

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**CALIBRAÇÃO DE CÂMARA DIGITAL NÃO
MÉTRICA – KODAK DCS-460**

SYDNEY DE OLIVEIRA DIAS

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Florêncio de Souza

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Sensoriamento Remoto, área de concentração em Geoprocessamento.

CEPSRM/UFRGS

Porto Alegre (RS)
Abril de 2004.

AGRADECIMENTOS

A conclusão e realização deste trabalho somente foi possível devido à contribuição direta ou indireta de várias pessoas e instituições.

Em especial aos professores Dr. Sérgio Florêncio de Souza, da UFRGS, pela excelente orientação apoio e incentivo durante a execução de todo trabalho, e ao Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita, da UFPR, por ter orientado todo processo pratico de desenvolvimento da calibração realizada em Curitiba-PR.

Ao prof. Dr. Carlos Hartmann, por ter sempre me incentivado nessa jornada de estudos, tendo sido além de tudo, uma peça fundamental na viabilização do desenvolvimento deste trabalho, cedendo o Sistema ADAR1000, de aquisição de imagens digitais, para a presente pesquisa.

Ao grupo de estudantes de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR pelo acompanhamento do trabalho realizado em Curitiba, em especial ao Fernando César Silveira de Abreu e Rogério Pessanha .

A.Frederico Marcondes por ter ajudado no acompanhamento do trabalho desenvolvido em Curitiba.

Aos professores do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, por terem acompanhado todo processo direta ou indiretamente.

Aos Engenheiros Marcus, Stanlei, Magda, Daniela, Adriano, e demais funcionários do Departamento de Esgotos Pluviais, da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, pelo constante incentivo.

À CAPES pelo apoio financeiro oferecido durante todo o curso, e que foi de fundamental importância para conclusão do trabalho.

À minha Mãe e irmãos, que me acompanham,
incentivam e me apoiaram desde o início .

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS.....	3
2.1 Histórico sobre calibração ..	3
2.2 Conceitos básicos sobre calibração.....	5
2.3 Fotogrametria Digital e Calibração.....	6
2.3.1 Funcionamento do CCD.....	8
2.3.2 Modelo Matemático.....	10
2.3.2.1 Distorção consideradas.....	15
2.3.2.2 Dependência Linear.....	20
2.3.2.3 Ajustamento (MMQ).....	22
CAPÍTULO 3 – PRINCIPAIS MÉTODOS	27
3.1 Método dos Campos Mistos.....	27
3.2 Método das Câmaras Convergentes.....	29
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO.....	32
4.1 Introdução.....	32
4.2 Campo de calibração.....	32
4.3 Câmara utilizada.....	34
4.4 Obtenção das imagens.....	36
4.5 Programa Computacional.....	39
4.6 Experiência utilizando o Método das Câmaras Convergentes.....	40
4.6.1 Resultados Obtidos.....	46
4.6.1.1 Análise Estatística.....	46
4.6.1.2 Orientação externa ajustada e resíduos das coordenadas fotográficas.....	46
4.6.1.3 Coordenadas dos pontos de controle no campo (Ajustadas).....	47
4.6.1.4 Resíduos dos pontos de controle.....	48
4.6.1.5 Calibração da Câmara.....	49

4.6.1.6 Matriz Variância Covariância dos elementos de orientação externa.....	50
4.6.1.7 Matriz variância-covariância dos pontos.....	50
4.6.1.8 Matriz variância covariância dos elementos de calibração da câmara.....	51
4.6.2 Análise dos resultados.....	54
CAPÍTULO 5 – Aplicação dos elementos de calibração na geração de ortofoto.....	55
5.1 Modelo Digital do Terreno.....	56
5.2 Imagem utilizada	58
5.3 Geração da Ortofoto.....	59
5.4 Análise dos resultados.....	63
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES.....	66
ANEXOS	
I- Fotos utilizadas no processo de calibração	68
II- Média das leituras das 12 imagens	72
III- Dados de saída do programa de calibração	97
IV- Dados de saída das imagem do Sistema ADAR1000 POA	121

LISTA DE FIGURAS

Núm.	Título	Pág.
01	Esquema de calibração utilizando colimadores.	04
02	Exemplo de CCD retangular	07
03	Princípio de funcionamento básico de um CCD	09
04	Processo de transferência das cargas.	09
05	Sistemas de Coordenadas Fotogramétricas.	10
06	Transformação do Sistema de Coordenadas	11
07	Princípio da Colineridade.	13
08	Representação da distorção longitudinal.	16
09	Representação das componentes da distorção radial e simétrica	17
10	Representação da distorção descentrada.	18
11	Representação dos campos de calibração (MMR).	28
12	Esquema das imagens a serem calibradas pelo Método das Câmaras convergentes.	31
13	Campo de Calibração de Câmaras de Pequeno Formato.	33
14	Componentes do Sistema ADAR 1000.	35
15	Sistema ADAR1000 (a) e GPS(b).	36
16	Execução das fotografias do campo de calibração	37
17	Esquema de aquisição das imagens para calibração	38
18	Imagens tomadas no campo de calibração para a posição A	39
19	Sistema de Coordenadas Digital	41
20	Foto01, leitura das coordenadas fotogramétricas e marca fiducial	42
21	Representação Vetorial da Distorção Descentrada	52
22	Representação Vetorial da Distorção Radial Simétrica	53
23	Representação Vetorial da Resultante das Distorções	53
24	Área de Estudo	55
25	Curvas de nível. com equidistância de um metro	56
26	Modelo Digital do Terreno (MDT)	57
27	Esquema das linhas de vôo - outubro de 2003 em Porto Alegre	58
28	Detalhe do posicionamento do centro perspectivo	59
29	Elementos de orientação interna	60
30	Ortofoto gerada a partir da Foto LV00105 e MDT	62
31	Geometria da fotografia aérea vertical	62
32	Imagens Quick Bird utilizadas como base de apoio	63
33	Ortofoto em visualização tridimensional	65

LISTA DE TABELAS

Núm.	Título	Pág.
01	Análise da dependência linear entre pares de parâmetros.	22.
02	Pontos de controle do Campo de Calibração da UFPR.	34
03	Leitura "1a" dos Pontos da Imagem 1 – coordenadas de máquina (pixel).	42
04	Média das três leituras dos pontos para a imagem.	43
05	Resultados dos Parâmetros de orientação externa das 12 imagens	45
06	Resíduos dos Pontos de controle(dist. focal 20 mm)	64
07	Resíduos dos Pontos de controle(dist. focal 20,4721 mm)	64

RESUMO

Os equipamentos fotográficos digitais têm inovado a aerofotogrametria no que diz respeito à rapidez na coleta de informações geográficas referenciadas bem como o baixo custo da operação em comparação com os sistemas aerofotogramétricos convencionais. Na geração de produtos cartográficos, utilizando sistemas fotográficos digitais ou convencionais, o conhecimento dos parâmetros que definem a geometria interna da câmara é de fundamental importância.

Este trabalho descreve uma das principais metodologias utilizadas atualmente para calibração analítica de câmaras. A câmara utilizada nesse trabalho é uma Kodak DCS460, e pertence à Fundação Universidade Federal do Rio Grande. O processo de calibração foi realizado na Universidade Federal do Paraná, com apoio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, e o método utilizado foi o Método das Câmaras Convergentes. Através do método paramétrico com injunções, o modelo final utilizado computacionalmente recupera os parâmetros intrínsecos como distância focal calibrada, posição do ponto principal, constantes da distorção radial simétrica e descentrada, bem como a matriz variância-covariância dos resultados obtidos no ajustamento.

Os resultados da calibração foram analisados na matriz variância-covariância e foram satisfatórios. Para aplicação dos parâmetros em dados reais, uma imagem da região de Porto Alegre foi utilizada como objeto de estudo para geração de uma ortofoto, que é uma imagem corrigida geometricamente das distorções causadas pela variação de posição e altitude da plataforma. O Modelo Digital do Terreno é uma peça fundamental na geração de uma ortofoto e foi gerado a partir das curvas de nível fornecidas pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Duas ortofotos foram geradas, a primeira levando em conta apenas o valor nominal da distância focal, e a segunda os parâmetros gerados no processo de calibração. Os resultados obtidos para a focal nominal apresentam resíduos maiores que os determinados com a distância focal calibrada, mostrando a necessidade de aplicação do método de calibração, como queria demonstrar.

ABSTRACT

Digital photographic equipments have innovated aerophotogrametry, specially in terms of geographic information collection speed and operational costs, comparing to conventional aerophotogrametry systems. Knowledge of the camera internal geometry parameters is extremely important to the generation of cartographic products.

This work describes one of the main methodologies currently applied to analytical calibration of cameras. The camera used is a Kodak DCS 460, property of the Rio Grande Federal University. Paraná Federal University carried the calibration process, with support of the Geodesic Sciences Graduation Program. The Method of the Convergent Cameras was used, with the mathematical parametric model with injunctions. The final model applied recuperates intrinsic parameters, such as calibrated focal distance, main point position, symmetrical and asymmetrical radial distortion constants, as well as the resulting variance-covariance matrix.

The calibration results analyzed by the variance-covariance matrix were satisfactory. For application of the parameters in real data, an image of the Porto Alegre City region was used to generate an ortophoto, which is an image without distortions caused by platform variations of position and altitude. The Digital Terrain Model is important to the generation of an ortophoto, and was obtained from the level curves supplied by the Porto Alegre City Municipality. Two tests were carried through, the first considering the parameters generated in the calibration process, and the second one using only nominal values. Nominal focal results presented bigger residues then the ones obtained with the calibrated focal distance, showing the importance of the calibration method application.

INTRODUÇÃO

Em processos de fotogrametria, sabe-se da importância de se conhecer os parâmetros de calibração das câmaras, visto que os mesmos são de fundamental importância na obtenção de produtos cartográficos.

Sabe-se que hoje em dia o uso de sistema para aquisição de fotografias aéreas de pequeno formato, por terem um custo inferior aos sistemas convencionais de fotogrametria, está cada vez mais sendo estudado. As aplicações do uso de dados gerados a partir desses sistemas, e em particular o uso de fotografias aéreas digitais, são inúmeras e em alguns casos tem mostrado bons resultados. As facilidades encontradas na utilização desses equipamentos são muitas, pois além da rapidez na obtenção dos dados, os mesmos são trabalhados em ambientes digitais. Esta característica tem facilitado bastante o uso destes sistemas fotogramétricos, visto que nos últimos anos ocorreu uma grande popularização de diversos programas computacionais para processamento digital de imagens, sejam orbitais ou aéreas, bem como o avanço tecnológico da informática, que cada vez mais tem apresentado computadores pessoais com maior capacidade de processamento e armazenamento dos dados.

Em processos para calibração de câmaras normalmente são utilizados métodos analíticos, o que torna necessário a utilização de computadores para o processamento destes dados. O processo envolve um número muito grande de dados matriciais, que felizmente devido ao grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, principalmente da informática, tem agilizado o processo, diminuindo bastante o tempo de processamento dos dados.

A câmara digital utilizada neste trabalho é uma Kodak DCS-460, pertencente ao Laboratório de Oceanografia Geológica da Fundação Universidade Federal de Rio Grande (FURG), e foi cedido gentilmente pelo professor Carlos Hartmann para obtenção das imagens do Campo de Calibração de Câmaras de Pequeno Formato, do Laboratório de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

O método de calibração utilizado segue os princípios básicos para calibração de câmaras aerofotogramétricas, e os programas computacionais utilizados durante o processo de calibração foram cedidos, para uso exclusivo da calibração da câmara digital, pelo programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas, através do prof. Dr. Mitshita. O Laboratório de Fotogrametria desse mesmo programa de pós-graduação foi o local onde foram realizados todos os processamentos computacionais necessários para

calibração da câmara. O método de calibração aplicado neste trabalho foi o método das Câmaras Convergentes, que foi escolhido por ser de fácil aplicação e principalmente por ser bastante conhecido na fotogrametria.

A necessidade em calibrar esse equipamento foi observada, visto que atualmente a utilização desses equipamentos para aquisição de fotografias aéreas tem crescido bastante. Em aplicações onde se deseja extrair informações métricas, é ainda maior a preocupação em se conhecer os parâmetros de calibração desses sistemas.

Com todas essas observações, o principal objetivo a ser alcançado nesse trabalho é a obtenção dos parâmetros que definem a geometria interna da câmara em estudo e as constantes que definem o modelo matemático das distorções consideradas, ou seja, os elementos gerados no processo de calibração, que posteriormente poderão ser aplicados na correção geométrica de imagens aéreas geradas a partir desse equipamento.

Para uma maior compreensão, interpretação e demonstração da necessidade de obtenção dos parâmetros de calibração foram realizadas comparações entre duas ortofotos de uma única imagem de uma mesma região, sendo que uma delas foi gerada com a aplicação dos parâmetros de calibração para correção geométrica da imagem e a segunda foi corrigida geometricamente sem a utilização dos parâmetros gerados no processo de calibração do equipamento, afirmando assim a necessidade de se calibrar o equipamento.

