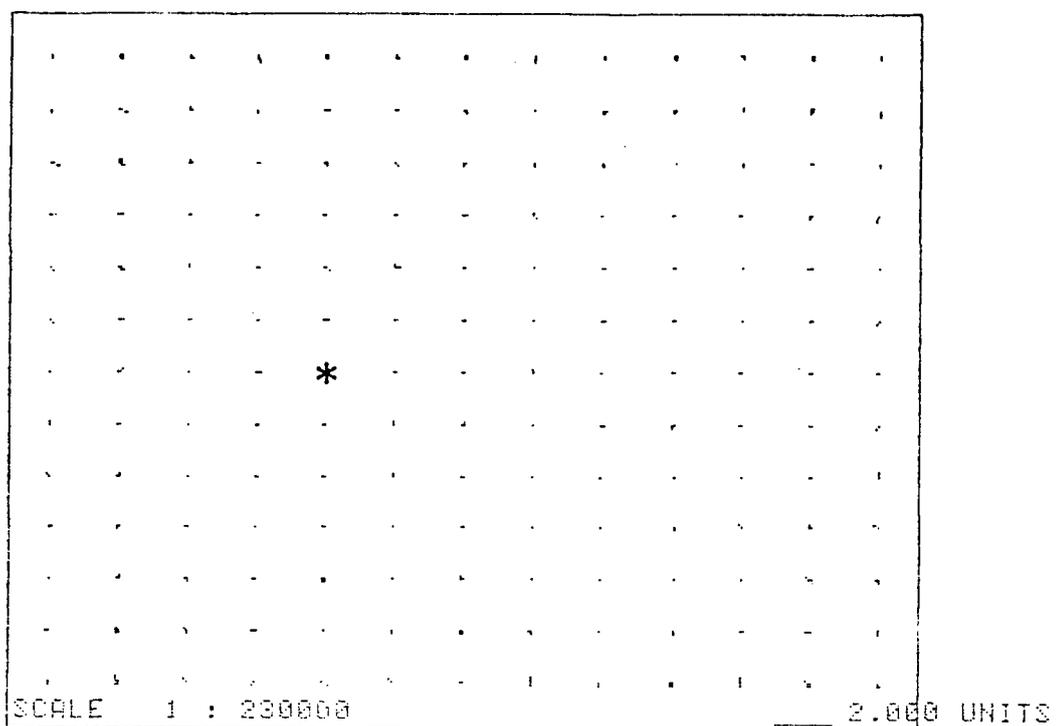
FIGURA 9. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T1-4 e T1-41

* - ponto com **egp**

9a- teste T1-4



9b- teste T1-41



Na figura 9 estão ilustrados os vetores de erro para os testes T1-4 e T1-41 onde se percebe a atuação do TK.

5.3.2 Testes da Configuração 2

Os testes que apresentam falhas (item 5.1), e portanto, serão analisados são os seguintes: T2-2, T2-5 e T2-51.

TABELA 7. Configuração 2 - Pesos ao final do ajustamento

TESTE	PONTO	N. FOTOS	PESOS
T2-21	20101	2	0,00000014
			0,88209808
T2-31	20107	3	0,00000001
			0,00000001
			0,95810282
T2-41	20707	3	0,00000001
			0,00000001
			0,00000001
T2-51	20107	3	0,79582012
			0,94581521
			0,99022555
	20707	3	0,00000001
			0,00000001
			0,00000001

A tabela 8 traz os resultados dos testes da configuração 2 que serão analisados nos itens 5.3.2.1 e 5.3.2.2.

TABELA 8. Resultados dos Testes Falhos da Configuração 2

TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMQ Externo (m)			EMQ Interno (μm)						Erros nos ptos. ajustados(m)							
				Y	X	Z	Z		YYZ		Ajust						Todos			
				BLUH	TK.	Y	X	Z	x	y	x	y	x	y	x	y	\bar{y}	σ_x	\bar{y}	σ_y
2-2	canto	3,8	----	0,183	0,217	0,142	2,7	2,2	4,6	4,0	1,9	2,4	2,2	2,5	-0,23	0,60	-0,33	0,65	-0,19	0,29
2-5	bor/int	6,0	----	0,361	0,496	0,382	5,4	4,8	13,3	11,1	2,5	2,8	3,7	3,6	-1,13	0,74	-1,57	0,79	0,07	0,66
2-51	bor/int	6,0	3,2	0,824	0,876	0,371	2,1	1,6	4,7	4,0	1,6	1,9	1,8	2,0	-0,62	0,59	-0,66	0,68	0,12	0,30

5.3.2.1 Teste T2-2

No teste T2-2 a variância 'a posteriori' vale 3,8 contra 2,0 no caso ideal, diferença não significativa na prática. O mesmo teste, porém com o TK, tem valor de variância reduzido a 2,8 (teste T2-21 da Tabela 14).

Os valores máximo e mínimo dos EMQA são: EMQA máx= 22 cm, EMQA min= 18 cm; o valor padrão é 8 cm. Esta diferença é devida ao erro de (5,5,0) que foi facilmente absorvido e distribuído entre as imagens de pontos de apoio nas proximidades.

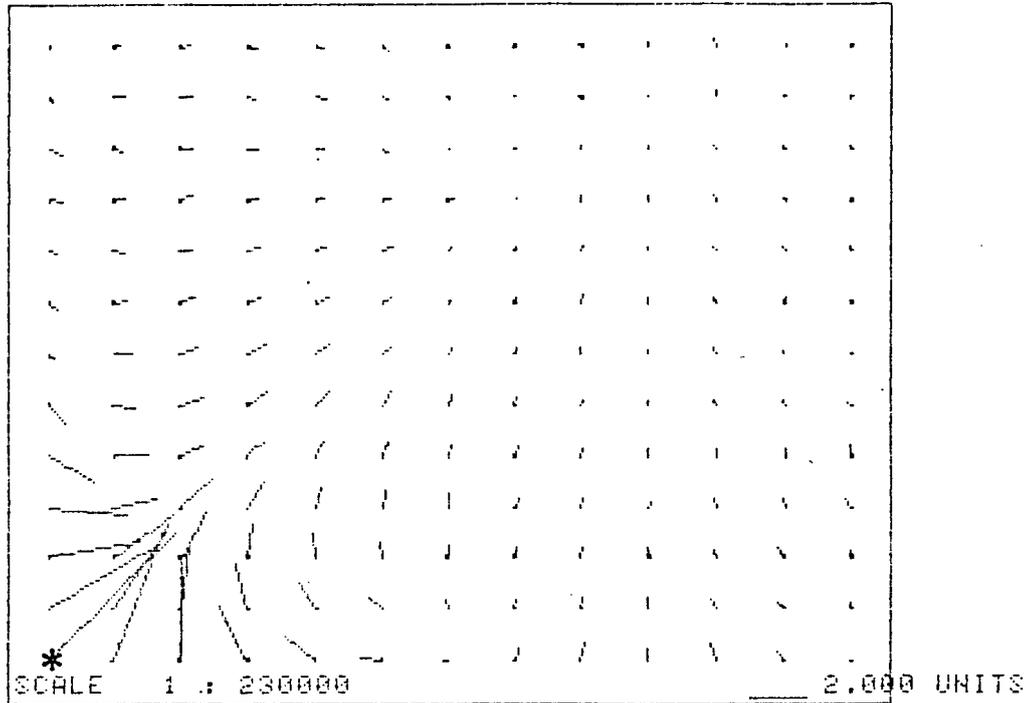
Os erros médios quadráticos internos, EMQI, assumem em média o valor 2,3 μm , quase o dobro do valor máximo padrão, exceto para os EMQI das fotocoordenadas dos pontos de apoio plani-altimétrico que tem valor médio de 4,3 μm . É razoável que o EMQI das fotocoordenadas dos pontos de apoio plani-altimétrico sejam os maiores pois o ponto afetado de erro é ponto de apoio com função planimétrica e altimétrica. Para o ajustamento efetuado com o TK os valores do EMQI são reduzidos. Entretanto não se igualam aos valores padrão. Isso significa que a influência do erro foi apenas atenuada e não completamente eliminada.

Para a estatística dos erros nos pontos ajustados do espaço-objeto percebe-se a translação dos pontos ajustados pois as médias tem valores: $X=-0,23$ m, $Y=-0,33$ m e $z=-0,19$ m. Os desvios-padrão para as diferenças são em média 4,5 vezes maiores que o padrão para a planimetria e ao redor de 2 vezes para a altimetria ($S_x=0,55$ m, $S_y=0,43$ m e $S_z=0,30$ m). Foi constatado um erro máximo de 6,5 m (aproximadamente 217 μm) num ponto do espaço-objeto após o ajustamento.

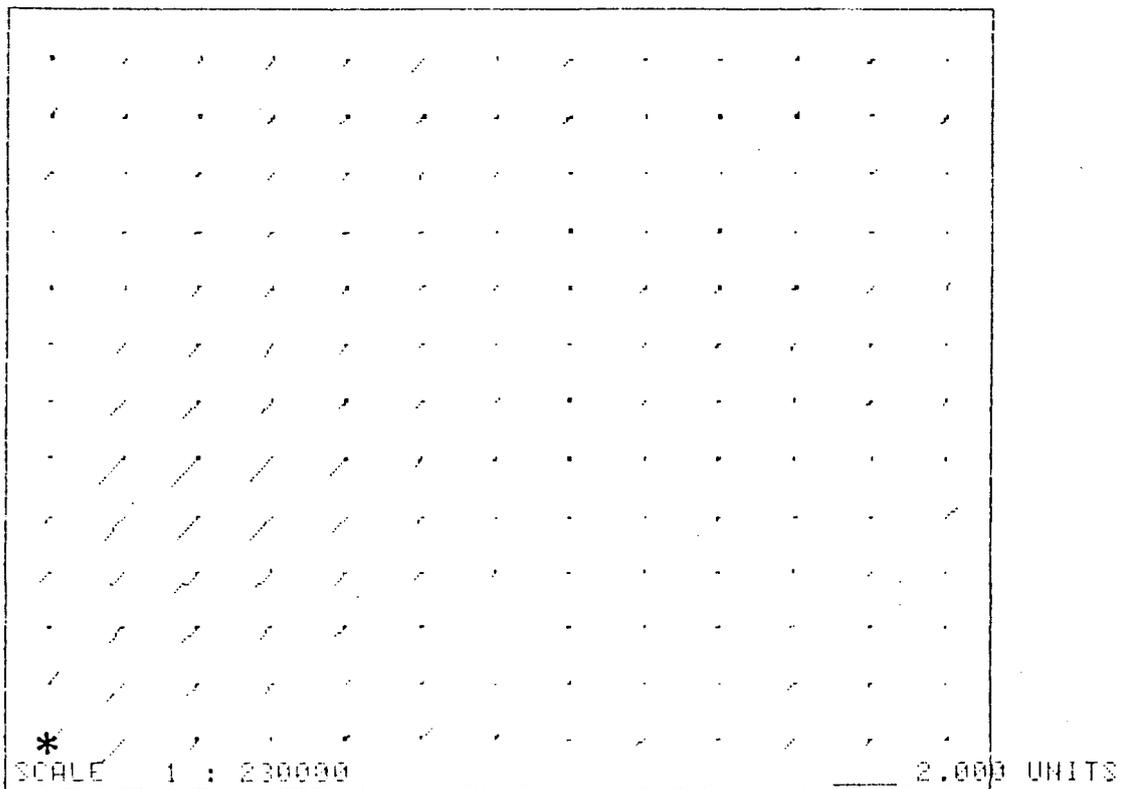
FIGURA 10. Representação gráfica dos erros em planimetria e altimetria do teste T2-2

* - ponto com **egp**

10a- planimetria



10b- altimetria



Os resultados do teste T2-2 não são confiáveis apesar de seus valores indicadores não serem muito superiores aos valores adotados como padrão.

Na figura 10 estão representados graficamente os erros nos pontos do espaço-objeto, tanto em planimetria (10a), quanto em altimetria (10b).