CAPÍTULO 2

CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS

2.1 Histórico sobre calibração

Sabe-se que nos primeiros usos da fotogrametria quase sempre estava se buscando um maior conhecimento da superfície da terra. Com isso surgiu uma necessidade de aplicação direta em mapeamentos, com auxílio das imagens geradas durante esses processos de fotografia. É sabido também que desde o princípio dos levantamentos fotogramétricos o emprego para análise qualitativa foi de grande importância, e continua sendo até os dias de hoje. Atualmente o objetivo do uso desses produtos está voltado tanto para análise quantitativa como qualitativa, entretanto muitos equipamentos são inadequados para se fazer análise quantitativa de qualidade, devido falta de conhecimento dos parâmetros que definem a geometria interna da câmara.

Com a necessidade em obter informações mais precisas da superfície terrestre um grande desenvolvimento no campo da fotogrametria começou a crescer a partir da primeira grande guerra mundial, com uma maior necessidade em conhecer os parâmetros internos das câmaras para aerolevantamentos. A partir daí os métodos de calibração de câmaras começaram a ter uma grande importância e vários estudos foram realizados.

Os primeiros trabalhos envolvendo calibração de câmaras, estavam mais voltados para a obtenção de parâmetros a cerca da geometria interna da câmara, dando basicamente importância para os valores da distância principal, aqui tratada como distância focal calibrada, e a posição do ponto principal.

Os processos pioneiros de calibração de câmaras foram desenvolvidos por pesquisadores nos Estados Unidos e no Canadá, e usavam os métodos visuais. Nesses métodos, eram usados, normalmente, goniômetros, multicolimadores e ainda o auxílio de teodolitos para obtenção precisa das medidas dos ângulos formados por cada colimador e o plano focal da câmara.

O método visual utilizando equipamentos especiais, foi o primeiro método de calibração de câmaras a ser utilizado, com resultados suficientemente preciso para o requerimento de fotogrametria daquela época.

Entre a primeira e segunda guerra mundial, grandes trabalhos foram desenvolvidos no sentido do aprimoramento de técnicas de calibração de câmaras.

Decorrente dessas pesquisas sabe-se que as técnicas utilizadas para calibração de câmaras evoluíram bastante, e atualmente os principais métodos de calibração de câmaras podem ser divididos em dois:

- Métodos de Laboratórios;
- Métodos de Campo.

Sabe-se que na aplicação dos métodos de laboratório é necessário o uso de equipamentos especiais, e que, normalmente são utilizados pelas próprias empresas que fabricam as câmaras. Os principais equipamentos utilizados nos primeiros processos de calibração de câmaras em laboratórios foram os goniômetros e calibrador multicolimador.

O método de laboratório utilizando colimadores é feito montando-se um arranjo de colimadores em posições conhecidas e precisas. A figura 1 mostra o esquema básico do método onde temos os colimadores projetando imagens no plano focal da câmara. Alguns trabalhos de calibração que utilizaram desse método, normalmente utilizavam 25 colimadores arranjados com uma distância angular de $7,5^\circ$ distribuídos de forma simétrica, atingindo 45° para cada lado, a partir do colimador central. Para cones com uma abertura de 120° entre colimadores, são necessários no total 33 colimadores. Merchant (1979), ainda cita calibração utilizando esse método com 53 colimadores.

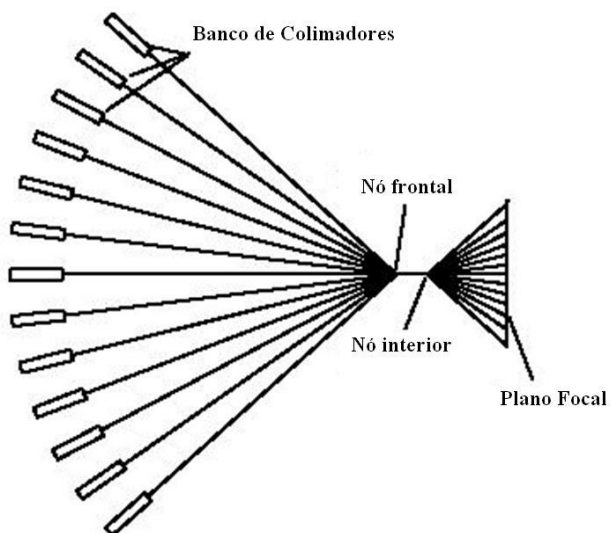


Figura 1 - Esquema de calibração utilizando colimadores. (Fonte: Clarke & Fryer, 1998).

Segundo Olivas (1980), os métodos de laboratório fornecem importantes informações no que diz respeito ao corpo da câmara e do magazine. Infelizmente,

porém, tais processos não dão necessária informação acerca das influências métricas, introduzidas por elementos remanescentes das medições do sistema.

Com base nessas informações, e também de acordo com os princípios de calibração de câmaras introduzidos por Heisenhart, observa-se que os métodos de campo por serem realizados em condições próximas à de funcionamento do equipamento, e por serem analíticos, tem apresentado vantagens em relação aos métodos de calibração em laboratórios.

2.2 Conceitos básicos de Calibração

Através de operações repetitivas de medição, os principais conceitos de calibração são voltados para a obtenção de valores numéricos que indicarão as características individuais de um instrumento, bem como a qualidade do mesmo.

De acordo com Olivas e Andrade (1981), é de primordial importância, em termos de exatidão, o conhecimento do grupo de parâmetros necessários à reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem fotográfica, no instante da exposição. A determinação de tais parâmetros se faz por um processo de calibração.

Em Olivas e Andrade (1981), encontra-se alguns dos principais critérios que deverão ser levados em conta na escolha do processo de calibração a ser implementado, que são:

- Método que melhor atenda aos atuais conceitos de calibração de sistemas de mensuração;
- Método que exija o menor tempo de retenção do equipamento a ser calibrado;
- Método que permita um controle estatístico dos resultados;
- Método que não exija a importação de equipamentos;
- Método que permita seu aperfeiçoamento.

Os critérios citados acima foram estudados, e os trabalhos realizados por esses pesquisadores, foram feitos com base nos trabalhos de calibração de câmaras por Dean Merchant (1971), em que fizeram alguns aperfeiçoamentos, com campos de testes simples e mais econômicos, aliado a um grau de exatidão maior nos resultados finais.

O processo de calibração aqui utilizado é amplamente conhecido na fotogrametria analítica, e foi inicialmente desenvolvido por Brown (1956) (Brown, apud Olivas, 1980). Conhecido como método das Câmaras Convergentes, esse método

conhecido ainda como *self-calibration*, recupera simultaneamente os parâmetros de orientação interna e os parâmetros que definirão as equações referentes à distorções radial e simétrica e a distorção descentrada.

O conceito de calibração de instrumentos e dos padrões é uma forma refinada de medida. A medida é ordinariamente uma operação repetível, e que se considerando como um processo de produção, o produto final são números. Visto assim torna-se evidente que uma operação particular da medida não pode ser considerada como constituinte de um processo apenas da medida, a menos que a estabilidade estatística seja alcançada. (Eisenhart, apud Merchant, 1979).

Afim determinar-se uma operação particular da medida, em um estado do controle estatístico, é necessário ser definido as variações de funcionamento do instrumento, os procedimentos, as circunstâncias ambientais, os observadores e operadores, e é claro ser permissível em aplicações repetidas e ser realístico, ou seja, estar sendo realizado em circunstâncias bem próximas àquela em que o equipamento será utilizado na prática.

Além disso, e de acordo com o que foi mencionado a respeito do controle estatístico, deve ser apontado como indicadores da qualidade da calibração, o desvio padrão das medidas e o limite de confiança atribuído ao seu erro sistemático total provável.

Quanto a isso (Eisenhart, apud Merchant, 1979) comenta que a determinação de limites de confiança ao efeito combinado de fontes potenciais reconhecidas do erro sistemático envolve sempre arbítrio de alguns dados, não somente em colocar de limites razoáveis no erro sistemático provavelmente a ser contribuído por cada causa particular, mas também na maneira em que estas contribuições individuais são combinadas. Conseqüentemente, a inacurácia de resultados de fim da medida não pode ser expressa "pelos limites confiança" que correspondem a uma "confiança numérica definitiva em nível", exceto naqueles exemplos raros em que o erro sistemático total possível de um resultado final é insignificante na comparação com sua imprecisão.

2.3 Fotogrametria Digital e calibração

Ultimamente tem-se visto um grande avanço na fotogrametria no que diz respeito à forma de captação das imagens, principalmente pela rapidez com que se

podem obter informações geográficas referenciadas, bem como pelos custos mais acessíveis em relação aos equipamentos convencionais. É essa basicamente a primeira grande diferença entre as câmaras métricas convencionais (analógicas) e as câmaras digitais não métricas. Demais fatores, referente à parte ótica dessas câmaras, basicamente operam de forma semelhantes.

Nas câmaras analógicas sabe-se que durante o processo de aquisição das imagens, o registro é feito em filmes fotossensíveis localizados no plano focal da câmara, e que necessitam posteriormente um processamento em laboratório para revelação e ou ainda confecção de cópias. Nas câmaras digitais, a grande diferença esta exatamente ai. O sensor que faz registro das imagens é conhecido como CCD, representado na figura 01, e normalmente é composto por um número limitado de elementos, conhecidos como pixel, ou ainda, fotossítios, e estão “montados” em forma de matriz de pixel's algumas vezes retangulares ou quadrados.

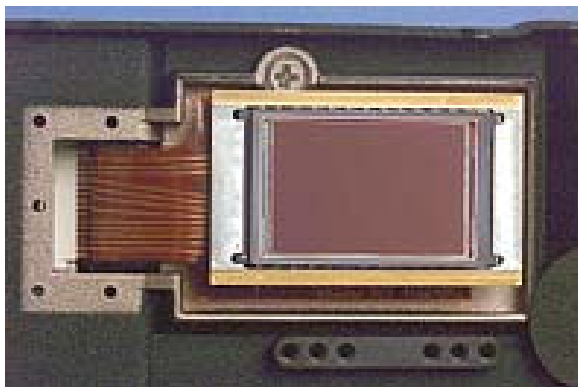


Figura 2 – Exemplo de CCD retangular. (fonte: www.kodak.com)

Inventado aproximadamente por volta de 1970, o CCD inicialmente tinha um sensor linear, contendo um total de 96 pixels. Atualmente chips com mais de 50 milhões de pixels já podem ser comercializados.

Os conceitos de calibração aqui apresentados estão baseados nos conceitos clássicos de calibração de câmaras, e basicamente procura obter os parâmetros intrínsecos, que são os parâmetros que definem a geometria interna da câmara em conjunto com os dados que estabelecem a relação entre o espaço imagem e o espaço objeto.

Segundo Olivas (1980), no que tange a fotogrametria, a calibração é a determinação de números indicadores das propriedades que garantem as características métricas do sistema e a qualidade de seu desempenho.

As equações projetivas constituem-se numa utilíssima ferramenta para o estabelecimento das relações geométricas entre o espaço-objeto e o espaço-imagem. Entretanto, influências físicas tais como refração atmosférica, distorções das lentes, perturbações do ar, etc., exigem uma teoria mais avançada de ordem a modelar todas as causas de afastamento da condição de colinearidade implícita nas equações projetivas (Olivas e Andrade 1981).

Para uma maior confiabilidade do processo de calibração, foram seguidos alguns dos princípios básicos de calibração, ou seja, buscou se trabalhar com o sistema completo de aquisição de imagem, definido por Heisenhart como sistema de mensuração. Um outro item importante levado em conta referiu-se ao desvio padrão das medidas, mais adiante representado através da obtenção da matriz variância-covariância.

2.3.1 Funcionamento do CCD

O princípio básico de funcionamento do CCD é mostrado na figura 3, e baseia-se de um cristal semicondutor, que libera elétrons quando uma radiação luminosa (fótons) incide sobre os átomos desse semicondutor, geralmente formado por SiO_2 . Os eletrodos de metal (óxido) são separados do semicondutor por uma parte isolante. Aplicando uma voltagem positiva aos eletrodos, as cargas elétricas negativas do semicondutor, agora excitadas pelos fótons incidentes nos mesmos, são atraídas para a parte superior do “pacote”, onde ficam armazenadas, logo as cargas positivas vão se concentrar mais distantes do isolante.

Esse processo ocorre em cada elemento da matriz que forma a imagem, e que é conhecido como “pixel”. A quantidade de elétrons liberados é proporcional à intensidade da radiação incidente, e é essa “quantia de carga” que definirá qual cor do pixel. A figura 03 é um diagrama esquemático do princípio básico de funcionamento do CCD, onde tem-se inicialmente a incidência de radiação (fótons) sobre o semicondutor, gerando um eletro par.

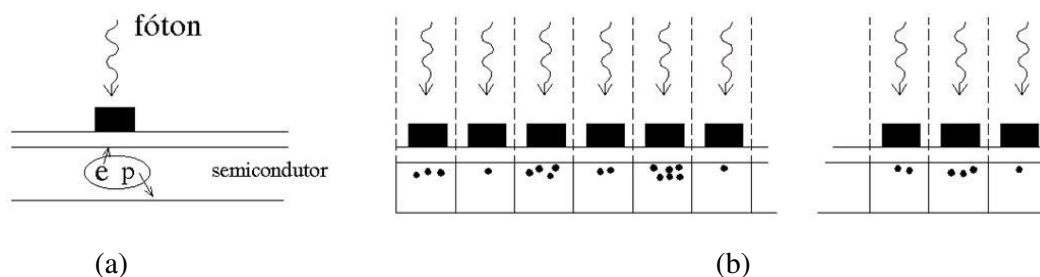


Figura 3 – Princípio de funcionamento básico de um CCD. Em (a) temos inicialmente fótons incidindo sobre o CCD, e, em seguida (b), todos elementos sensores já “energizados” e próximo ao eletrodo (carregado positivamente). (Adaptado de Schenk, 1999).

O CCD pode ser visto como uma pastilha de SiO₂ organizada em forma de matriz de pequenas regiões conhecidas como pixels, onde cada um desses pixels pode manifestar o fenômeno descrito anteriormente. Essa pastilha SiO₂, em forma de matriz, localiza-se no plano focal, substituindo o filme, onde a imagem é formada.

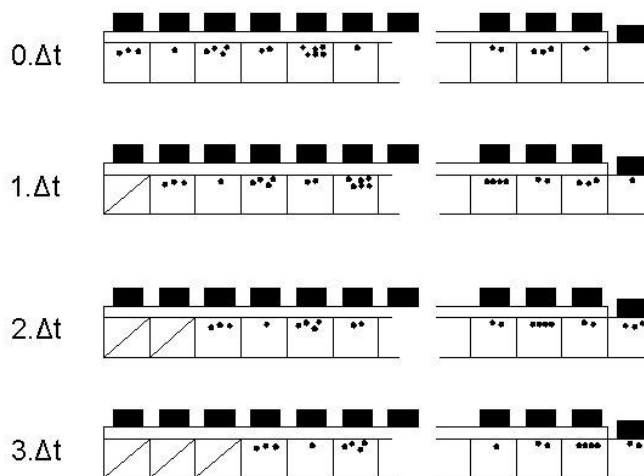


Figura 4 – Processo de transferência das cargas. Cada tempo mostrado acima, refere-se a seqüência de pulsos elétricos que são aplicados sobre cada eletrodo, referente a cada “pixel”, fazendo com que ocorra um movimento seqüencial das cargas, para posterior medição. (Adaptado de Schenk, 1999).

A figura 4 mostra o esquema básico de transferência das cargas em cada elemento do CCD, ou seja, todos pixels estão agora com uma quantidade de “carga acumulada” que precisam ser quantificada. Suponha que a voltagem de um eletrodo $i + 1$ seja momentaneamente maior que a do eletrodo i . Neste caso, a carga negativa sob o eletrodo i “pula” para o seguinte eletrodo ($i + 1$). A partir daí, simultâneos pulsos de

voltagens são aplicados, causando um movimento seqüencial de todas as cargas de todos os pixels para fora do substrato (último eletrodo), onde cada pacote dessas cargas poderão ser medidos. A localização original de cada pixel que esta sendo medido no eletrodo final, está associada diretamente com o tempo em que foi aplicado o pulso de voltagem.

Existem alguns tipos de transferência das cargas que serão lidas para posterior processamento e conversão para o meio digital. Um dos principais é: Arranjos lineares com leitura de saída bi linear.

2.3.2 Modelo Matemático

Na Fotogrametria o modelo matemático utilizado nos processos de calibração de câmaras, é bastante conhecido, e fundamenta-se nas equações projetivas, em que temos a melhor relação entre o espaço imagem e o espaço objeto.

O referencial fotogramétrico definido no modelo de câmaras digitais é um referencial bidimensional, porém diferente do referencial de câmaras convencionais por não conter as marcas fiduciais que definirão o sistema fiducial. Este passo é de fundamental importância, pois é preciso conhecer o sistema fiducial para que possamos primeiramente realizar a mudança do sistema de coordenadas fiduciais das imagens para o sistema de coordenadas fotogramétricas. Esse passo torna-se necessário antes do processo de calibração, devido a se ter as imagens sem nenhuma informação métrica, com informações apenas do sistema de coordenadas de posição de pixels, normalmente próprio das imagens digitais, conforme pode ser visualizado na figura 5.

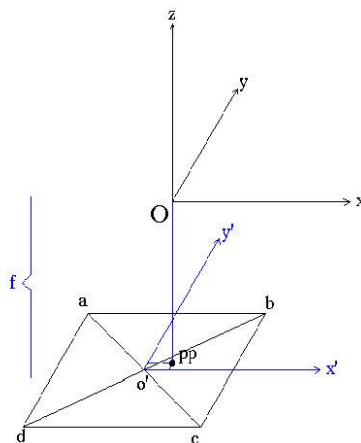


Figura 5 - Sistemas de coordenadas fotogramétricas.

O sistema de coordenadas fotogramétricas pode ser facilmente entendido observando a figura 6 onde se tem o plano do filme, no caso o plano do CCD, definido pelo plano formado pelos pontos **a,b,c** e **d** como:

- Origem, coincidente com o “centro de perspectiva”;
- Os eixos X e Y, normalmente paralelos aos eixos do sistema fiducial, e, orientados do mesmo modo;
- Eixo Z, perpendicular ao plano focal, no caso o CCD.

O principal objetivo em se transformar o referencial das imagens para um sistema métrico (mm), é a uniformização das unidades de medidas entre o referencial fotogramétrico (espaço-imagem) com o terreno (espaço-objeto), para, posteriormente, facilitar a associação entre os dois sistemas, através da equação da colinearidade, que será mostrada logo adiante.

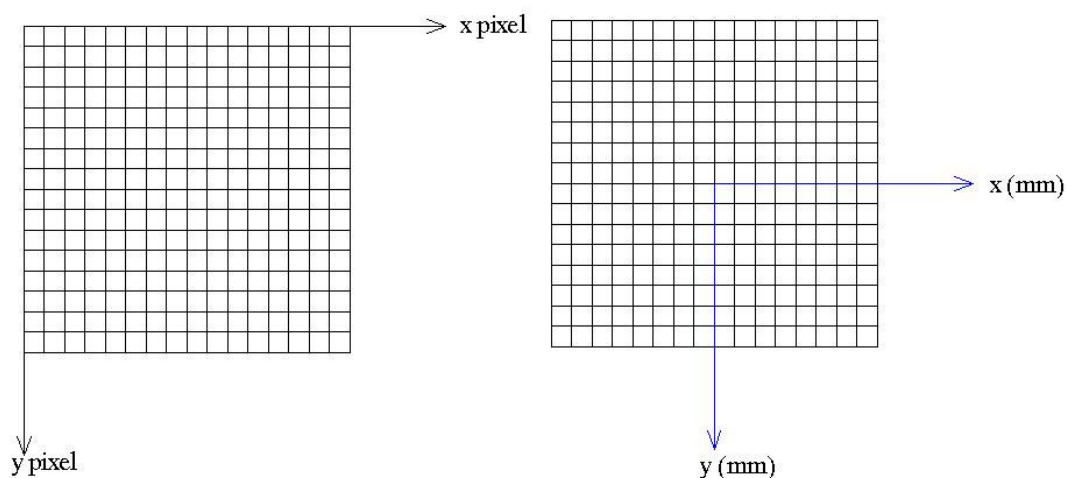


Figura 6 – Transformação do sistema de coordenadas. Sistema imagem (pixel) para sistema métrico (mm).

A transformação afim é uma transformação linear que modela os seis parâmetros ($a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$), e sua forma mais geral em duas dimensões é dada por:

$$x' = a_1x + b_1y + c_1; \quad (01)$$

$$y' = a_2x + b_2y + c_2; \quad (02)$$

As equações projetivas nos fornecem meios de relacionar o espaço objeto com o espaço imagem. De acordo com a figura 7, temos os pontos $P(X,Y,Z)$, $O(0,0,0)$ e $p(x,y,z)$ alinhados, ou seja pertencentes à uma mesma reta, logo de acordo com a figura vem:

$$\frac{x}{z} = \frac{X}{Z}; \quad (03)$$

$$\frac{y}{z} = \frac{Y}{Z}; \quad (04)$$

De acordo com Andrade (1998), para que a imagem resulte focalizada a equação

$$\frac{1}{c} = \frac{1}{z} = \frac{1}{Z} \quad (05)$$

Onde, c é a distância focal da câmara, deve ser atendida. Nas imagens fotogramétricas normalmente temos o objeto imageado a uma distancia muito grande quando comparado com c . Logo podemos impor que $c = z$.

Portanto temos para fotografias aéreas a seguinte relação:

$$x = -c \frac{X}{Z} \quad (06)$$

$$y = -c \frac{Y}{Z}. \quad (07)$$

Para relacionarmos pontos na imagem (referencial fotogramétrico) com os pontos no espaço-objeto, devemos antes definir um único sistema de coordenadas, que será o próprio sistema de coordenadas do espaço-objeto. Esse é um dos primeiros passos, e é realizado fazendo a translação de eixos e uma escala nas imagens, através da transformação afim geral. O equacionamento pode ser melhor entendido analisando-se a figura 7, onde temos o ponto no referencial imagem “p”, o centro perspectivo “O” e o ponto objeto “P” alinhados, estabelecendo o principio da colinearidade.

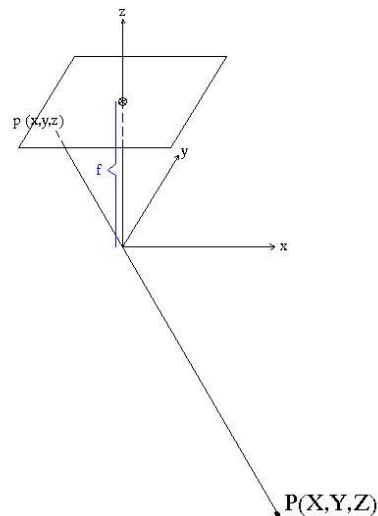


Figura 7 - Princípio da Colineridade.

A partir daí, para transformação entre o espaço-imagem e o espaço-objeto, são necessários três passos. O primeiro deles leva em conta a diferença entre as origens do sistema fotogramétrico (Centro Perspectivo) e do sistema local (espaço-objeto), e compensa essa diferença através da aplicação de três translações. Por estarem com referenciais angulares diferentes, o segundo passo compensa esses ângulos através de três rotações, e que em conjunto serão chamadas aqui de “matriz de rotação”. O terceiro e último passo considera apenas a diferença de escala entre os dois referenciais.

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = M \begin{Bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{Bmatrix} \quad (08)$$

onde:

- X, Y, Z são as coordenadas de pontos do espaço-objeto no sistema de coordenadas do espaço-objeto;
- X_0, Y_0, Z_0 são coordenadas do centro perspectivo (origem sist. Fotogramétrico), no sistema de coordenadas do espaço-objeto;
- A matriz M é o produto das matrizes de rotação;

$$R_x(\Theta) = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Theta & \text{sen}\Theta \\ 0 & -\text{sen}\Theta & \cos\Theta \end{Bmatrix} \quad R_y(\Theta) = \begin{Bmatrix} \cos\Theta & 0 & -\text{sen}\Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}\Theta & 0 & \cos\Theta \end{Bmatrix} \quad R_z(\Theta) = \begin{Bmatrix} \cos\Theta & \text{sen}\Theta & 0 \\ -\text{sen}\Theta & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

- x,y,z são as fotocoordenadas.