5.3.2.2 Testes T2-5 e T2-51

Para estes testes os erros grosseiros propositais estavam presentes em dois pontos de apoio de campo. Um dos pontos de apoio de campo afetado de erro grosseiro proposital está localizado na borda e o outro está localizado no interior do bloco.

As variâncias "a posteriori" tem valores 3,2 e 6,0 para os testes efetuados com e sem o TK, respectivamente T2-51 e T2-5 (Tabela 8).

A presença de dois pontos de apoio de campo com erros grosseiros afeta o valor da variância "a posteriori" do modo seguinte: o ponto posicionado na borda do bloco tem um número de equações menor do que o ponto do interior do bloco. Isso leva à mais fácil absorção do erro e a consequente diminuição do valor da variância; para o caso do ponto no interior do bloco, a certeza de que este ponto está afetado é maior pela existência de um maior número de pontos (equações) ao redor, que "prendem" a solução. Com isso a absorção deste erro é menor, levando a variância "a posteriori" a aumentar. A constatação disso pode ser feita observando, no apêndice A, as variâncias "a posteriori" dos testes T2-3 e T2-4 onde os pontos

de apoio de campo afetados de erro grosseiro são posicionados na borda e no interior do bloco respectivamente.

Para o caso do ajustamento com o TK (teste T2-51) a variância "a posteriori" resulta no valor 3,2 . Para o caso ideal esta variância assume o valor 2,0. Esta diferença se deve à impossibilidade da função de peso atuar eficazmente nos resíduos dos pontos vizinhos das regiões afetadas de *egp*. A resposta se acomodou mesmo em presença de erros. Isso mostra a ineficiência ou eficiência parcial da função de peso perante os dois pontos de apoio de campo afetados de erro grosseiro proposital, posicionados como no presente teste.

Os EMQA se apresentam com valores muito superiores aos valores padrão. No entanto, a presença de erros grosseiros propositais nos pontos de apoio de campo é percebida pelo aumento daqueles indicadores após o ajustamento com o uso do TK.

A presença dos erros grosseiros propositais afeta principalmente o EMQI das imagens dos pontos de apoio plani-altimétrico, uma vez que os erros grosseiros propositais estão presentes em pontos de apoio deste tipo. O maior valor de EMQI para o ajustamento sem TK vale 12,2 μm na média das direções x e y das imagens dos pontos de apoio de campo plani-altimétrico. Parte do erro altimétrico dos pontos afetados é transmitido para os pontos de apoio com função altimétrica e o EMQI para estes pontos tem valor médio de 5,1 μm . Ainda tratando-se do teste sem detecção (T2-5), os valores de EMQI dos pontos ajustados e de todos os pontos do bloco (colunas 10 e 11 respectivamente) apresentam-se maiores que o padrão com valores 2,6 e 3,6 μm respectivamente.

Quando o ajustamento é efetuado com o dispositivo de detecção (TK) os EMQI são reduzidos a valores próximos dos resultados padrão. Para os pontos de apoio altimétrico a redução é da ordem de $3,2 \mu\text{m}$; para os pontos de apoio plani-altimétrico que abrigavam os maiores valores de EMQI tem em média uma redução de $8,0 \mu\text{m}$. Os pontos ajustados (coluna 10) tem a menor média para os EMQI, $1,7 \mu\text{m}$. O EMQI de todos os pontos do bloco para o teste T2-51 (coluna 11) tem o valor médio de $1,9 \mu\text{m}$. Apesar de o EMQI para as imagens dos pontos de apoio plani-altimétrico sofrer uma redução média de $8,0 \mu\text{m}$ o seu valor final ainda é elevado (média de $4,4 \mu\text{m}$), o que mostra a absorção da influência de parte do erro proposital. Como está indicado na tabela 3 apenas o ponto 20707 foi detectado (teve seu peso reduzido) e com isso a sua influência foi reduzida. O mesmo não ocorreu ao ponto 20107, que apesar de ser afetado de erro proposital, teve sua influência apenas tenuemente reduzida e não figura entre os pontos retirados completamente do ajustamento.

No teste T2-5 os erros grosseiros propositais acarretam uma translação em planimetria nos pontos ajustados. Isso é mostrado nas colunas 12 e 13 nas médias das diferenças entre os valores de coordenadas calculadas (ajustadas) e coordenadas simuladas (reais). As médias são: $X = -1,13\text{m}$ e $Y = -1,57\text{m}$. Os desvios-padrão destes erros nestas direções reforçam a conclusão da translação planimétrica, pois resultam em valores da ordem de 74cm em X e 79cm em Y, o que pode representar um grande número de diferenças (erros) de mesmo sinal. Neste mesmo teste a influência do erro em Z não caracteriza a translação mas um conjunto de diferenças positivas e negativas que tendem a se cancelar. No entanto existem diferenças da ordem

de 2,0m pois o desvio-padrão destas diferenças resultou em 0,7 m.

As diferenças nos pontos ajustados se reduzem no teste T2-51 quando comparadas às diferenças do teste T2-5. Apesar da redução, persiste ainda uma pequena translação planimétrica caracterizada pelas médias $X = -0,6m$ e $Y = -0,7m$ com os respectivos desvios-padrão com valores 0,6 e 0,7m. Para a direção Z a média aumenta tenuemente de 7 para 12cm e o desvio-padrão diminui de 70 para 30cm. Esta redução é resultado da atuação da função de peso (TK), isso não vem significar a eficiência total do dispositivo de detecção pois o desvio-padrão permanece maior do que o valor padrão. A ordem de grandeza dos valores finais ao longo do eixo Z está ligada à grandeza do erro proposital nesta direção. Para estes testes o valor é +1m em cada um dos pontos, contra +3m de erro grosseiro proposital em X e Y.

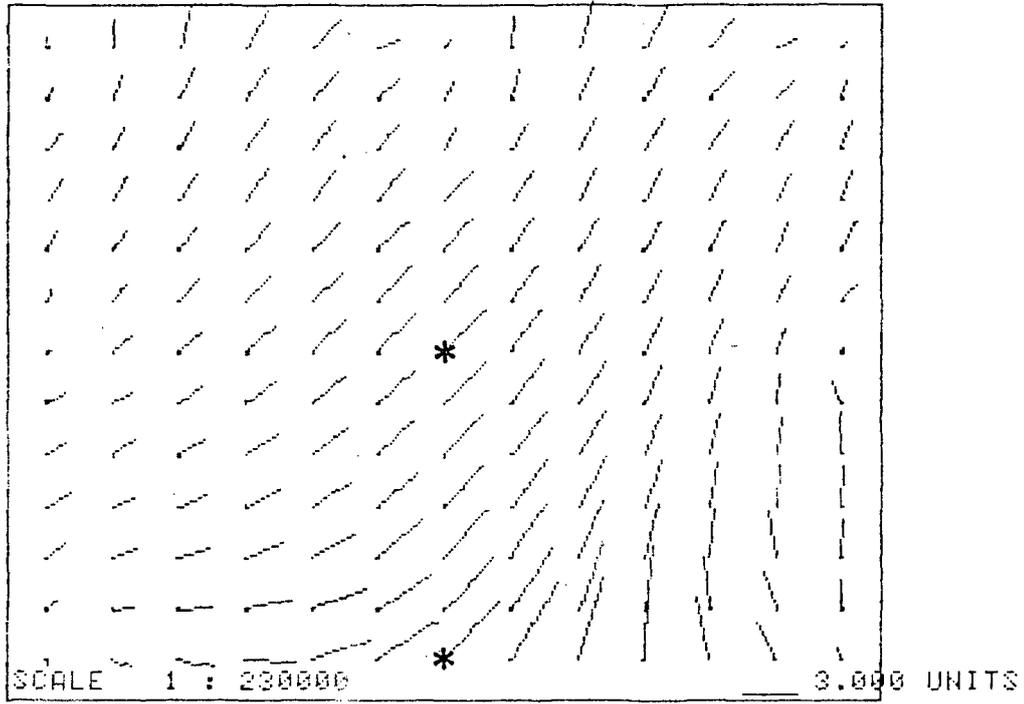
Para o teste T2-5 são notadas distâncias de até 4,3m (no espaço-objeto) nas proximidades do ponto 20107 que é ponto de borda do bloco (ver figura 11-a). Nas proximidades do ponto 20707 que é o segundo ponto de apoio afetado de erro grosseiro proposital, localizado no interior do bloco, a ordem de grandeza das diferenças é menor do que no caso anterior. A razão disso é o maior número de equações para o ponto no interior do bloco e a certeza de todo o conjunto de pontos ao seu redor.

No teste T2-51 o número de pontos com erros maior do que 1m é menor e há uma concentração destes nas regiões próximas aos pontos com erros grosseiros propositais. É constatada

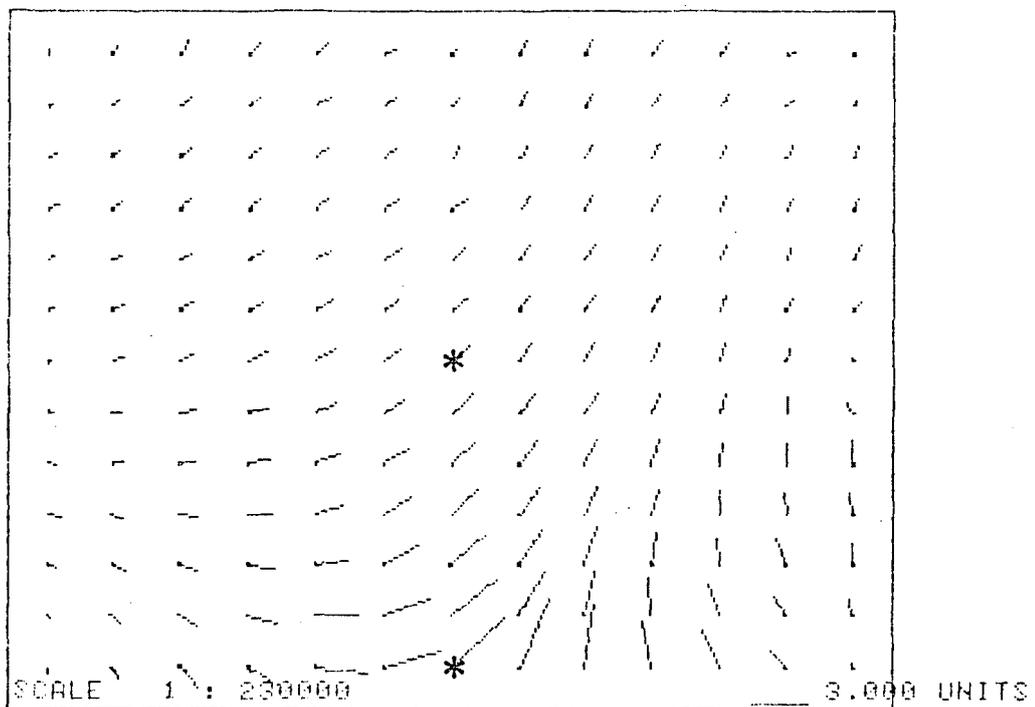
FIGURA 11. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T2-5 e T2-51

* - ponto com **egp**

11a- teste T2-5



11b- teste T2-51



a presença de muitos pontos com erros, com valores entre 1 e 3m nas proximidades do ponto 20107 e um conjunto menor de pontos com erros entre 1 e 2m na região entre os pontos 20707 e 20107. A eficiência do dispositivo de depuração (TK) mais uma vez se mostra melhor para pontos de apoio de campo afetados de erros grosseiros propositais localizados no interior do bloco.

Os erros nos pontos ajustados, destes dois testes, estão representados na figura 11.

5.3.3 Testes da Configuração 3

Para esta configuração foram efetuados apenas quatro testes com **egp** nos pontos de apoio de campo. O **egp** sempre esteve presente no mesmo ponto de apoio de campo. Este ponto afetado está localizado no canto do bloco (cf seção 4.3).