A matriz de rotação, como foi dito anteriormente, compensa as diferenças angulares entre os sistemas de coordenadas, para que se possa estabelecer o vínculo entre os dois sistemas. Abaixo temos as matrizes de rotação:

Como sabemos a matriz de rotação M, é o produto das três matrizes apresentadas anteriormente, como segue:

$$M = R_z(\chi).R_y(\varphi).R_x(\omega) = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Logo, substituindo essas equações, teremos de acordo com Andrade (1998), as equações projetivas:

$$x - x_0 = -c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \quad (11)$$

$$y - y_0 = -c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \quad (12)$$

onde:

$$x - x_0 = x'$$

$$y - y_0 = y';$$

$$m_{11} = \cos\varphi.\cos\chi$$

$$m_{12} = \cos\omega.\text{sen}\chi + \text{sen}\omega.\text{sen}\varphi.\cos\chi$$

$$m_{13} = \text{sen}\omega.\text{sen}\chi - \cos\omega.\text{sen}\varphi.\cos\chi$$

$$m_{21} = -\cos\varphi.\text{sen}\chi$$

$$m_{22} = \cos\omega.\cos\chi - \text{sen}\omega.\text{sen}\varphi.\text{sen}\chi$$

$$m_{23} = \text{sen}\omega \cdot \text{cos}\chi + \text{cos}\omega \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\chi$$

$$m_{31} = \text{sen}\phi$$

$$m_{32} = -\text{sen}\omega \cdot \text{cos}\phi$$

$$m_{33} = \text{cos}\omega \cdot \text{cos}\phi;$$

2.3.2.1 Distorções Consideradas

O modelo matemático mostrado anteriormente funciona como um modelo “ideal”, ou seja, não há desvios dos feixes de luz que atravessam o conjunto de lentes, aqui tratado como Centro Perspectivo, e, que no fim, causam uma variação ponto a ponto na imagem. Essa variação e demais variações na imagem são conhecidas por distorções dos sistemas óticos, e os erros gerados devido essas variações são conhecidos como erros sistemáticos.

Os principais motivos das distorções dos sistemas óticos estão atribuídos em primeiro lugar, à impossibilidade na prática de se construir lentes na forma ideal – que é dada por um parabolóide de revolução. Normalmente a superfície do sistema de lentes aproxima-se de uma forma esférica, o que gera nas imagens o que Seidel descreveu como a “quinta aberração monocromática”, também conhecida como distorção radial e simétrica.

Seidel foi quem definiu os cinco tipos de aberrações cromáticas: a esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo e distorção, sendo essa última, clasificada como a “quinta aberração de Seidel” e representa o primeiro tipo de distorção considerada no processo de calibração de câmaras. Também conhecida como distorção radial e simétrica em relação ao ponto principal, essa distorção é a que causa deslocamentos na imagem. Devido a isso, para poder-se estabelecer um modelo que estabeleça relação entre o espaço-objeto, o espaço-imagem, e ainda modele os erros sistemáticos, é necessário ampliar o modelo da colinearidade, introduzindo-se alguns parâmetros. Um dos elementos estudados por Conrady para definir a distorção radial simétrica foi a distorção longitudinal, mostrada na figura 8.

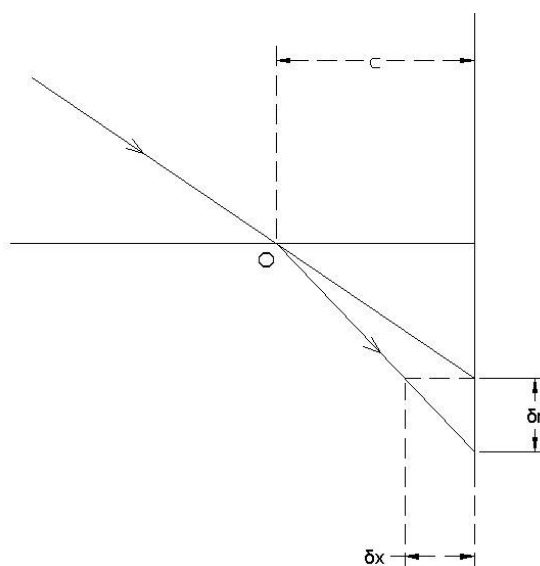


Figura 8 - Representação da distorção longitudinal, desenvolvido por Conrady. (Fonte: Andrade 1998).

De acordo com Andrade e Olivas (1981), o modelo desenvolvido por Conrady para definir a distorção radial (δr) foi baseado em três hipóteses:

- 1) A distorção longitudinal pode ser representada por uma função contínua;
- 2) O raio axial não sofre desvios ao atravessar as lentes;
- 3) O senso da distorção longitudinal deve ser positivo para deslocamentos centrífugos da imagem.

De acordo com Olivas 1980, como na fotogrametria o trabalho é invariavelmente feito com a utilização de coordenadas de imagens (x,y), torna-se mais conveniente considerar a distorção como erros nas coordenadas medidas das imagens, ao invés de variações na distância focal da câmara. O modelo matemático para a distorção radial e simétrica é amplamente utilizado nos processos de calibração de câmaras, e foi desenvolvido pelo Prof. A.E.Conrady, e que será desenvolvido a seguir.

Inicialmente atendendo à primeira hipótese, Conrady desenvolveu o seguinte polinômio em r :

$$\delta x = a_0 + a_1.r + a_2.r^2 + a_3.r^3 + \dots \quad (13)$$

Para atender à segunda e terceira hipóteses, é necessário fazer no polinômio acima, $a_0 = 0$ e os termos de ordem ímpar devem ser eliminados, logo:

$$\delta x = a_2.r^2 + a_4.r^4 + a_6.r^6 + \dots \quad (14)$$

da figura 9, temos:

$$\delta r = (r/c) \cdot \delta x \quad (15)$$

que substituindo em (13) e (14), vem:

$$\delta r = k_1.r^3 + k_2.r^5 + k_3.r^7 + \dots \quad (16)$$

onde: $K_{i-1} = a_i \cdot 1/c$, ($i=1,2,3,\dots$)

De acordo com a figura 9 pode-se observar as componentes da distorção radial e simétrica, onde observa-se o efeito da distorção nas coordenadas de um ponto na fotografia.

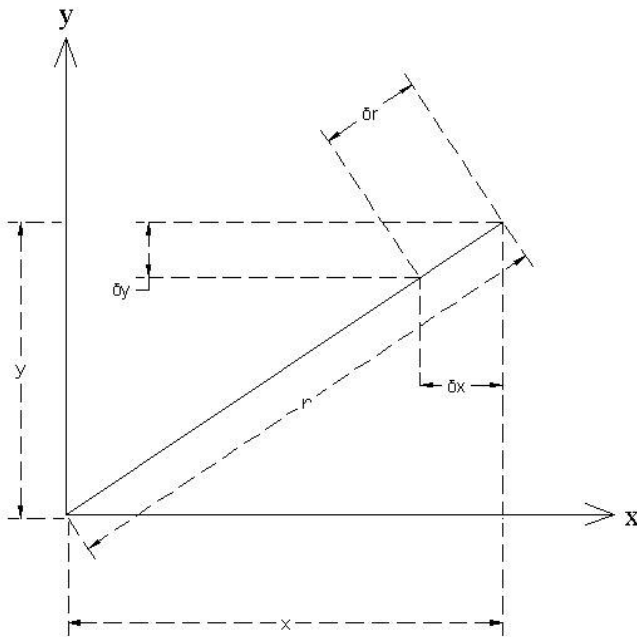


Figura 9 – Representação das componentes da distorção radial e simétrica. (Fonte: Andrade 1998)

$$\delta x_1 = (x/r) \cdot \delta r; \quad (17)$$

$$\delta y_1 = (y/r) \cdot \delta r; \quad (18)$$

O polinômio que modela os erros devido à distorção radial e simétrica, e que é acrescido nas equações da colinearidade, pode ser visto com maiores detalhes em Andrade 1998, e toma finalmente a seguinte forma:

$$\delta x_r = (k_1.r^2 + k_2.r^4 + k_3.r^6).x \quad (19)$$

$$\delta y_r = (k_1.r^2 + k_2.r^4 + k_3.r^6).y \quad (20)$$

Os elementos δ das equações 19 e 20 representam o efeito da distorção radial nas coordenadas de um ponto da fotografia, respectivamente, nos eixos “x” e “y” da foto, facilmente visualizado através da figura 9.

O segundo tipo de distorção considerada nos processos de calibração é conhecido como “distorção descentrada”, e é resultante da impossibilidade do fabricante em alinhar os eixos óticos das lentes que compõe a objetiva. Esse tipo de distorção é composto por dois tipos de distorções, a tangencial e a radial assimétrica, e o modelo matemático para essa distorção foram demonstrados por Conrady (1919).

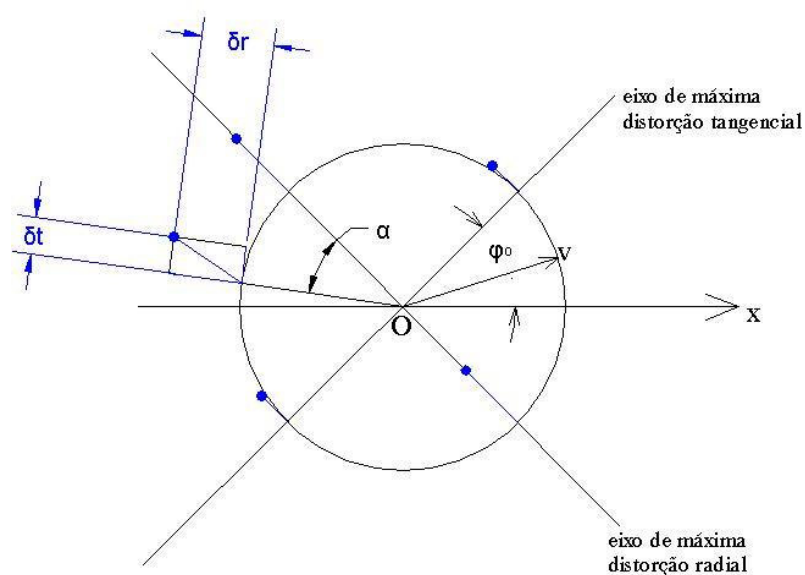


Figura 10 – Representação da distorção descentrada, de acordo com Conrady.(Fonte: Andrade 1998).

O esquema da figura descrito por Conrady é dado:

$$\delta r = 3.P_3.V^2.\cos \alpha; \quad (21)$$

$$\delta t = P_3.V^2.\sen \alpha; \quad (22)$$

onde:

$\delta r, \delta t$ = distorção radial e tangencial;

P_3 = constante;

V = ângulo formado entre o eixo ótico e a reta que liga o centro perspectivo à imagem;

α = ângulo medido no plano das imagens do eixo de máxima distorção radial. Até a radial que contém a imagem não distorcida do ponto.

De acordo com Andrade (1998), Brown transformou as expressões de Conrady, representando o termo $P_3.V^2$ por um polinômio em (r) – distância radial da imagem ao centro da fotografia e transformando as componentes radial e tangencial em componentes δx e δy no sistema de coordenadas fotogramétricas.

Dessas transformações, resultaram as seguintes expressões (Brown 1965).

$$\delta x_d = (J_1 r^2 + J_2 r^4) \left[(1 + 2 \cdot x^2 / r^2) \cdot \text{sen } \varphi_0 - (2xy / r^2) \cdot \text{cos } \varphi_0 \right] \quad (23)$$

$$\delta y_d = (J_1 r^2 + J_2 r^4) \left[(2xy / r^2) \cdot \text{sen } \varphi_0 - (1 + 2 \cdot y^2 / r^2) \cdot \text{cos } \varphi_0 \right] \quad (24)$$

onde:

x,y = coordenadas fotogramétricas

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad (25)$$

φ_0 = ângulo formado pelo eixo de máxima distorção tangencial e o eixo Ox , medido positivamente no sentido anti-horário.

A partir daí, foi observado por Brown (1966) uma dificuldade em se avaliar φ_0 num ajustamento e considerando que se pretende representar as influências coletivas devidas à distorção descentrada, agrupou os parâmetros das equações anteriores, resultando:

$$\delta x_d = [P_1 (r^2 + 2 \cdot x^2) + 2 P_2 \cdot x \cdot y] (1 + P_3 \cdot r^2 + \dots) \quad (26)$$

$$\delta y_d = [2 \cdot P_1 \cdot x \cdot y + P_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2)] (1 + P_3 \cdot r^2 + \dots) \quad (27)$$

onde:

$$P_1 = - J_1 \cdot \text{sen } \varphi_0$$

$$P_2 = J_1 \cdot \text{cos } \varphi_0$$

$$P_3 = J_2 / J_1$$

$$P_4 = J_3 / J_1 ;$$

O modelo normalmente utilizado para representar a distorção descentrada considera apenas os dois primeiros termos (P_1 e P_2), e fornece finalmente o que foi denominado de “Modelo Revisado Conrady-Brown” (1966):

$$\delta x_d = [P_1 (r^2 + 2 \cdot x^2) + 2 P_2 \cdot x \cdot y] \quad (28)$$

$$\delta y_d = [2 \cdot P_1 \cdot x \cdot y + P_2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2)] \quad (29)$$

O modelo para calibração de câmaras toma finalmente a seguinte forma:

$$x - x_o = -c \frac{m11(X - X_o) + m12(Y - Y_o) + m13(Z - Z_o)}{m31(X - X_o) + m32(Y - Y_o) + m33(Z - Z_o)} + \delta x_r + \delta x_d \quad (30)$$

$$y - y_o = -c \frac{m21(X - X_o) + m22(Y - Y_o) + m23(Z - Z_o)}{m31(X - X_o) + m32(Y - Y_o) + m33(Z - Z_o)} + \delta y_r + \delta y_d \quad (31)$$

Geralmente, modelos matemáticos para calibração de câmaras levam em conta além das distorções citadas anteriormente, distorções causadas por deformações nos filmes e também distorções causadas devido refração atmosférica. Esses dois tipos de distorções não foram considerados neste trabalho, e podem ser visto mais detalhadamente em Andrade (1998).

2.3.2.2 Dependência Linear

Durante o processo de calibração alguns detalhes muito importantes, em relação ao modelo matemático, foram observados por Brown . Um dos maiores problemas é referente ao ajustamento das observações utilizando o método dos mínimos quadrados. Como pode ser visto, de acordo com as distorções radial simétrica e a descentrada, o modelo matemático final para calibração de câmaras, é um modelo “não-linear”.

Outro fator importantíssimo que foi observado por Merchant, foi o problema enfrentado durante o processo de calibração, e que refere-se à dependência linear que ocorre quando temos uma região plana fotografada. Neste caso, existe uma forte correlação, durante a utilização das equações projetivas, entre as coordenadas de exposição (X_0, Y_0, Z_0) e os parâmetros internos (x_0, y_0, z_0). A análise da dependência

linear quando é realizado o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, é feita entre os seguintes pares de parâmetros:

- x_0 e X_0 ;
- y_0 e Y_0 ;
- z_0 e Z_0 .

Para isso utilizaremos, para demonstrar essa dependência linear, as equações projetivas na seguinte forma: (Merchant 1977)

$$F(x) = x' - x_0' - c.X'/Z'; \quad (32)$$

$$F(y) = y' - y_0' - c.Y'/Z'; \quad (33)$$

A análise da dependência linear é realizada quando compara-se os pares de parâmetros, citados anteriormente, na matriz das derivadas parciais. A razão constante entre os pares de parâmetros é que indicam a dependência linear, que pode ser observada logo abaixo.

Para fotografias verticais assume-se que, teoricamente, os valores:

$$\omega = \varphi = 0;$$

Iniciando com a análise da dependência linear entre os pares de parâmetros (c) e (Z_0) temos:

Como a dependência linear vai ser verificada através da razão entre os pares de parâmetros, chamemos de $R(c/Z_0)$ a razão entre esses pares de parâmetros.

$$\text{Portanto temos: } R(c/Z_0) = (\partial F(x)/\partial c) / (\partial F(x)/\partial Z_0) \quad (34)$$

Dado que: $\chi \neq 0$ mas com $\omega = \varphi = 0$;

$$\partial F(x)/\partial c = -X'/Z' \quad (35)$$

$$\partial F(x)/\partial Z_0 = c/Z'^2 (Z' \cdot m_{13} - X' \cdot m_{33}) \quad (36)$$

como $m_{13}=0$ e $m_{33}=1$, temos:

$$R(c/Z_0) = -X'/Z' / c/Z'^2 (Z' \cdot m_{13} - X' \cdot m_{33}) = +Z'/c = (Z - Z_0)/c \quad (37)$$

Continuando a análise para os pares de parâmetros (x_0) e (X_0) temos:

$$R(x_0/X_0)_x = (\partial F(x)/\partial x_0) / (\partial F(x)/\partial X_0) \quad (38)$$

Dado que: $\chi \neq 0$ mas com $\omega = \varphi = 0$;

$$R(x_0/X_0) = -Z' / (c \cdot \cos \chi) = - (Z-Z_0) / (c \cdot \cos \chi) \quad (39)$$

Finalmente para os pares de parâmetros (y_0) e (Y_0) temos:

$$R(y_0/Y_0)_x = (\partial F(x)/\partial y_0) / (\partial F(x)/\partial Y_0) \quad (40)$$

Dado que: $\chi \neq 0$ mas com $\omega = \varphi = 0$;

$$R(y_0/Y_0)_x = -Z' / (c \cdot \cos \chi) = - (Z-Z_0) / (c \cdot \cos \chi) \quad (41)$$

O resultado dos pares de parâmetros definidos por Merchant (1977), podem agora ser vistos na tabela 1.

Tabela 1 - Dependência Linear entre pares de Parâmetros (Fonte: Merchant 1977).

Pares de parâmetros	Razão
c e Z_0	$(Z - Z_0)/c$
x_0 e X_0	$- (Z - Z_0) / (c \cdot \cos \chi)$
y_0 e Y_0	$- (Z - Z_0) / (c \cdot \cos \chi)$

Com a dependência linear observada nos pares de parâmetros da matriz A, das derivadas parciais, Merchant observou que, nesses modelos linearmente dependentes, é impossível separar esses parâmetros correlacionados durante o processo de ajustamento, pois a matriz N, dos coeficientes das equações normais, terá seu determinante nulo. Com isso desenvolveu uma metodologia para poder destruir essa dependência linear, e que basicamente foi resolvida fazendo-se variar Z. Este basicamente é o fundamento matemático estabelecido por Merchant, e será discutido mais adiante no “Método dos Campos Misturados”.

2.3.2.3 Ajustamento (MMQ).

Como o processo de calibração envolve um número considerável de observações, normalmente utiliza-se um ajustamento das observações com o método dos mínimos quadrados. O processo consiste basicamente em estimar variáveis

estocásticas X e seus respectivos parâmetros de distribuição Σ_x , a partir de amostras L observadas com precisão Σ_L . (Dalmolim 2002).

O modelo do ajustamento com o método das equações de observações ou método paramétrico bem como todo equacionamento utilizando o Método dos Mínimos Quadrados, segundo Dalmolim (2002) toma a seguinte forma:

$$L_a = F(X_a) \quad (42)$$

onde, L_a é o vetor ($n \times 1$) das observações ajustadas, X_a o vetor ($u \times 1$) dos parâmetros ajustados e o funcional que relaciona os dois termos. A linearização da equação é feita em série de Taylor, utilizando os dois primeiros termos da série.

$$F(X_a) = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X\alpha} \right|_{X_a = X_0} (X_a - X_0) \quad (43)$$

$$F(X_0) = L_0; \quad (44)$$

$$= L_0 + AX$$

Sendo ambos, L_a e A vetor e matriz numéricos calculados a partir do valor aproximado X_0 e do modelo matemático F . A partir daí podemos escrever a equação como:

$$L_b + V = F(X_a) \quad (45)$$

substituindo em (43) tem-se:

$$L_b + V - L_0 = AX \quad (46)$$

ou

$$AX + L = V \quad (47)$$

onde

$$L = L_0 - L_b \quad (48)$$

É um vetor numérico calculado a partir de L_0 e das observações L_b .

A equação 47 é então o modelo matemático formado após linearização, onde “ A ” é formada por submatrizes, ou mais conhecida como a “matriz das derivadas parciais”, e tem a seguinte forma:

$$A = \frac{\partial F}{\partial(\text{orient. externa; coord. locais" pontos"; orient. int.})} \quad (49)$$

ou $A = [A^e, A^p, A^i]$

O vetor das incógnitas X, é dado pelos subvetores:

$$X = \begin{bmatrix} X_e \\ X_p \\ X_i \end{bmatrix} \quad (50)$$

onde,

$$X_e = \begin{bmatrix} \delta X_0 \\ \delta Y_0 \\ \delta Z_0 \\ \delta \kappa \\ \delta \phi \\ \delta \omega \end{bmatrix} \quad (51)$$

Vetores dos parâmetros de orientação externa.

$$X_p = \begin{bmatrix} \delta X_g \\ \delta Y_g \\ \delta Z_g \end{bmatrix} \quad (52)$$

Vetores das coord do centro perspectivo de tomada das imagens.

$$X_i = \begin{bmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \delta c \\ K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \quad (53)$$

Vetor dos parâmetros incógnitos (parâmetros de calibração)

O vetor dos erros de fechamento “L”, fica da seguinte forma:

$$L = \begin{bmatrix} X_{calculado} - X_{observado} \\ Y_{calculado} - Y_{observado} \end{bmatrix} \quad (54)$$

Do método dos mínimos quadrados que estabelece que a *soma dos quadrados dos resíduos seja mínima*, temos:

$$\Sigma V^2 = \text{mín} \quad (55)$$

Ou em forma matricial:

$$\Phi = V^T P V \quad (56)$$

Onde P é a matriz dos pesos, admitida como sendo diagonal.

Substituindo (47) em (55), obtém-se:

$$\begin{aligned} \Phi &= (AX + L)^T \cdot P(AX + L) = \text{mín} \\ &= X^T A^T P A X + X^T A^T P L + L^T P A X + L^T P L = \text{mín} \\ &= X^T A^T P A X + 2X^T A^T P L + L^T P L \end{aligned}$$

Derivando a função e igualando a zero, temos:

$$\partial\Phi / \partial X = 2A^T P A X + 2A^T P L = 0$$

$$A^T P A X + A^T P L = 0 \quad (57)$$

$$X = -(A^T P A)^{-1} \cdot A^T P L \quad (58)$$

Escrevendo:

$$N = A^T P A, \text{ e } U = A^T P L, \text{ temos:}$$

$$N X + U = 0 \quad (59)$$

Esta equação em representação matricial, assim como a (52), representa o sistema de equações normais em que a solução é:

$$X = N^{-1} U \quad (60)$$

Entretanto, N é singular. Logo torna-se necessário, para resolver o sistema de equações, aplicar injeções de modo a tornar N não-singular.

O modelo de injeções utilizado é o descrito por Andrade e Olivas (1981), e é apresentado da seguinte forma:

$$G(Lx, Xa) = 0 \quad (61)$$

Linearizando, por Taylor como em 43, temos:

$$Vc + C.X + Lc = 0 \quad (62)$$

A função toma a seguinte forma:

$$\Phi = V^T P V + V_c^T P_c V_c - 2K^T (V + AX + L) - 2K_c^T (V_c + CX + L_c) = \text{mín}$$

Para minimizar a função, calcula-se as derivadas parciais igualadas a zero, e que gera o seguinte sistema de equações:

$$\begin{aligned} PV - K &= 0; \\ P_c V_c - K_c &= 0; \\ V + AX + L &= 0; \\ A^T K + C^T X K_c &= 0; \\ V_c + CX + L_c &= 0. \end{aligned} \tag{63}$$

A solução da equação toma logo a seguinte forma:

$$X = -(A^T P A + C^T P_c C)^{-1} \cdot (A^T P L + C^T P_c L_c) \tag{64}$$

Ou,

$$X = -(N + N_c)^{-1} \cdot (U + U_c) \tag{65}$$

As componentes do vetor X convertem os parâmetros aproximados em ajustados:

$$X_a = X_0 + X, \tag{66}$$

onde X_a será utilizado como o novo valor aproximado dos parâmetros, no processo de iterações.

A matriz A e os vetores L e L_0 serão numericamente reavaliados, e a partir daí um novo vetor de correção (X) será calculado e aplicado novamente na equação (55) para obtenção do novo X_a . A seqüência de iterações é encerrada quando os elementos do vetor de correção X forem menores que um valor δ constante, escolhido para o teste de convergência.

A estimativa da qualidade dos parâmetros obtidos no ajustamento é feito através da propagação das covariâncias, e é analisado nos elementos da diagonal da matriz de variância-covariância dos parâmetros ajustados.

CAPÍTULO 3

PRINCIPAIS MÉTODOS

São vários os métodos já estudados e aplicados para calibração de câmaras fotográficas. A maioria das técnicas utilizadas atualmente para calibração é conhecida como as técnicas que utilizam método de campo, e é sobre esse tipo de processo de calibração de câmaras que será estudado neste capítulo. Os campos de testes utilizados normalmente em calibração de câmaras, são formados por um conjunto de pontos com posições conhecidas, ou linhas retas para que com o modelo matemático se possa estabelecer o vínculo entre o espaço-imagem e o espaço objeto. Claro que existem outros métodos para calibração de câmaras, como por exemplo os métodos de laboratórios, já comentado no capítulo 2, mas os que serão vistos com maiores detalhes são dois: O Método das Câmaras Convergentes e o Método dos Campos Mistos.

A calibração de câmara utilizando qualquer um desses dois métodos utiliza basicamente o mesmo modelo matemático, bastante conhecido e aplicado com sucesso, o que levou a utilizar um desses métodos para calibrar a câmara em estudo.

3.1 Método dos Campos Mistos (“*Method of Mixed Ranges-MMR*”).

O Método dos Campos Mistos foi um dos pioneiros no que se refere à calibração de câmaras, desenvolvido pelo professor e pesquisador Dean Merchant, do *Department of Geodetic Science of the Ohio United States University*, e aperfeiçoado pelo também professor e pesquisador José Bittencourt de Andrade, da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

De acordo com o que foi apresentado sobre a dependência linear entre pares de parâmetros durante o processo de calibração, Merchant (1967) desenvolveu suas pesquisas, e concluiu um modelo para “quebrar a correlação” entre os pares de parâmetros mostrados anteriormente na tabela 1, ou seja, separar aqueles elementos de orientação interna e externa. Para isso seria necessário a utilização de um campo de calibração tridimensional, fazendo variar “Z”, conforme apresentado na figura 11.