Na tabela 9 são apresentados os pesos das imagens dos pontos de apoio de campo afetados de **egp** para cada teste.

TABELA 9. Configuração 3-1 Pesos ao final do ajustamento

TESTE	PONTO	N. FOTOS	PESOS
T3-21	20101	2	não foram alterados
T3-31	20101	2	0,77781403 0,97803628

A análise deste grupo de testes se fará em duas etapas. Inicialmente os testes T3-2 e T3-21 e posteriormente os

TABELA 10. Resultados dos Testes Falhos da Configuração 3

TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMO Externo (m)			EMO Interno (μm)								Erros nos pto. ajustados (m)					
							Z		YYZ		Ajust		Todos							
		BLUH	TK	Y	Y	Z	x	y	x	y	x	y	x	y	\bar{x}	σ_x	\bar{y}	σ_y	\bar{z}	σ_z
3-2	canto	2,0	----	0,021	0,037	0,026	0,9	1,1	0,5	0,8	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,13	0,30	-0,63	0,29	-0,09	0,14
3-21	canto	2,0	2,0	0,034	0,060	0,034	1,0	1,1	0,7	0,6	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,32	0,32	-0,50	0,29	-0,08	0,17
3-3	canto	2,4	----	0,186	0,336	0,201	1,4	1,5	3,6	1,2	1,3	1,6	1,4	1,5	-1,02	0,99	-1,26	0,95	-0,16	0,24
3-31	canto	2,4	2,4	0,268	0,378	0,235	1,3	1,3	4,1	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	-0,71	1,01	-1,51	0,95	-0,14	0,24

testes T3-3 e T3-31. Apenas para o teste T3-31 não houve falha na detecção segundo o critério adotado. Os resultados numéricos usados nesta análise encontram-se na tabela 10.

5.3.3.1 Testes T3-2 e T3-21

A falha na detecção ocorrida nos ajustamentos dos testes T3-2 e T3-21 pode ser devida à ordem de grandeza do erro introduzido. Com efeito, o erro introduzido em um dos pontos de apoio de campo é de 1 m em X, 1 m em Y e 0 m em Z, o que pode não caracterizar um erro grosseiro.

As variâncias "a posteriori" para estes dois testes são iguais às variâncias dos testes padrão. Os erros médios quadráticos dos pontos de apoio de campo situam-se entre 2 e 6 cm, valores inferiores ao valor adotado como padrão (8 cm). O comportamento do erro médio quadrático interno é semelhante ao comportamento deste estimador para o caso dos testes padrão, ou seja, tem valor médio de 1,3 μm .

Como se verifica pela tabela 5 não houve pontos com peso reduzido, o que mostra a absorção total do erro, mesmo no caso do uso do TK.

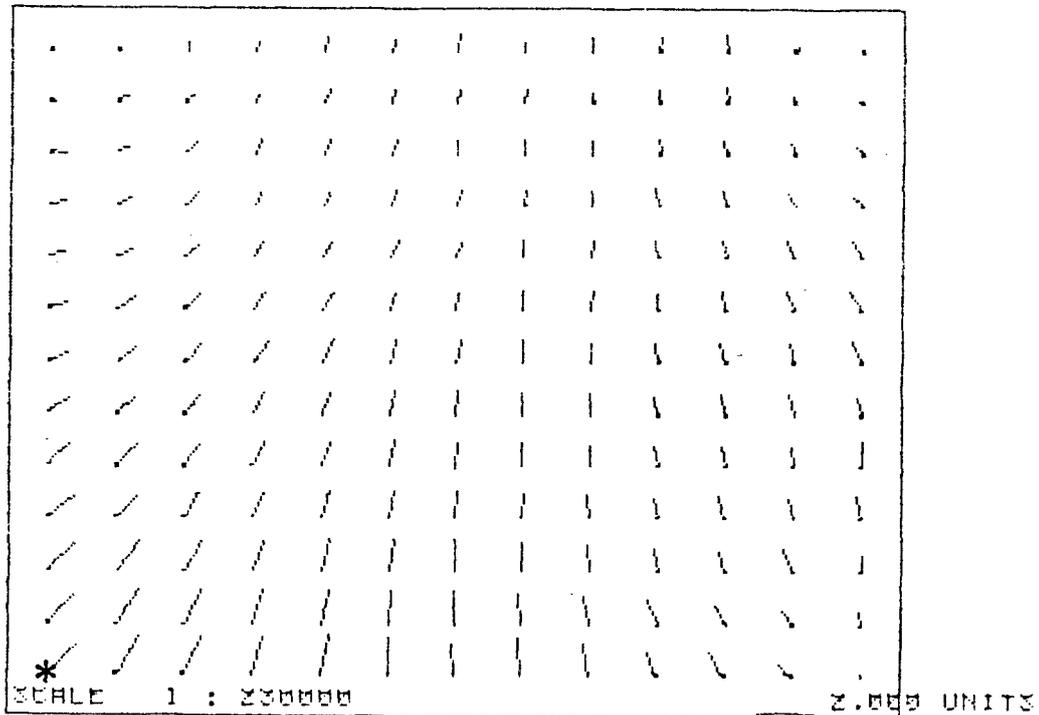
A estatística dos erros nos pontos de apoio de campo evidencia pequenas translações planimétricas com médias entre 15 e 60 cm e desvios padrão em torno de 30 cm. Para a direção Z, os erros se mantêm próximos dos seguintes valores: média 9 cm e desvio-padrão 16 cm.

Para estes dois testes, apesar dos indicativos do programa se apresentarem semelhantes aos valores padrão, a estatística dos erros nos pontos ajustados indica que existem

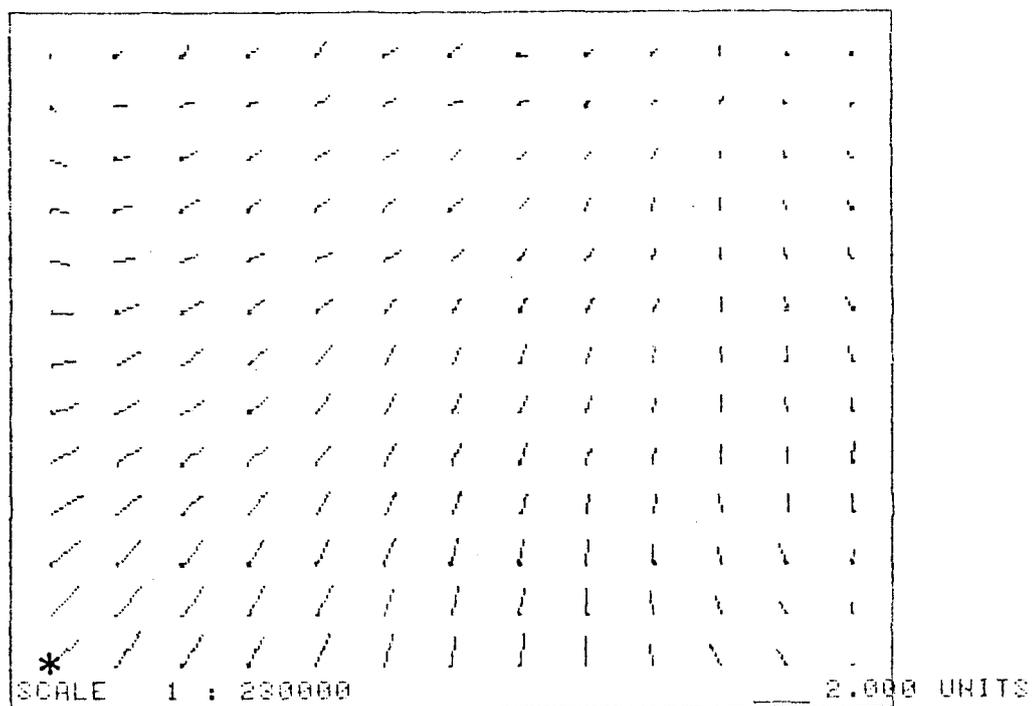
FIGURA 12. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T3-2 e T3-21

* - ponto com egp

12a- teste T3-2



12b- teste T3-21



erros em planimetria de até 1,8 m e que também a atuação do Teste de KRARUP nesta situação não melhora a solução do ajustamento. As figuras 12a e 12b são as representações dos erros em todos os pontos do espaço-objeto para os testes respectivamente sem e com TK.

5.3.3.2 Testes T3-3 e T3-31

A variância "a posteriori" para estes dois testes é ligeiramente superior (2,4) ao padrão adotado (2,0). No entanto não se alterou no valor do teste T3-3 para o teste T3-31, este último efetuado com a opção TK.

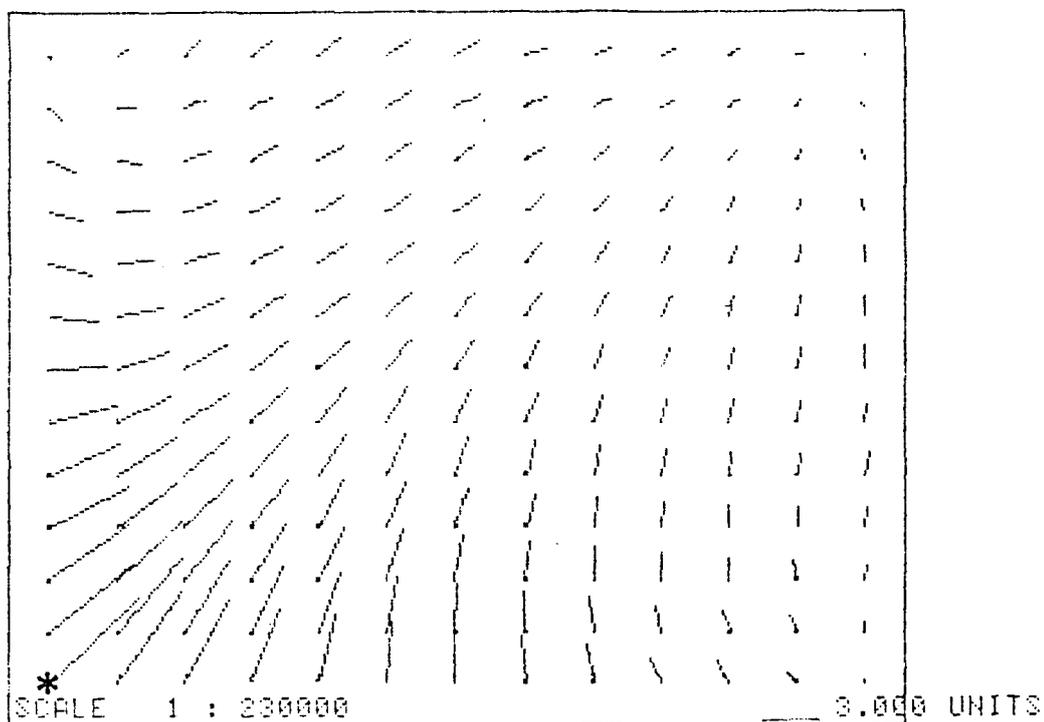
Os erros médios quadráticos dos pontos de apoio de campo apresentam-se com valores oscilando entre 18 e 35 cm para o teste T3-3 e com valores entre 24 e 38 cm para o teste T3-31. Houve, portanto, aumento do valor do erro médio quadrático dos pontos de apoio mostrando semelhança com os casos da configuração 1. No entanto, os erros médios quadráticos internos aumentam do teste T3-3 para o teste T3-31, o que mostra a ineficiência do TK em presença de egp em um conjunto de pontos de apoio de densidade rarefeita, como é o caso desta configuração.

Novamente a estatística de erros nos pontos ajustados demonstra a ineficiência do TK, pois as variações ocorridas tanto nas médias quanto nos desvios-padrão são insignificantes. Desse modo após o ajustamento com TK as médias continuam indicando translação e os desvios-padrão se mantêm elevados (em planimetria da ordem de 97 cm).