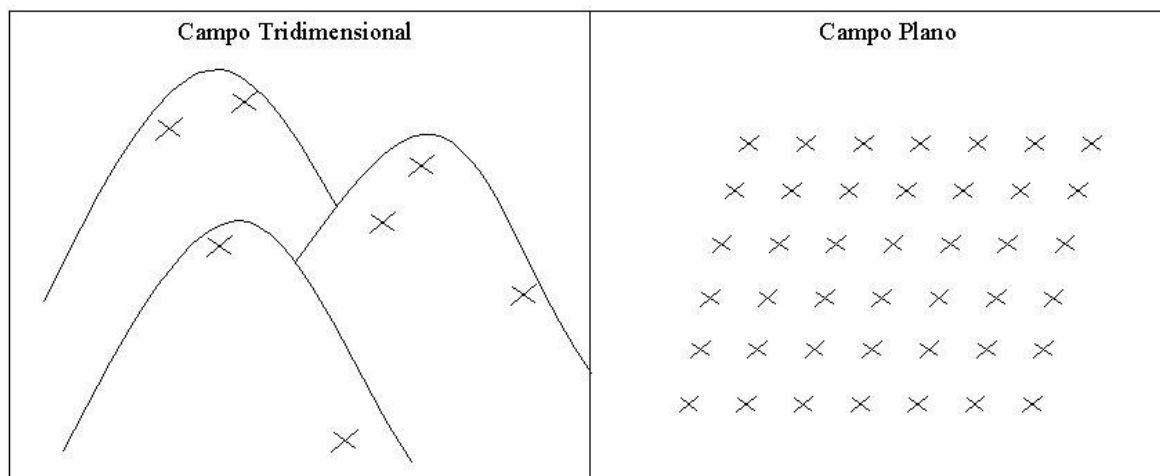


Figura 11 – Representação dos dois campos de calibração utilizados no MMR. (Fonte: Merchant 1977).

De acordo com Andrade (1998), as pesquisas desenvolvidas por Merchant (1972) para utilização de dois campos de calibração de câmaras foi inicialmente planejado da seguinte forma:

- O campo de calibração montanhoso, por ser de difícil implantação dos alvos, foi o campo que utilizava poucos pontos de apoio, porém com coordenadas bem determinadas;

- O campo plano utilizado para calibração por ser de fácil implementação, consiste de vários pontos com coordenadas bem definidas. A fim de separar os parâmetros da distorção radial e simétrica daqueles da distorção descentrada, no campo de testes planos seriam feitas duas faixas de vôo com 90° de azimute uma em relação à outra. As aerofotos tomadas nos dois campos de calibração são ajustadas simultaneamente pelo Método dos Mínimos Quadrados.

Em 1976, Andrade realizou em conjunto com o professor e pesquisador Merchant, na Universidade Estadual de Ohio, teste de calibração de câmaras utilizando como campo montanhoso, duas grandes torres. Os resultados foram positivos e foram a partir daí continuados por Andrade em Curitiba, onde foi levantado um campo de calibração na região da Serra de São Luiz do Purunã – região entre Curitiba e Ponta Grossa. Esse campo de calibração tinha como objetivo verificar a funcionalidade do método e, ao mesmo tempo, criar meios de calibrar câmaras em nosso país, evitando a remessa desses instrumentos ao exterior para esse fim, com os inconvenientes a tal

tarefa, além daquela de deixar a empresa proprietária da câmara por longo período de tempo sem dispor da mesma.

O campo de teste possui desnível de até 100m entre alguns alvos, e tem servido para calibrar câmaras desde 1981. Foi reconhecido pelo INMETRO, de cuja rede chegou a fazer parte.

O Método dos Campos Mistos é formulado variando-se a altura dos pontos do campo como forma de se quebrar a correlação entre os pares de parâmetros durante o ajustamento, eliminando assim a dependência linear entre os elementos de orientação interna e externa. O método exige um campo com certa densificação de pontos de controle, e isso é dificultado quando se trata de implantação de pontos nos campos tridimensionais. O que se faz para solucionar esse problema é a utilização de um mínimo de pontos no campo tridimensional, e no campo de calibração plana, onde o trabalho de campo é facilitado, utiliza-se um grande numero de pontos de controle.

O modelo matemático utilizado nesse método, consiste das equações projetivas aumentada de oito parâmetros: distância focal Gaussiana; coordenadas do ponto principal; coeficientes da distorção radial simétrica; e coeficientes da distorção descentrada, e podem ser visto nas equações 30 e 31 apresentadas no capítulo2. As imagens tomadas nos dois campos de calibração, e as leituras das coordenadas nos dois tipos de imagens, são ajustadas simultaneamente no processo de calibração, utilizando o Método dos Mínimos Quadrados. Esse tipo de ajustamento recupera os parâmetros de calibração da câmara, bem como a matriz variância-covariância dos mesmos.

3.2 Método das Câmaras Convergentes.

A calibração de equipamentos fotográficos utilizando o método das câmaras convergentes é hoje bastante conhecida, simples e de fácil aplicação. Normalmente, este método é aplicado em câmaras para fotos terrestre, porém sabe-se que a qualidade dos resultados obtidos com esse método, pode ser muito bem aplicado a fotos aéreas.

Em uma missão espacial, a Apollo14 trabalhou com intuito de realizar um mapeamento da superfície lunar, e para isso levavam uma câmara topográfica. Como a câmara que seria utilizada para realização das fotos falhou, as fotos foram feitas com uma HASSELBLAD 500 não calibradas.

Como Duane C. Brown já havia desenvolvido um sistema de calibração de câmaras terrestres, pertencentes à sua empresa, D.B A. System, A NASA contratou sua empresa para realizar a calibração das fotografias obtidas com a câmara em órbita lunar. O programa computacional desenvolvido por Brown foi aplicado para obtenção de calibração analítica de câmaras, em que se podia recuperar, simultaneamente, os parâmetros da distorção radial simétrica e a orientação interna da câmara. Os resultados da calibração foram comparados posteriormente a uma outra calibração realizada pela DBA System, utilizando o método estelar, apresentando uma forte consistência nos dados finais dos resultados das duas calibrações.

O que mais chama a atenção desse método é que se a convergência das fotos for de 90° , a deficiência de posto da matriz dos coeficientes das equações normais cai de 8 para 7. Lembrando que no Método do Campo Tridimensional ou no Método dos Campos Mistos sete graus de liberdade eram devido à necessidade de materializar o referencial e o oitavo em definir a escala vertical. Nas câmaras convergentes, sendo uma foto perpendicular à outra, esse oitavo grau de liberdade deixa de existir. Com isso, o método exige apenas a fixação arbitrária de um referencial. É suficiente, por exemplo, fixar com injunção de posição o centro de perspectiva de uma foto e com injunções de ângulo a posição de referencial do espaço objeto em relação ao fotogramétrico, (Andrade 1998).

Ainda segundo Andrade (1998), torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo Z da câmara em 90° , a fim de separar os coeficientes da distorção radial simétrica daqueles da distorção descentrada. Logo, as condições mínimas para calibrar uma câmara utilizando esse método exigem três fotos: duas convergentes entre si de 90° e uma com um giro χ em relação às outras de 90° . A figura 12 mostra a disposição das imagens utilizadas para a calibração, podendo-se optar por uma das fotografias giradas de 90° em torno de χ .

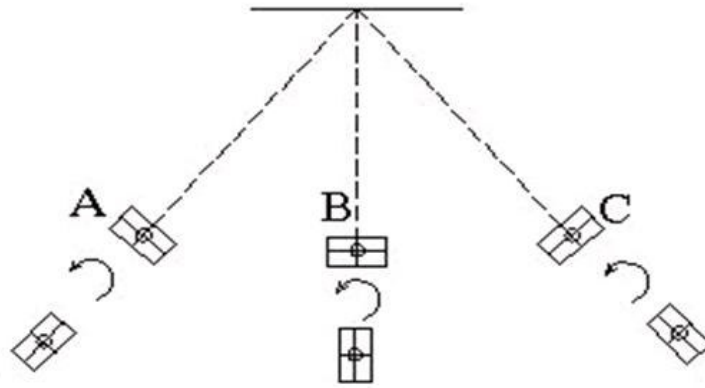


Figura 12 - Esquema das imagens a serem calibradas pelo Método das Câmaras convergentes. No mínimo são necessárias três imagens, sendo duas convergentes entre si, e a terceira girada de 90° em torno de χ .

O modelo matemático utilizado nesse método de calibração é o mesmo descrito anteriormente no Método dos Campos Mistos.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

4.1 Introdução

A Calibração de câmaras digitais não métricas foi o objetivo principal deste trabalho, e os resultados obtidos que serão mostrados aqui são referentes ao sistema fotogramétrico ADAR1000 pertencente à Fundação Universidade Federal de Rio Grande. Os resultados que serão apresentados neste trabalho dão importância maior aos parâmetros intrínsecos que definem a geometria interna da câmara, e que foi o principal objetivo deste trabalho. É claro que para se poder alcançar esses parâmetros, durante o processo de calibração, são também calculados os parâmetros extrínsecos, que dão informações a respeito da orientação externa da câmara.

Felizmente a aplicação da calibração utilizando imagens reais, somente foi possível devido:

- Disponibilização do equipamento para fotogrametria digital de pequeno formato pela FURG/LOG/DGEO para o processo de calibração;
- Disponibilização de um técnico da FURG, que opera o equipamento de fotogrametria, para auxílio na tomada das imagens no campo de calibração de câmaras de pequeno formato do programa de pós graduação de Ciências Geodésicas da UFPR;
- Verbas para transporte do equipamento de Rio Grande para Curitiba;
- Aceitação de auxílio por parte do programa de pós graduação de Ciências Geodésicas, fornecendo além de técnicos, toda infraestrutura laboratorial como por exemplo, os computadores, programas computacionais, e demais auxílios que envolveram todo processo de calibração.

Temos portanto para esta parte do trabalho, a apresentação dos principais elementos que foram necessários para geração dos dados de calibração da câmara.

4.2 Campo de calibração

Para calibração de câmaras digitais utilizando o método chamado “Câmaras Convergentes”, também conhecido como *Self Calibration*, ou ainda auto-calibração

(OLIVAS,1981), e necessário utilização de um campo de calibração com alvos que possuam orientação precisa.

Em se tratando de calibração, o campo de calibração basicamente nos fornece as posições dos alvos a serem fotografados e processados durante a calibração, fornecendo a relação entre o espaço objeto e o espaço imagem, através das equações projetivas. Por precisar basicamente de um campo de calibração, as imagens, e claro os computadores com os programas de calibração, este método é considerado como um dos métodos de maior facilidade de ser implementado.

O campo de calibração utilizado para calibração do equipamento deste trabalho, é formado por mais de 60 alvos em uma das paredes externa do Bloco VI do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, localizado em Curitiba-PR , como pode ser visto na figura 13.

As medidas dos pontos do campo de calibração foram obtidas em duas leituras. Na primeira das medidas foi utilizado um Teodolito, e na segunda medida foi utilizado uma estação total. As medidas utilizadas durante o processo de calibração do equipamento, foram referentes à média das duas medidas, e podem ser vista na tabela 2, onde podemos observar que a origem do sistema de coordenadas está no ponto 35.

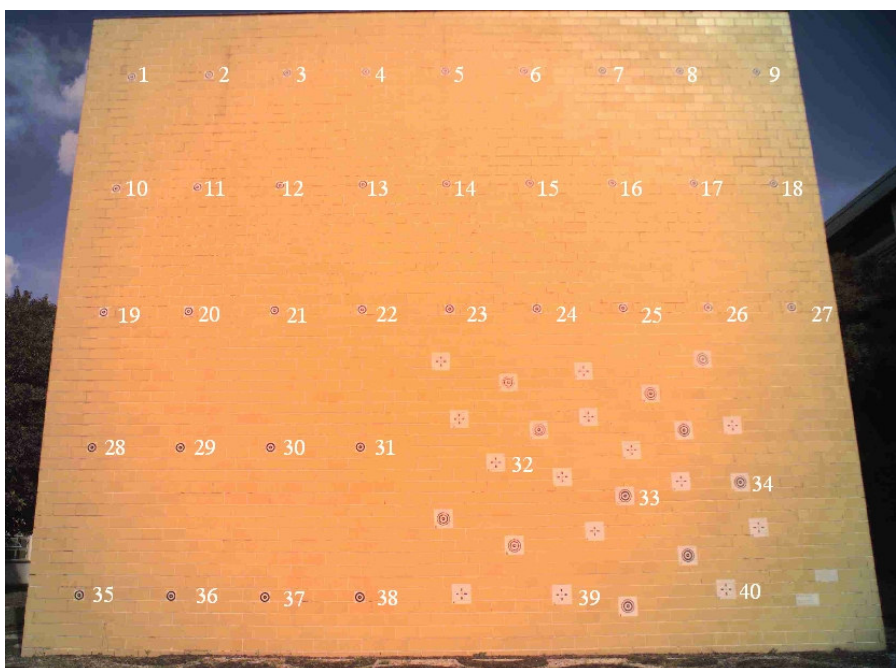


Figura 13 – Campo de Calibração de Câmaras de Pequeno Formato, da UFPR.

Tabela 2 - Pontos de controle do Campo de Calibração da UFPR.

Ponto	X(m)	Y(m)	Z(m)	Ponto	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	0.014	6.327	0.007	21	1.999	3.165	-0.005
2	1.017	6.329	0.005	22	3.004	3.167	-0.005
3	2.015	6.33	0.003	23	4.003	3.165	-0.005
4	3.013	6.329	0.002	24	5.004	3.161	-0.007
5	4.018	6.33	0.002	25	6.001	3.164	-0.006
6	5.011	6.329	0.001	26	6.999	3.163	-0.007
7	6.008	6.334	-0.002	27	7.997	3.165	-0.005
8	7.008	6.336	-0.003	28	0.005	1.589	-0.001
9	8.002	6.332	-0.005	29	1.007	1.588	-0.002
10	-0.019	4.75	0.001	30	2.015	1.59	-0.001
11	0.99	4.744	-0.001	31	3	1.59	-0.002
12	1.997	4.745	-0.004	32	4.474	1.41	-0.003
13	2.995	4.744	-0.002	33	5.869	1.03	-0.003
14	3.999	4.745	-0.004	34	7.158	1.155	-0.003
15	5.002	4.747	-0.002	35	0	0	0
16	6	4.748	-0.005	36	0.999	0.001	0
17	7.003	4.749	-0.007	37	2.002	-0.003	0.001
18	7.995	4.751	-0.007	38	3.006	0	0
19	-0.009	3.167	-0.001	39	5.129	0.005	-0.003
20	0.999	3.165	-0.002	40	6.889	0.024	-0.003

4.3 Câmara utilizada

A câmara que foi utilizada nos testes de calibração funciona em conjunto com o sistema ADAR1000 (Airbone Data Aquisition and Registration), que é um sistema completo para aquisição de fotografias aéreas digitais de pequeno formato, composto de uma câmara digital, uma vídeo câmara, um GPS de navegação e um computador (laptop). Esse sistema para aquisição de imagens, foi desenvolvido por uma empresa americana (Positive System Inc., Whitefish, Montana, USA), e adquirido pela Fundação Universidade Federal de Rio Grande.

O sistema ADAR1000 consiste de uma câmara digital DCS 460 integrada em uma base móvel ajustável que permite correções de posicionamento (crab, pit, roll) devido inclinações da aeronave durante o voo, conforme figura 14a, um receptor GPS que recebe e processa as coordenadas de cada imagem durante o voo, uma vídeo câmara

com visor em cristal líquido para acompanhamento “*real time*” da área que está sendo sobrevoada, e um computador (lap-top) que faz interface de todos os equipamentos, gerenciando a aquisição das imagens automaticamente com a posição fornecida pelo GPS. As imagens aéreas adquiridas com esse sistema foram obtidas com uma aeronave Cessna 182, previamente preparada para esse fim.

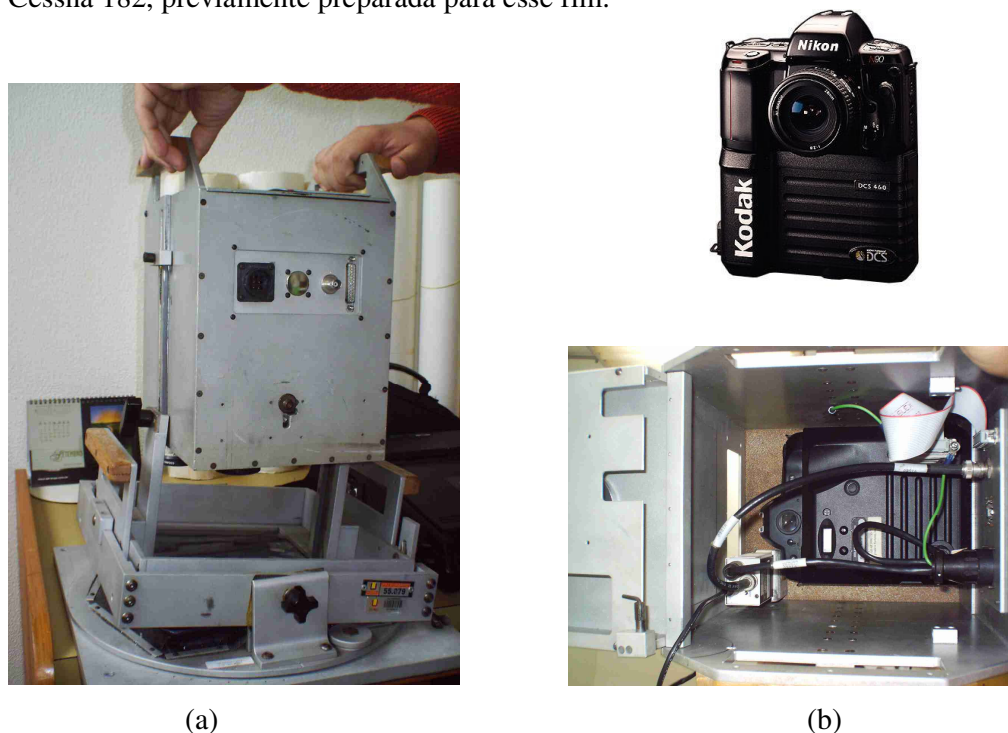


Figura 14 - Componentes do Sistema ADAR 1000. (a) encaixe da câmara à base onde é fixado o equipamento no interior da aeronave, e (b) o detalhe interno onde é colocada a câmara.

A câmara Kodak DCS460 é uma câmara padrão com corpo de uma Nikon N-90. Com relação ao sensor, temos um CCD com uma área de 508 mm², possuindo um total de seis milhões de pixels (3060 x 2036) posicionado no plano focal da câmara. A dimensão do sensor é de 27,6 x 18,4 mm, onde temos para o menor elemento (pixel) um valor de 9 x 9 µm, com uma resolução de 2800 dpi.

O sistema Adar1000 contendo basicamente todos componentes são apresentados na figura 15.

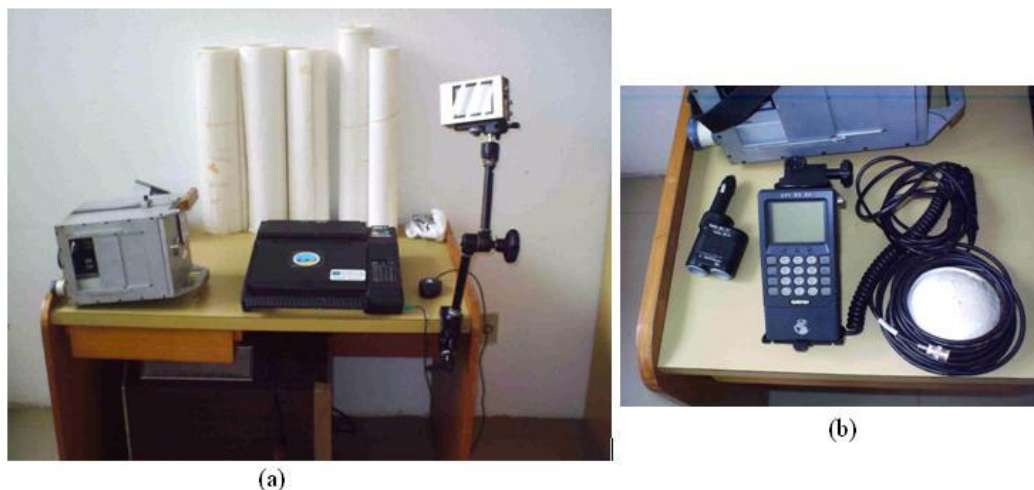


Figura 15 - Sistema ADAR1000 (a) e GPS (b)

A lente utilizada no processo de calibração que aqui será apresentado, é uma lente de distância focal de 20 mm com um ângulo de visada lateral de 69° e ângulo de visada longitudinal de 44° .

Como o sensor é monocromático, filtros especiais são necessários para separar canais específicos para formação, por exemplo, de imagens coloridas (RGB). O chip para fotografias coloridas grava as radiações do espectro visível em três canais (ou bandas) vermelho, verde e azul. Essas imagens são armazenadas no disco rígido do computador em um formato próprio da Kodak com aproximadamente 6 Mb de tamanho, esse formato é geralmente chamado de “formato bruto”. Radiometricamente falando, como temos 8 (oito) bits por cor, esta imagem é interpolada utilizando um algoritmo de interpolação para produzir imagens coloridas com formatos usuais, como por exemplo “*.TIFF”, e que possui um tamanho nominal de 18,6 Mb.

4.4 Obtenção das Imagens.

De acordo com o método de calibração das Câmaras Convergentes, precisamos obter fotografias altamente convergentes, e também rotacionadas em torno do eixo z para que não mais ocorra a dependência linear mostrada anteriormente. De acordo com Andrade (1998), o que mais chama a atenção no método de câmaras convergentes, é que se a convergência das fotos utilizadas no processo de calibração for de 90° , a deficiência de posto da matriz dos coeficientes das equações normais cai de 8 para 7. Ainda segundo Andrade, a fim de separar os coeficientes da distorção radial e simétrica

daqueles da distorção descentrada, torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo z da câmara em 90° . Logo, as condições mínimas para calibrar uma câmara por esse método exigem três fotos: duas convergentes entre si de 90° e uma com giro de χ em relação às outras de 90° .

Com utilização de imagens com distancia focal fixa (infinito), o uso de várias imagens é muito útil e facilita a convergência, pois temos nesse conjunto de imagens os mesmos parâmetros de calibração, ficando diferente apenas os parâmetros extrínsecos, e que definem a orientação externa da câmara. A situação critica de correlação entre alguns parâmetros no processo de calibração, é quebrada utilizando várias imagens simultaneamente. Na figura 16 pode-se observar o equipamento executando a tomada das primeiras imagens do campo de calibração.



Figura 16 – Execução das fotografias do campo de calibração (posição A).

O processo de obtenção das imagens para calibração da câmara foi a parte inicial do processo de calibração, em que foram necessários alguns cuidados iniciais antes da tomada das imagens do campo de calibração. Os principais cuidados durante a aquisição das imagens estavam basicamente voltados para um bom enquadramento dos alvos, bem como obtenção de imagens bem contrastadas, sem sombras, e que também

tivessem uma boa distribuição dos alvos no quadro da imagem. A importância que deve ser dada durante essa fase é essencial, visto que todas as imagens serão manipuladas via computadores, onde muitas vezes necessitamos uma boa qualidade das imagens.

Um outro fato importantíssimo, e que não é muito visto nos trabalhos que envolvem calibração de câmaras, está na boa distribuição dos alvos das imagens, pois se busca com esse processo de calibração obter os parâmetros que modelam os erros em todo o quadro do filme, ou melhor, no caso, no quadro do CCD.

Vários trabalhos já publicados atualmente, envolvendo o método de calibração por Câmaras Convergentes, utilizam várias imagens simultaneamente. O processo aqui utilizado não foi muito diferente, pois foram tiradas vinte e quatro imagens onde se selecionaram doze dessas vinte e quatro imagens para o processo de calibração. A figura 17 mostra o esquema básico que foi utilizado durante a aquisição das imagens.

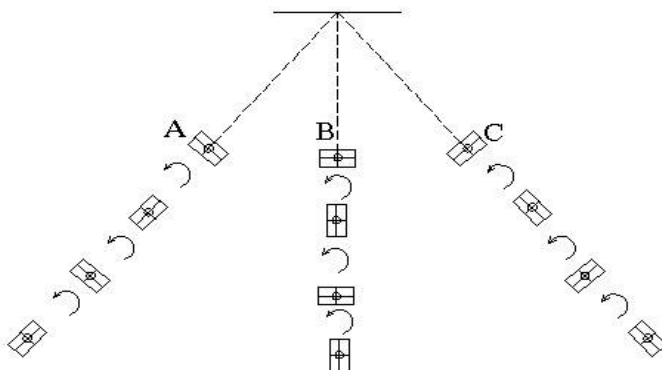


Figura 17 - Esquema de aquisição das imagens para calibração. Um total de 12 imagens utilizadas, sendo que para cada uma das posições, foram tomadas 4 imagens com 0° , 90° , 180° e 270° .