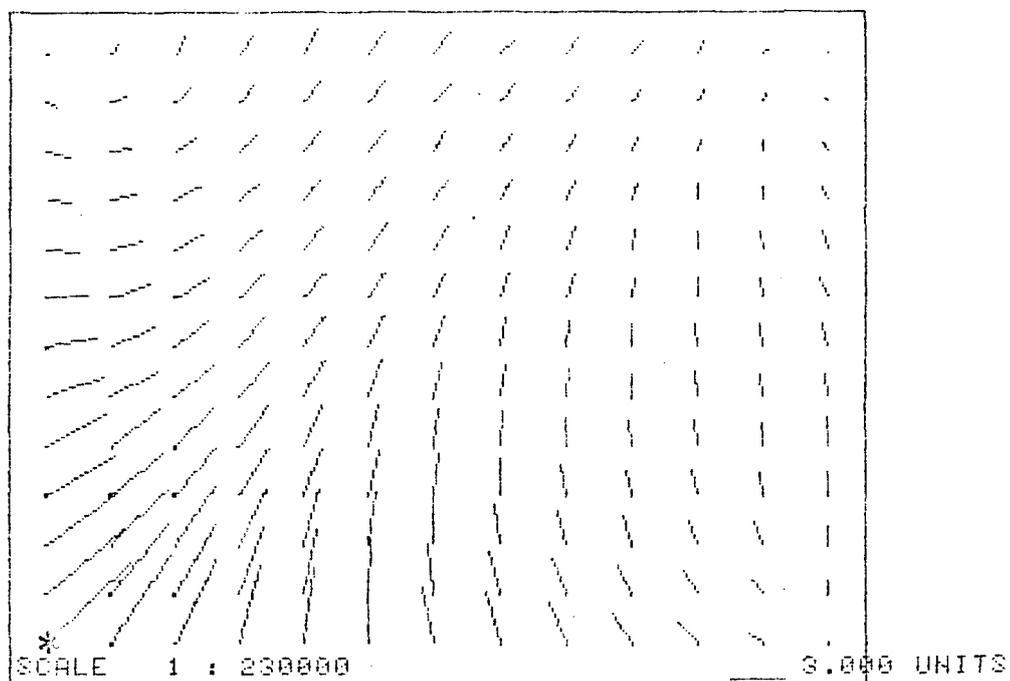
FIGURA 13. Representação gráfica dos erros em planimetria dos testes T3-3 e T3-31

* - ponto com **egp**

13a- teste T3-3



13b- teste T3-31



Pode-se observar a existência de erros nos pontos ajustados mesmo com a aplicação do TK (figura 13).

O peso das duas imagens do ponto de apoio de campo afetado de *egp*, como se comprova pela tabela 9, continua elevado indicando forte influência no ajustamento, se for levado em consideração que o apoio de campo plani-altimétrico é composto de 4 pontos apenas.

5.3.4 Testes da Configuração 4

Os testes desta configuração serão analisados em conjunto, visto terem a mesma tendência. A tabela 12 mostra os resultados que serão analisados.

A tabela 11, abaixo, mostra os pesos das fotocoordenadas, as quais são imagens de pontos de apoio de campo afetados de erro grosseiro proposital (*egp*) para cada foto onde aparecem, em cada teste desta configuração.

As variâncias "a posteriori" para todos os ajustamentos diminuem quando o TK é aplicado ao ajustamento. Entretanto esta redução não chega a levar a variância aos níveis do padrão.

A redução da variância "a posteriori" sugere o isolamento do erro. No entanto, o isolamento do erro só é completo quando o peso de todas as fotocoordenadas daquele ponto de apoio de campo tem seu peso tornado quase zero ($1E-08$). Isso ocorreu para o teste T4-51 para o ponto 20108 localizado na borda do bloco (ver tabela 11). Ou seja, somente no caso do ponto 20108 é que a influência do *egp* foi completamente eliminada. Para os testes T4-21, T4-31 e T4-51 o peso das fotocoor-

denadas imagens de pontos de apoio de campo afetados de egp foi reduzido mas não completamente anulado ($1E-08$). Isso leva as imagens restantes a influirem na solução do ajustamento.

TABELA 11. Configuração 4 - Pesos ao final do ajustamento

TESTE	PONTO	N. FOTOS	PESOS
T4-21	20302	6	0,98013902 ; 0,79582012 0,95048344 ; 0,04403768 0,10205239 ; 0,93275464
T4-31	21111	6	0,65531003 ; 0,78370988 0,90750766 ; 0,99982238 0,96223884 ; 0,95903754
T4-41	20108	3	0,00000001 0,00007262 0,97703908
T4-51	20108	3	0,00000001 0,00000001 0,66122222
	21103	6	0,97410381 ; 0,04133490 0,00000405 ; 0,00000119 0,79661536 ; 0,00000000

O erro médio quadrático dos pontos de apoio de campo aumenta em todos os testes em questão (configuração 4). O caso de consequências mais graves é o do teste T4-21, onde o erro médio quadrático para pontos de apoio de campo altimétrico apresenta o valor de 3 m. Este indicador quantitativo do pro-

TABELA 12. Resultados dos Testes Falhos da Configuração 4

TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMO Externo (m)			EMO Interno (μm)								Erros nos pto. ajustados(m)					
		BLUH	TK	Y	Y	Z	Z		YYZ		Ajust		Todos		\bar{y}	σ_x	\bar{y}	σ_y	\bar{z}	σ_z
							x	y	x	y	x	y	x	y						
4-2	interior	5,4	-----	0,236	0,261	0,070	3,6	1,1	6,8	7,9	2,8	2,7	3,2	3,2	-0,38	0,78	-0,31	0,91	-0,27	0,60
4-21	interior	5,4	3,0	0,615	0,855	3,026	1,9	1,5	2,1	1,7	1,8	1,9	1,8	1,9	-0,29	0,86	-0,39	1,00	0,12	0,67
4-3	interior	3,1	-----	0,112	0,117	0,043	1,5	1,3	3,5	3,6	1,6	1,8	1,8	1,9	-0,15	0,43	0,31	0,73	-0,13	0,43
4-31	interior	3,1	2,8	0,183	0,165	0,126	1,4	1,1	4,0	3,6	1,4	1,6	1,7	1,8	-0,12	0,45	0,32	0,74	-0,14	0,42
4-5	bor/int	8,7	-----	0,436	0,359	0,233	4,3	3,7	11,7	11,7	4,2	4,9	4,9	5,5	-0,76	2,14	0,81	1,62	0,01	1,16
4-51	bor/int	8,7	3,5	0,517	0,692	1,058	2,1	1,0	2,6	2,2	1,6	2,2	1,7	2,2	-0,59	2,05	0,58	1,55	0,39	0,80

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

grama induz à conclusão de que existem erros em altimetria nos pontos de apoio de campo, o que não é verdadeiro pois o **egp** está localizado em ponto com função planimétrica.

Todos os erros médios quadráticos dos pontos de apoio de campo são superiores ao valor padrão.

O erro médio quadrático interno apresenta comportamento semelhante ao dos testes anteriores, diminui com a aplicação do TK. Apresenta valores pouco superiores ao valor padrão.

A estatística dos erros nos pontos ajustados mostra que é muito baixa a eficiência do TK nas condições dos testes. Os desvios-padrão aumentam e as médias diminuem tenuemente.

A absorção dos erros é maior quando existem pontos, a calcular, localizados na área de extrapolação.

No teste T4-51 os pontos 20701 e 21207, que são pontos de apoio plani-altimétrico, foram retirados do ajustamento sem terem sido afetados de **egp**. Esta falha é devida à geometria da distribuição e ao número de pontos de apoio de campo, fatores estes que permitem extrapolação enfraquecendo a rigidez do bloco.

Constatou-se na listagem de saída do programa BLUH que ocorreu retirada indevida de pontos de apoio de campo no teste T4-21, onde o ponto 20107 foi completamente retirado do ajustamento, ficando suas fotocoordenadas com peso $1E-08$, e o ponto 20205 que foi parcialmente retirado. Ambos são pontos de apoio de campo e isentos de **egp**. A causa disso é a fraca geometria do apoio de campo. Se aceita a resposta do programa, o operador no processamento seguinte retiraria os pontos em questão e enfraqueceria ainda mais a geometria do apoio de

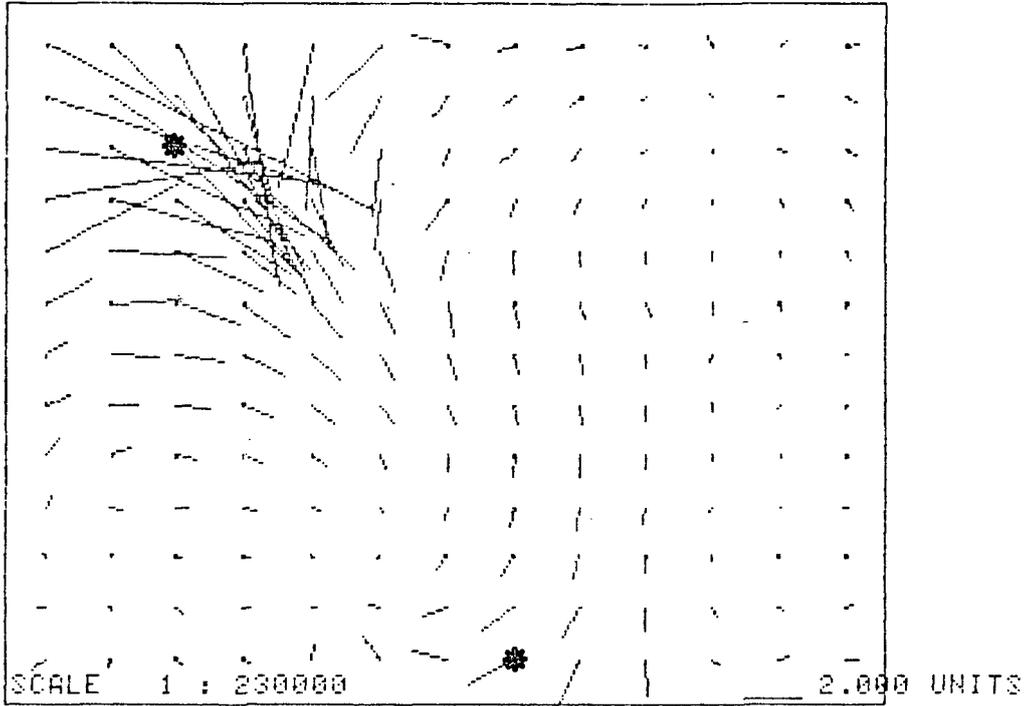
campo. Como consequência observa-se a não eficácia do TK em distribuições de pontos de apoio de campo deficientes ou irregulares.

Nas figuras 14 e 15 estão ilustrados os casos mais críticos da configuração 4, onde o erro remanescente é relevante.

FIGURA 14. Representação grãfica dos erros em planimetria e altimetria do teste T4-5

* - ponto com egp

14a- planimetria



14b- altimetria

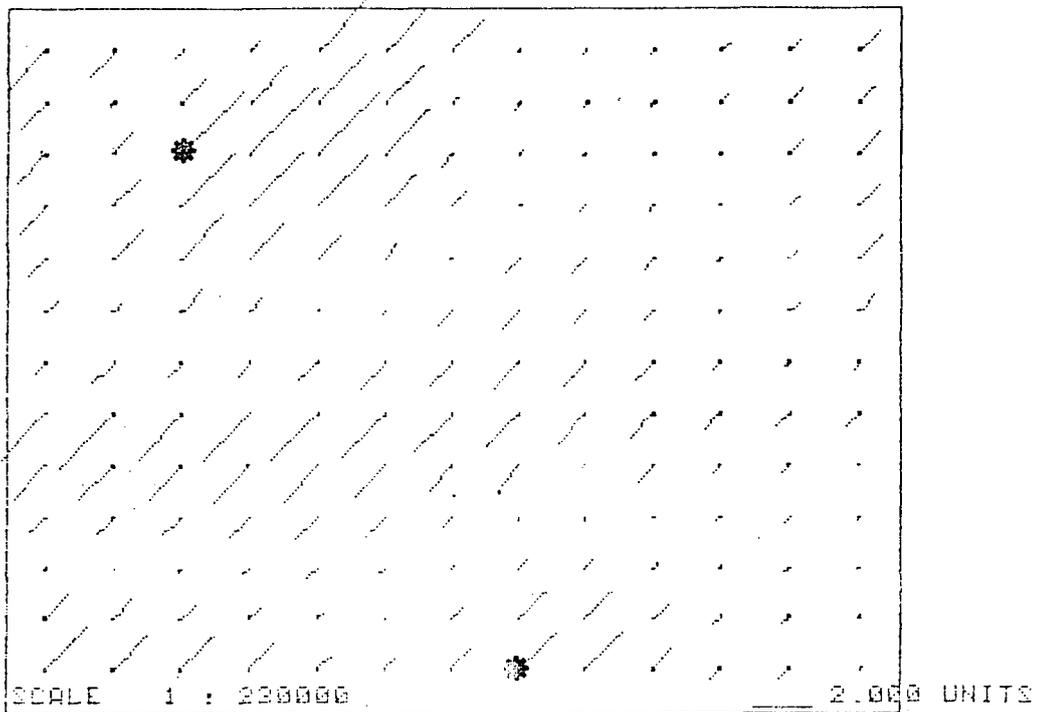
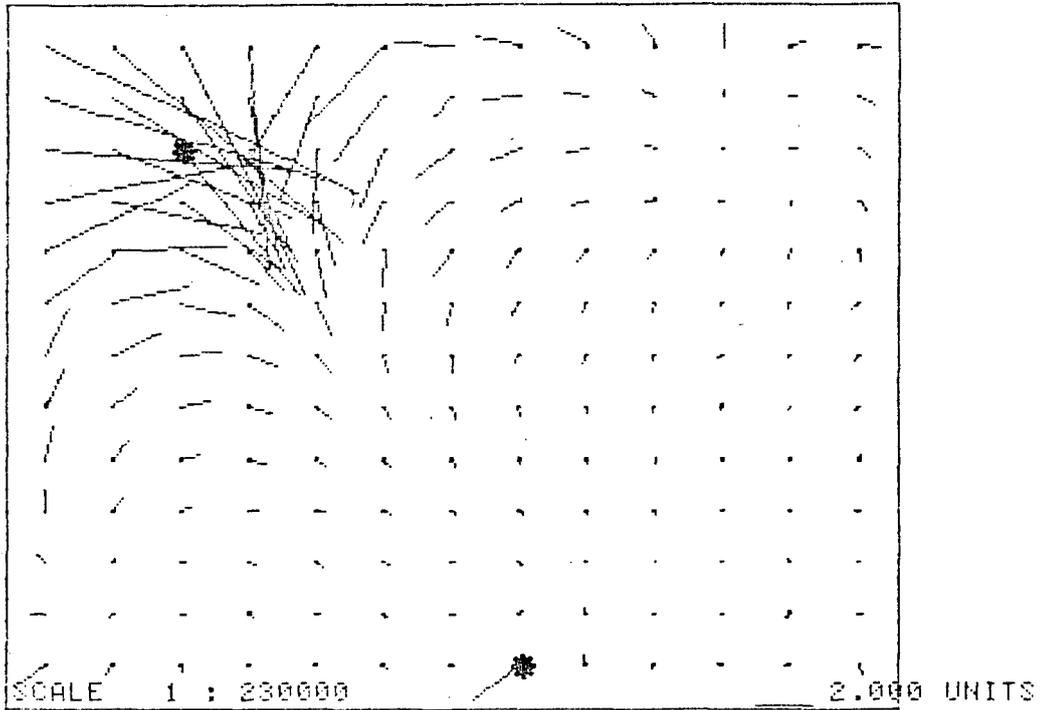


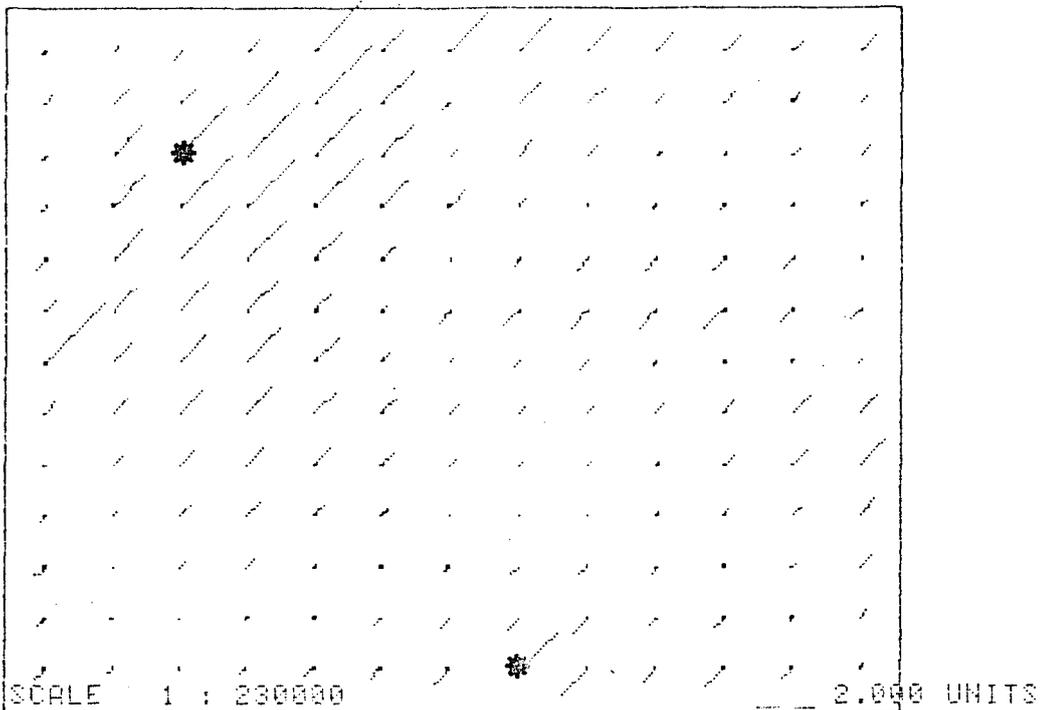
FIGURA 15. Representação gráfica dos erros em planimetria a altimetria do teste T4-51

* - ponto com **egp**

15a- planimetria



15b- altimetria



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise dos resultados dos ajustamentos simultâneos efetuada no Capítulo 5 chegou-se às seguintes conclusões e recomendações.

6.1 Conclusões

1- para o caso de uma configuração regular densa de pontos de apoio de campo, um erro no ponto de apoio de campo é mais facilmente detectado do que no caso de uma configuração regular rarefeita. (cf. tabela 4).

2- os resultados da Fotoriangulação de blocos fotogramétricos regulares com configuração de pontos de apoio regular são mais confiáveis do que blocos regulares com configuração de pontos de apoio irregular.

3- quanto maior o número de pontos de apoio e melhor a sua distribuição ao redor do ponto de apoio de campo afetado de **egp** mais eficiente será a depuração. Em outras palavras, a 'certeza' de que um determinado ponto abriga erro grosseiro é maior quando o ponto detectado se localiza no interior do bloco, preferivelmente a um ponto localizado na borda ou no canto

do bloco.

4- para o caso do Sistema de Programas BLUH, o cálculo do erro médio quadrático dos pontos de apoio de campo sempre leva em consideração todos os pontos do espaço-objeto fornecidos como apoio de campo. Neste caso o erro médio quadrático será maior quando houver um ponto afetado de *egp* no interior do bloco relativamente a um erro médio quadrático de um ajustamento onde o erro estiver presente em ponto de apoio de borda ou canto do bloco. (cf. item 5.3.1 e tabela 13).

5- quando do ajustamento com TK e em presença de *egp*, o ponto detectado (suspeito de abrigar *egp*) não é retirado do cálculo do erro médio quadrático dos pontos de apoio de campo.

6- em presença de *egp* o TK atua no ajustamento produzindo redução do valor da variância "a posteriori", quando comparada ao mesmo ajustamento sem o TK. (cf. tabelas 8, 10, 12 e 13).

7- a análise do erro médio quadrático das fotocoordenadas separadas por função (planimétrica, altimétrica, etc) pode facilitar a percepção de erros.

8- a existência de extrapolação dificulta a pesquisa de erros grosseiros e leva a soluções não confiáveis.

9- os erros que por ventura existam em blocos fotogramétricos onde haja extrapolação são absorvidos mais facilmente.

6.2 Recomendações

O trabalho com o Sistema de Programas BLUH não foi esgotado. Existem, ainda, muitas possibilidades de processamento e de arranjos de blocos fotogramétricos. O próprio sistema de programas proporciona muita escolha e externamente ao

sistema de programas existem muitas variáveis caracterizadoras dos blocos fotogramétricos que podem ser testadas.

Dentre as recomendações cabíveis destacam-se as seguintes:

1- testar a opção de Parâmetros Adicionais (parametrização de efeitos sistemáticos) ;

2- testar o funcionamento do Teste de BAARDA nas diversas situações em que é utilizado pelo programa BLOR;

3- efetuar ajustamentos onde os coeficientes das funções de peso do Teste de KRARUP sejam diferentes da opção padrão;

4- efetuar ajustamentos onde os pesos de grupos particulares de observações sejam diferenciados

5- simular blocos fotogramétricos mais e menos densos e em outras escalas que não a estudada;

6- introduzir erro grosseiro proposital em vários pontos de apoio de campo; e

7- estudar e avaliar o desempenho do programa de análise e plotagem.

Quanto aos procedimentos de fotogrametria recomenda-se o seguinte:

1- se possível, sempre procurar a regularidade na forma dos blocos fotogramétrico de trabalho;

2- utilizar, se possível, pontos de apoio de campo pré-sinalizados para que se reduzam os riscos de erros de indentificação;

3- definir o apoio de campo de modo a facilitar o funcionamento dos dispositivos de detecção; e

4- quando as imagens dos pontos tiverem que ser perfuradas, efetuar a perfuração em apenas uma das imagens.

APÊNDICE A

No apêndice A estão reunidas as tabelas com os resultados numéricos de todos os testes onde havia egp nos pontos do espaço-objeto.

TABELA 13. Resultados de Todos os Testes da Configuração 1

TESTE	Posição do e. q.	Variâncias		EMQ Externo (m)			EMQ Interno (μm)								Erros nos ptos. ajustados (m)					
		BLUH	TK	X	Y	Z	Z		YYZ		Ajust		Todos		\bar{x}	σ_x	\bar{y}	σ_y	\bar{z}	σ_z
							x	y	x	y	x	y	x	y						
1-2	canto	3,4	----	0,089	0,184	0,150	2,5	2,2	4,3	4,0	1,6	2,2	1,9	2,3	-0,23	0,55	0,14	0,43	-0,13	0,30
1-21	canto	3,4	2,5	0,119	0,086	0,083	1,9	1,4	2,2	2,5	1,3	1,6	1,5	1,6	-0,16	0,44	0,01	0,33	-0,16	0,49
1-3	borda	9,3	----	0,436	0,604	0,394	6,6	5,0	15,9	15,0	3,9	5,3	5,4	6,0	-0,74	1,16	-0,32	1,16	0,13	0,71
1-31	borda	9,3	5,5	2,538	0,594	0,944	1,2	1,0	1,7	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1-4	interior	15,4	----	1,165	0,849	0,386	13,1	12,3	38,0	24,8	5,2	5,9	10,4	8,4	-1,09	0,72	-1,05	0,63	-0,17	0,83
1-41	interior	15,4	2,1	2,486	1,559	0,075	1,3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,01	0,07	0,01	0,08	-0,02	0,11
1-5	interior	7,5	----	0,033	0,047	1,046	8,7	3,3	25,1	1,2	1,4	1,5	6,2	1,8	0,01	0,10	0,02	0,07	-0,01	0,12
1-51	interior	7,5	2,0	0,034	0,047	3,277	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	1,3	0,00	0,07	0,01	0,07	-0,02	0,12

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

TABELA 14. Resultados de Todos os Testes da Configuração 2

TESTE	Posição do e. q.	Variâncias		EMQ Externo. (m)			EMQ Interno (μm)								Erros nos ptos. ajustados (m)					
							Z		YYZ		Ajust		Todos							
		BLUH	TK	X	Y	Z	x	y	x	y	x	y	x	y	\bar{y}	σ_x	\bar{y}	σ_y	Z	σ_z
2-2	canto	3,8	----	0,183	0,217	0,142	2,7	2,2	4,6	4,0	1,9	2,4	2,2	2,5	-0,23	0,60	-0,33	0,65	-0,19	0,29
2-21	canto	3,8	2,8	0,098	0,073	0,080	2,1	1,5	2,6	2,2	1,4	1,8	1,5	1,7	-0,10	0,38	-0,14	0,44	-0,02	0,36
2-3	borda	5,5	-----	0,282	0,416	0,241	4,2	3,0	10,0	9,1	2,6	3,1	3,3	3,4	-0,59	1,02	-0,47	1,18	0,09	0,41
2-31	borda	5,5	2,8	-----	-----	-----	2,5	2,0	3,2	2,7	1,5	1,8	1,6	1,8	-0,41	0,49	-0,22	0,58	0,08	0,28
2-4	interior	6,8	----	0,459	0,542	0,379	6,1	5,7	16,4	13,7	2,6	2,9	4,2	4,0	-0,79	0,34	-1,32	0,32	-0,10	0,69
2-41	interior	6,8	2,0	1,112	1,111	0,320	0,9	1,1	1,0	0,9	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,03	0,09	-0,06	0,09	-0,07	0,12
2-5	bor/int	6,0	----	0,361	0,496	0,382	5,4	4,8	13,3	11,1	2,5	2,8	3,7	3,6	-1,13	0,74	-1,57	0,79	0,07	0,66
2-51	bor/int	6,0	3,2	0,842	0,876	0,371	2,1	1,6	4,7	4,0	1,6	1,9	1,8	2,0	-0,62	0,59	-0,66	0,68	0,12	0,30

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

TABELA 15. Resultados de Todos os Testes da Configuração 3

TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMQ Externo (m)			EMQ Interno (µm)								Erros nos pto. ajustados (m)					
		BLUH	TK	Y	Y	Z	Z		YYZ		Ajust		Todos		x̄	σx	ȳ	σy	z̄	σz
							x	y	x	y	x	y	x	y						
3-2	canto	2,0	----	0,021	0,037	0,026	0,9	1,1	0,5	0,8	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,13	0,30	-0,63	0,29	-0,09	0,14
3-21	canto	2,0	2,0	0,034	0,060	0,034	1,0	1,1	0,7	0,6	1,1	1,3	1,1	1,3	-0,32	0,32	-0,50	0,29	-0,08	0,17
3-3	canto	2,4	----	0,186	0,336	0,201	1,4	1,5	3,6	1,2	1,3	1,6	1,4	1,5	-1,02	0,99	-1,26	0,95	-0,16	0,24
3-31	canto	2,4	2,4	0,268	0,378	0,235	1,3	1,3	4,1	1,5	1,3	1,5	1,4	1,5	-0,71	1,01	-1,51	0,95	-0,14	0,24

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

TABELA 16. Resultados de Todos os Testes da Configuração 4

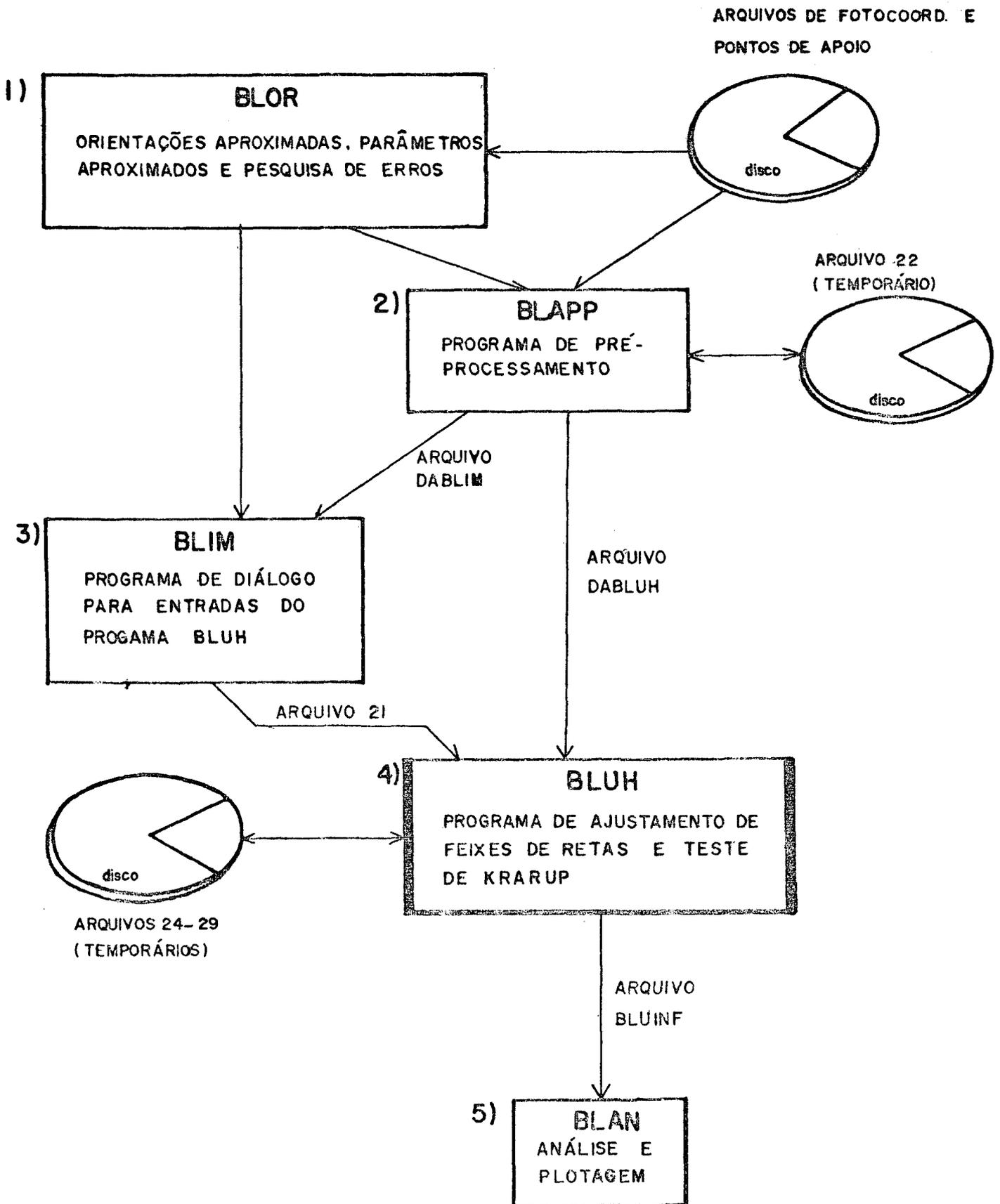
TESTE	Posição do e. g.	Variâncias		EMQ Externo (m)			EMQ Interno (μm)						Erros nos ptos. ajustados (m)							
		BLUH	TK	X	Y	Z	Z		YYZ		Ajust		Todos		\bar{X}	σ_x	Y	σ_y	Z	σ_z
							x	y	x	y	x	y	x	y						
4-2	interior	5,4	----	0,236	0,261	0,070	3,6	1,1	6,8	7,9	2,8	2,7	3,2	3,2	-0,38	0,78	-0,31	0,91	-0,27	0,60
4-21	interior	5,4	3,0	0,615	0,855	3,026	1,9	1,5	2,1	1,7	1,8	1,9	1,8	1,9	-0,29	0,86	-0,39	1,00	0,12	0,67
4-3	interior	3,1	----	0,112	0,117	0,043	1,5	1,3	3,5	3,6	1,6	1,8	1,8	1,9	-0,15	0,43	0,31	0,73	-0,13	0,43
4-31	interior	3,1	2,8	0,183	0,165	0,126	1,4	1,1	4,0	3,6	1,4	1,6	1,7	1,8	-0,12	0,45	0,32	0,74	-0,14	0,42
4-4	borda	3,2	----	0,138	0,136	0,115	3,1	2,7	4,1	3,9	1,6	1,8	1,8	2,0	0,14	0,25	0,05	0,23	-0,04	0,52
4-41	borda	3,2	2,2	-----	-----	-----	1,6	0,8	1,7	1,3	1,1	1,3	1,2	1,3	-0,03	0,08	-0,05	0,10	0,01	0,22
4-5	bor/int	8,7	----	0,436	0,359	0,233	4,3	3,7	11,7	11,7	4,2	4,9	4,9	5,5	-0,76	2,41	0,81	1,62	0,01	1,16
4-51	bor/int	8,7	3,5	0,517	0,692	1,058	2,1	1,0	2,6	2,2	1,6	2,2	1,7	2,2	-0,59	2,05	0,58	1,55	0,39	0,80

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

APÊNDICE B

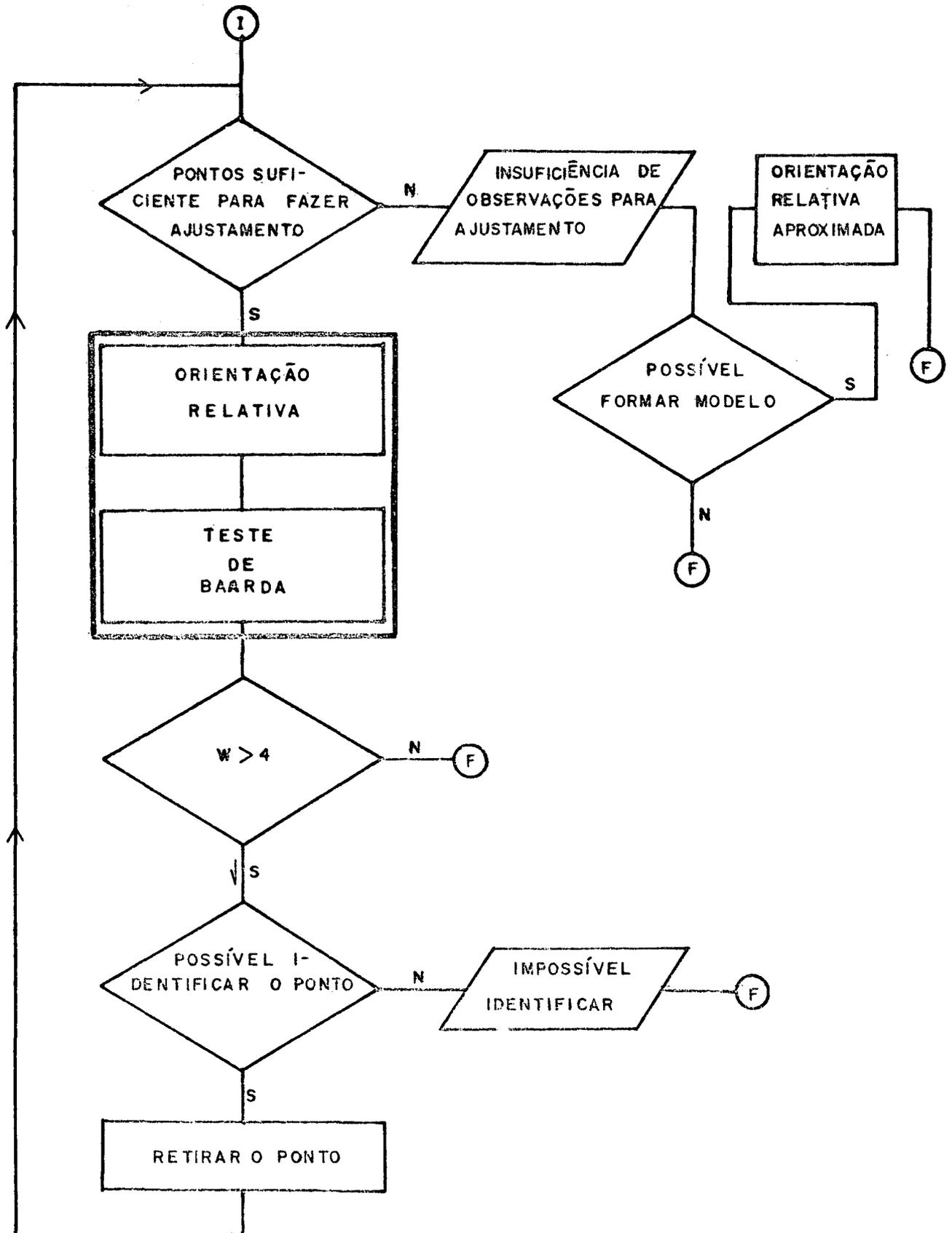
Neste apêndice estão reunidas as figuras citadas no Capítulo 3.

FIGURA 16, Estrutura e Ordem de Processamento do SISTEMA DE PROGRAMAS BLUH



OBS: 1, 2, 3, 4 E 5 REPRESENTAM A ORDEM DE EXECUÇÃO DOS PROGRAMAS

FIGURA 17. Fluxograma da Etapa de Pesquisa de Erros por Orientação Relativa Analítica e Teste de BAARDA



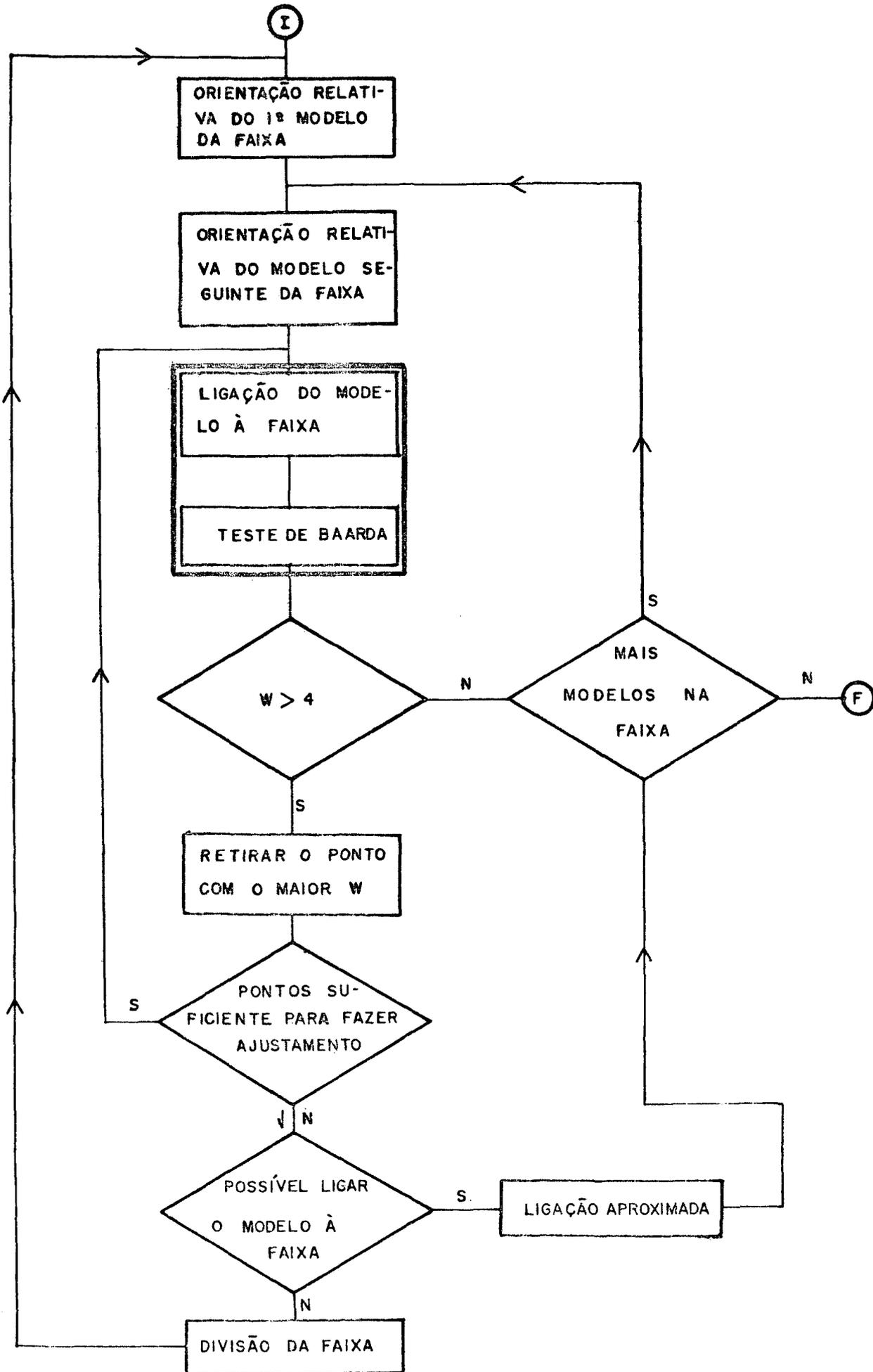


FIGURA 10. Fluxograma da Etapa de Ligação de Faixas Adjacentes

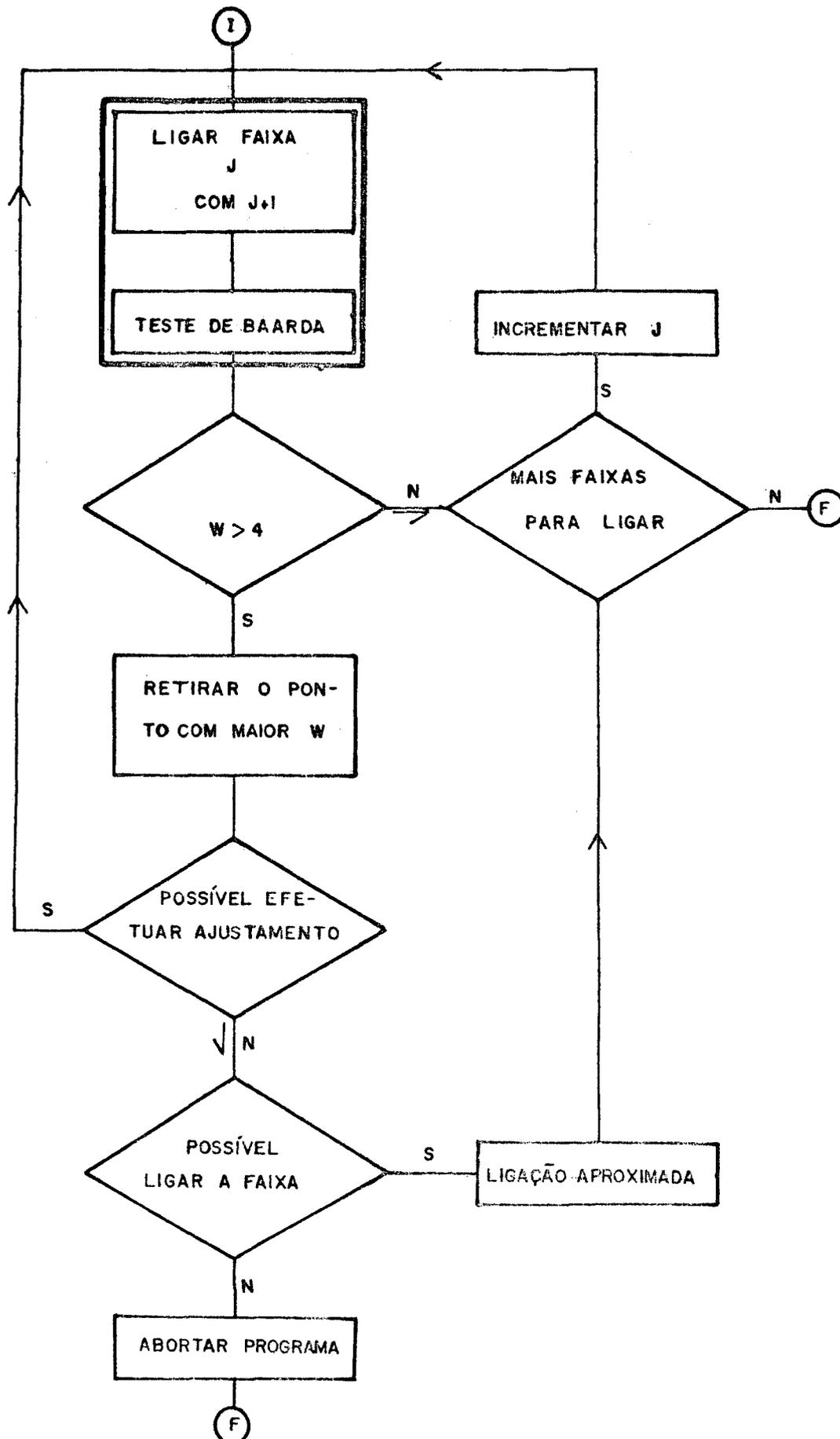


FIGURA 20. Fluxograma das Etapas de Transformação Horizontal Aproximada e Cálculo dos Parâmetros Aproximados de Orientação Exterior

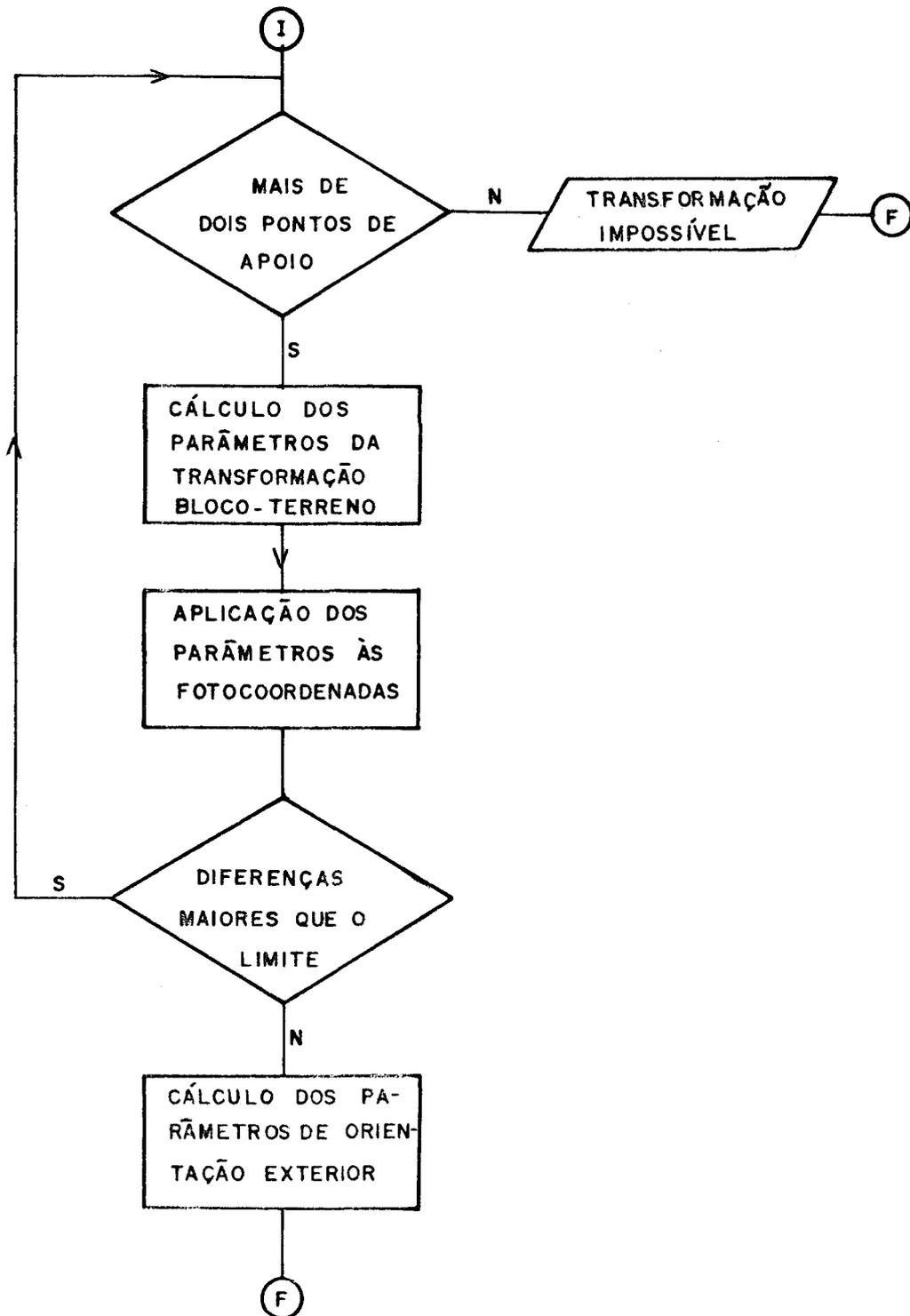
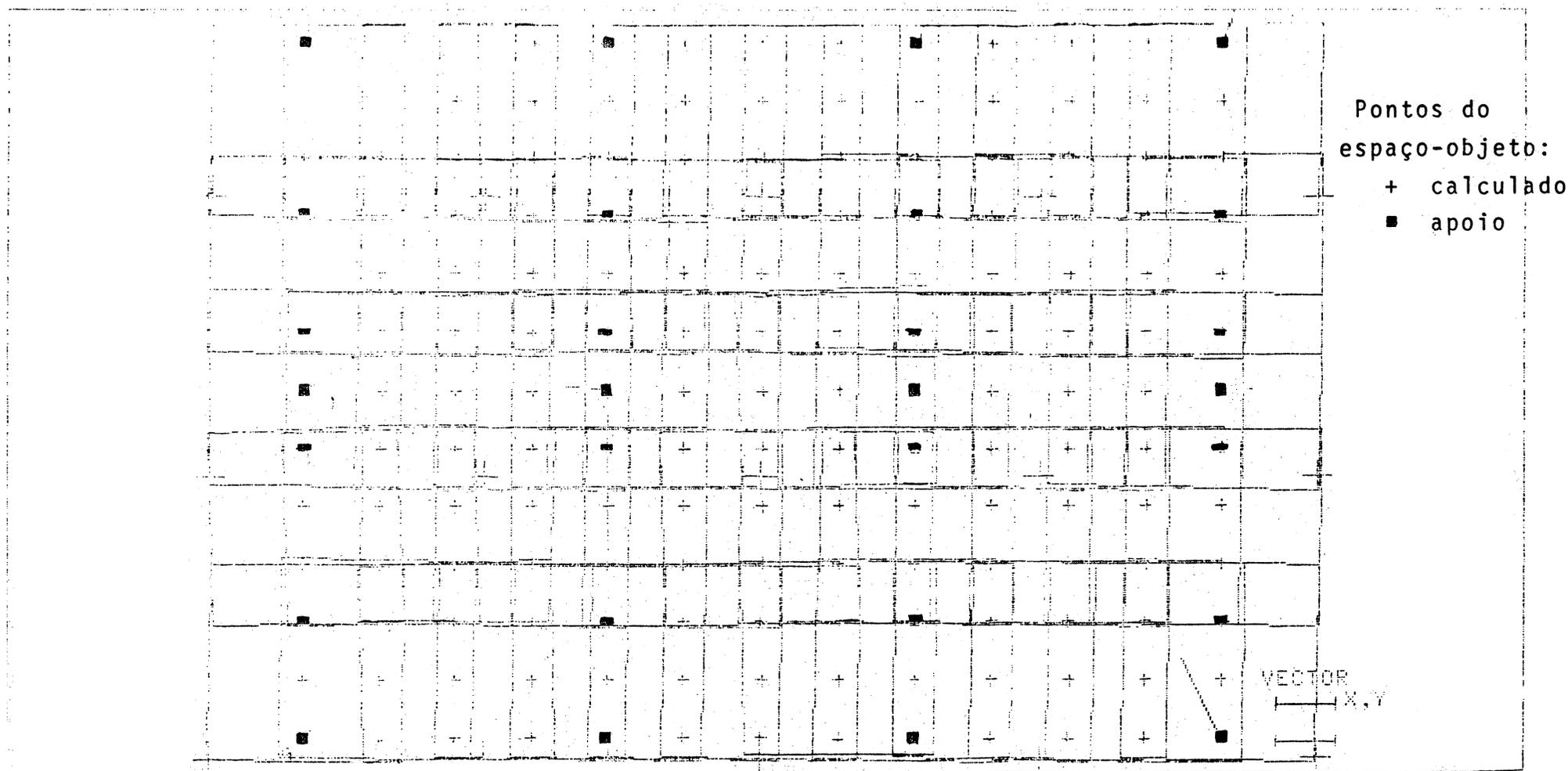


FIGURA 21. Representação Linear do Bloco de Fotografias com Pontos de Terreno (apoio e a calcular) e Projeção das Fotografias



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ ACKERMANN, F.E. Block adjustment with additional parameters
In : INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE
SENSING, 14., Hamburg, 1980. International Archives...
Hamburg, International Society of Photogrammetry and Re-
mote Sensing, 1980. v.23, t.B3, p.1-11.
- /2/ _____. Report of working group III/1: identification and
elimination of gross and systematic errors. In: SYM-
POSIUM MATHEMATICAL MODELS, ACCURACY ASPECTS AND QUA-
LITY CONTROL, Otaniemi, 1982. Proceedings... Otaniemi,
Helsinki University of Technology, 1982. p.9-12.
- /3/ ANDRADE, J.B. Photogrammetric Refraction. Ohio, The Ohio
State University, 1977. 117p Tese de Doutorado.
- /4/ AYENI, O.O. Phototriangulation : a review and bibliograp-
hy. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,
48(11): 1733-1759, november 1982.
- /5/ Directions for the use of Program System BLUM. Version 3.
Hannover, june 1984.
- /6/ EL-HAKIM, S.F. Data snooping with weighted observations;
discussion. In: SYMPOSIUM MATHEMATICAL MODELS, ACCURACY
ASPECTS AND QUALITY CONTROL, Otaniemi, 1982. Supplement
of Proceedings... Otaniemi, Helsinki University of Tech-
nology, 1982. p.36-9.
- /7/ _____. Quality control for NRC on-line triangulation. In :
SYMPOSIUM MATHEMATICAL MODELS, ACCURACY ASPECTS AND
QUALITY CONTROL, Otaniemi, 1982. Proceedings... Otani-
emi University of Technology, 1982. p.134-45.
- /8/ EL-HAKIM, S.F.&ZIEMANN, H. A step-by-step strategy for
gross error detection. In: SYMPOSIUM MATHEMATICAL MO-
DELS, ACCURACY ASPECTS AND QUALITY CONTROL, Helsinki,
1982. Proceedings...Otaniemi, Helsinki University of
Technology, 1982. p.145-53.
- /9/ FORSTNER, W. The theoretical reliability of photogramme-
tric coordinates. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTO-
GRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 14., Hamburg, 1980. Inter-
national Archives... Hamburg, International Society of
Photogrammetry and Remote Sensing, 1980. v.23, tB3,
p.223-35.
- /10/ _____. Results of Test 2 on gross error detection of ISP WG-
III/1 and OEEPE. In:INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAM
METRY AND REMOTE SENSING, 15.,Rio de Janeiro, 1984.
International Archives... Rio de Janeiro,Internatio-
nal Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984.
v.25, t.A3a, p.220-33.
- /11/ GOSH, S.K. Phototriangulation. The Ohio State University,
Lexington Books, 1975. 229p.

- /12/ JACOBSEN, K. Experiences in blunder detection for aerial-triangulation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15., Rio de Janeiro, 1984. International Archives... Rio de Janeiro, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984. v.25, t.A3a, p.440-6
- /13/ JORGENSEN, P.C. et alii. Ah, robust estimation. In : INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15., Rio de Janeiro, 1984. International Archives... Rio de Janeiro, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984. v.25, t.A3a, p.268-77.
- /14/ KRAKIWSKY, E.J. A synthesis of recent advances in the method of least squares. Fredericton, University of New Brunswick, 1975. 125p.
- /15/ KUBIK, K. An error theory for the Danish Method. In : SYMPOSIUM MATHEMATICAL MODELS, ACCURACY ASPECTS AND QUALITY CONTROL, Otaniemi, Helsinki, 1982. Proceedings... Otaniemi, Helsinki University of Technology, 1982. p.229-309.
- /16/ KUBIK, K. et alii. Oh, grosserorors! In : INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15., Rio de Janeiro, 1984. International Archives... Rio de Janeiro, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984. v.25, t.A3a, p.278-89.
- /17/ LUGNANI, J.B. Introdução à fototriangulação. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1987. 134p.
- /18/ MASSON, A.G. & GIRAUDIN, P. Universal block adjustment procedure with automatic error elimination. In: SYMPOSIUM MATHEMATICAL MODEL, ACCURACY ASPECTS AND QUALITY CONTROL, Otaniemi, Helsinki, 1982. Proceedings... Otaniemi, Helsinki University of Technology, 1982. p.354-69.
- /19/ MERCHANT, D.C. Analytical photogrammetry : theory and practice. 2.ed. sl. The Ohio State Univeersity, 1979. 2v.
- /20/ MITISHITA, E.A. Detecção de erros grosseiros nas aerotriangulações; Curitiba, 1986. 245p. Dissertação, mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
- /21/ MOFFITT, F.H. & MIKHAIL, E.M. Photogrammetry. 3ed. New York, Harper&Row, 1980. 648p.
- /22/ OLIVAS, M.A.A. Calibração de câmaras fotogramétricas. Aplicação dos métodos: câmaras convergentes e campos mistos; Curitiba, 1980. 98p. Dissertação, mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

- /23/ SILVA, J.F.C. **Verificação de modelos hidráulicos**, Curitiba, 1983, 136p. Dissertação, mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas.
- /24/ _____. **A inferência bayesiana e a detecção e localização automática de erros grosseiros em fototriangulação por feixes de raios**; Curitiba, 1987, 88p. Tese, doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
- /25/ SLAMA, C.C. **Aerotriangulation**. In : American Society of Photogrammetry. **Manual of Photogrammetry**. 4ed., Falls Church, VA, 1980. p.453-518.
- /26/ STEFANIVIC, P. **Pitfalls in blunder detection techniques**. In : INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 14., Hamburg, 1980. International Archives ... Hamburg, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1980. v.22, t.A3a, p.10-5.
- /27/ THOMPSON, M.M. **Foundations of photogrammetry**. In : American Society of Photogrammetry. **Manual of Photogrammetry** 4ed., Falls Church, VA, 1980. p.1-36.
- /28/ TOMMASELLI, A.M.G. **Detecção de erros grosseiros em fototriangulação**; Curitiba, 1985, 28p. Seminário. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.
- /29/ WERNER, H. **Automatic gross error detection by robust estimators**. In : INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 15., Rio de Janeiro, 1984. International Archives... Rio de Janeiro, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 1984. v.25, t.A3a, p.1101-8.
- /30/ WOLF, P.R. **Elements of photogrammetry**. 2ed. International Student Edition, 1985. 628p.
- /31/ WONG, K.W. **Basic mathematics of photogrammetry**. In: American Society of Photogrammetry. 4ed., Falls Church, VA 1980. p.37-101.