Como pode ser visto, de acordo com a figura 17, temos três posições básicas em que foram tomadas as imagens (A, B e C). Para cada posição foram escolhidas 4 (quatro) imagens na seguinte ordem: a primeira delas sem rotação (torno do eixo z), a segunda rotacionada de 90° no sentido anti-horário, a terceira rotacionada mais 90° em relação à segunda, e finalmente a quarta foto rotacionada de mais 90° , ou seja, para cada posição (A, B e C) temos quatro imagens rotacionadas sucessivamente de 90° no sentido anti-horário. A figura 18 mostra as quatro primeiras imagens, tomadas de acordo com a figura 17 da posição A.

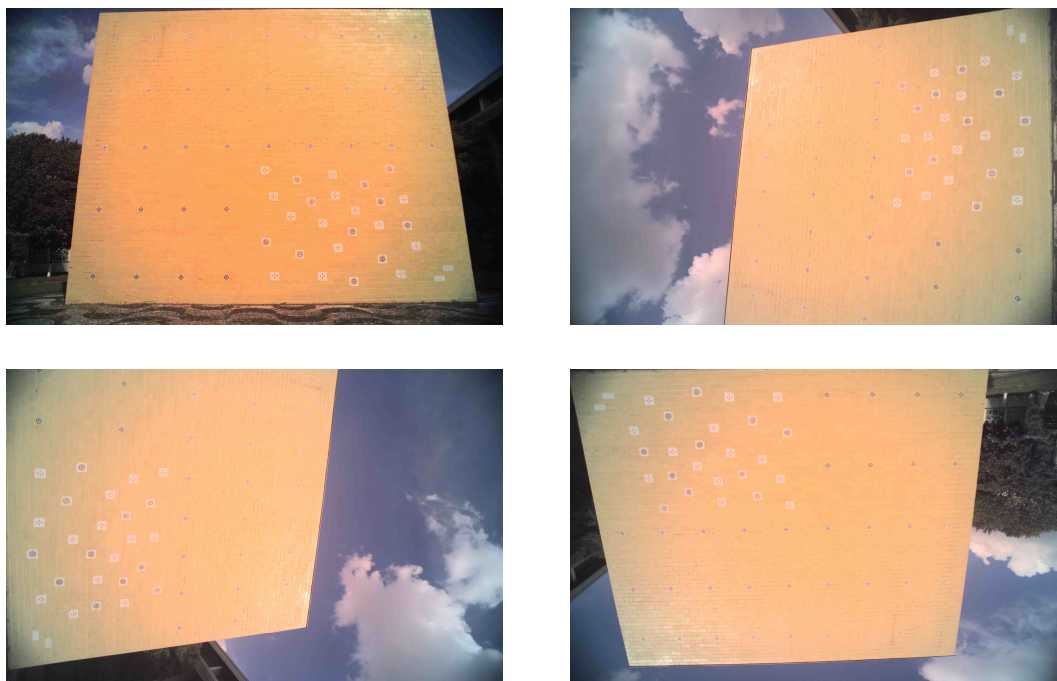


Figura 18 - Imagens tomadas no campo de calibração para a posição A.

As doze imagens utilizadas no processo de calibração são mostradas em detalhe no Anexo I desse trabalho.

4.5 Programa computacional.

Os programas utilizados para calibração da câmara aqui em estudo, foram elaborados e cedidos gentilmente pelo programa de pós-graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, o que facilitou bastante a conclusão deste trabalho.

Sabe-se que nos processos analíticos para calibração de câmaras, os dados envolvidos durante o processo de calibração envolvem matrizes de dimensões muito elevadas, o que torna necessário uma utilização de computadores para processar esses dados. Isso também foi um dos fatos que facilitou bastante o trabalho de calibração, visto que nos últimos anos houve um grande salto no que diz respeito às velocidades dos atuais processadores e também na capacidade de armazenagem de dados desses computadores.

O objetivo principal da calibração aqui estudada é a obtenção das constantes que definem a geometria interna da câmara, bem como as constantes que modelam as distorções causadas pelas lentes do equipamento. Logo, o modelo matemático utilizado no processo de triangulação analítica, foi ampliado, acrescentando nas equações

projetivas centrais, os modelos matemáticos que descrevem as distorções radial e simétrica e também a distorção descentrada do conjunto de lentes da objetiva. Temos o modelo completo utilizado no processo de calibração apresentado nas equações 29 e 30

4.6 Experiência utilizando o Método das Câmaras Convergentes.

Nesta parte do trabalho serão apresentados os principais passos elaborados durante o processo de calibração da câmara digital DCS-460, de distância focal igual a 20 mm, utilizando o método das câmaras convergentes, bem como os resultados obtidos utilizando este processo.

No processo de calibração da câmara digital utilizando no método das Câmaras Convergentes foram utilizadas doze imagens do Campo de Calibração conforme indicado no processo de obtenção das imagens.

Os programas utilizados durante o processo de calibração tinham algumas rotinas diferentes entre si. O primeiro deles foi utilizado para realização da orientação interior, que é um passo fundamental no processo de calibração, pois temos realização do sistema inicial de referência da imagem de simplesmente coordenadas de pixel para um sistema de coordenadas métricas. Esse passo é de fundamental importância em trabalhos de fotogrametria, e no que diz respeito à parte de fotogrametria digital, essa rotina de transformação é bastante conhecida.

Diferentemente dos sistemas de aquisição de imagens fotogramétricas convencional, o sistema digital não possui as marcas fiduciais, que servem para materializar o sistema de coordenadas das imagens. Temos nas imagens digitais obtidas com o sistema ADAR1000 inicialmente informações apenas de localização dos pixels, sem nenhuma referência de medida conhecida, conforme ilustrado na figura 19. Entretanto para contornar esse problema de falta de marcas fiduciais, utilizou-se os quatro cantos de cada uma das imagens como sendo as marcas fiduciais, para a partir daí se poder materializar o sistema de coordenadas.

Como se conhece, através dos manuais técnicos da câmara, as dimensões do sensor CCD da câmara digital possui 27,6 x 18,4 mm. Para realização da orientação interior das imagens, utilizou-se a transformada afim geral.

Como foram utilizadas 12 (doze) imagens durante o processo de calibração, sendo que para cada imagem foram realizadas três leituras das marcas fiduciais, bem

como a leitura dos pontos de controle, os resultados da orientação interior aqui apresentado será o da primeira imagem, estando os demais resultados em anexo.

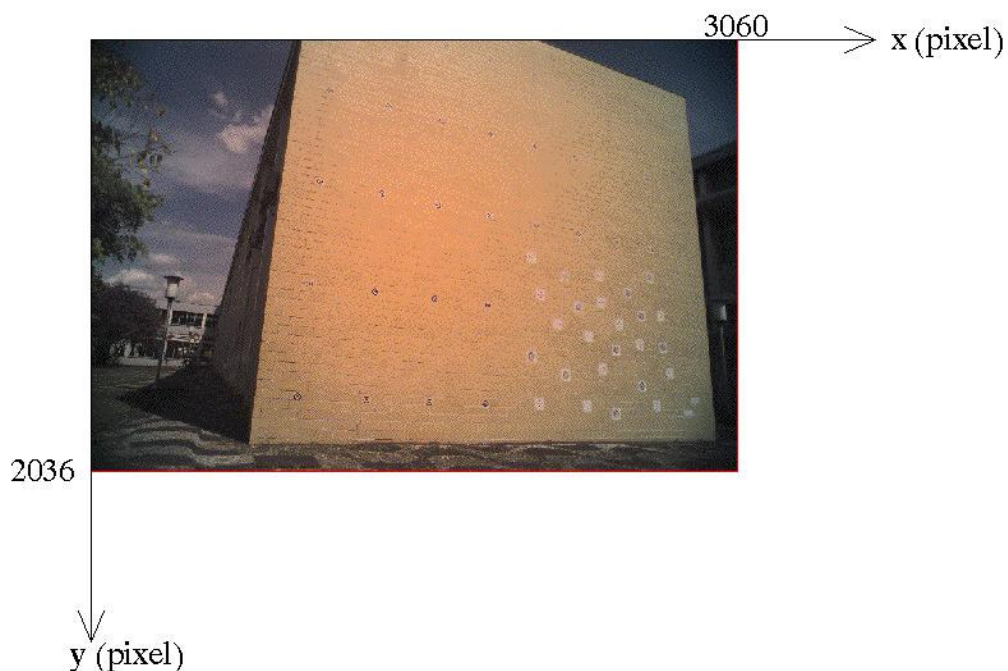


Figura 19 - Sistema de Coordenadas digital, onde temos apenas informações sobre a posição de cada pixel.

O sistema de coordenadas imagem com as leituras das marcas fiduciais podem ser vista na figura 20, e a ferramenta utilizada para demarcação dos alvos bem como os quatro cantos da imagem (no caso deste trabalho são as marcas fiduciais) para o exemplo da imagem mostrada foi feito utilizando um programa computacional desenvolvido pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, e baseado num módulo IRAS do software MicroStation, da Intergraph. . Os dados das leituras das fotocoordenadas da foto 01 são apresentados na Tabela 3

Leitura "1a" das Marcas Fiduciais Imagem 1

1	-6.000	9.000	1
2	305999.000	9.000	1
3	305999.000	-203598.000	1
4	-6.000	-203598.000	1

Tabela 3 - Leitura "1a" dos Pontos da Imagem 1 – coordenadas de máquina (pixel).

Ponto	X	Y	Ponto	X	Y
35	97433	-168364	25	248607	-95283
36	130003	-169741	26	265271	-98745
37	159682	-170958	27	265241	-98715
38	186418	-171626	10	112940	-23669
39	234625	-172475	11	140465	-31054
40	267585	-172584	12	165735	-37779
28	103057	-114840	13	188732	-44224
29	134022	-118712	14	209824	-50161
30	162364	-122135	15	229061	-55630
31	187455	-125148	16	246692	-60709
32	220684	-133800	17	262948	-65448
33	248317	-146232	18	277707	-69749
34	270626	-145074	9	274925	-40044
19	108054	-66576	8	260394	-34775
20	137364	-72443	7	244728	-29107
21	164040	-77761	6	227764	-23150
22	188403	-82721	5	209485	-16695
23	210412	-87271	4	189330	-9710
24	230407	-91511	3	167580	-2316

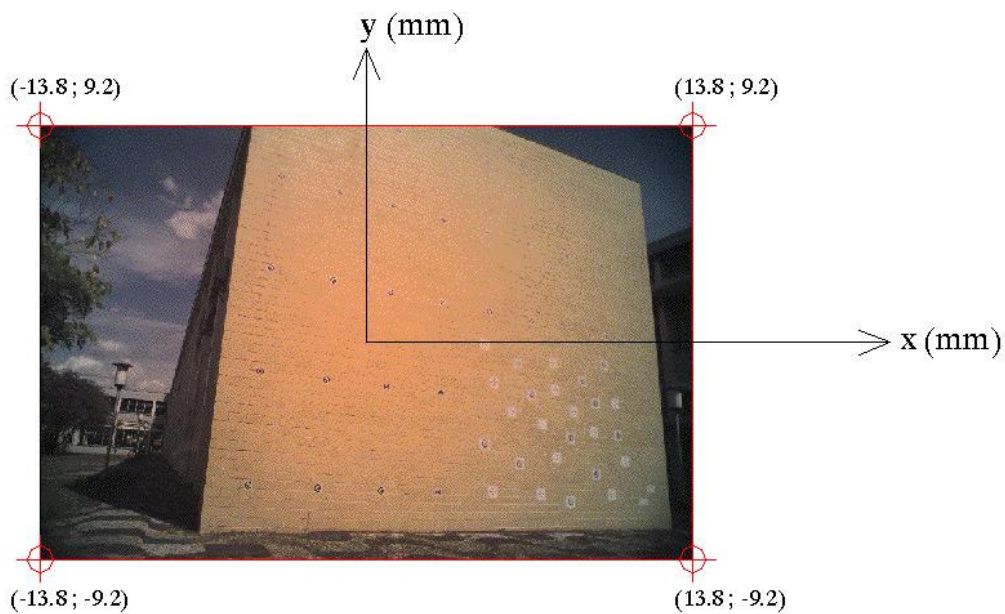


Figura 20 - Foto01, leitura das coordenadas fotogramétricas e marca fiducial.

Aplicando-se a transformação afim geral às três leituras de cada imagem, utilizando o programa de orientação interior, foi gerado um novo arquivo contendo as novas coordenadas fotogramétricas (mm) de cada uma das leituras. O resultado apresentado na tabela 4 são referentes às médias das leituras realizadas com a primeira imagem, demais arquivos contendo todos pontos e seus respectivos resíduos estão apresentado no Anexo II .

Tabela 4 – Média das três leituras dos pontos para a imagem 1 – coordenada fotogramétricas (mm).

Ponto	X(mm)	Y(mm)	R X	R Y	Ponto	X(mm)	Y(mm)	R X	R Y
3	1,317	8,985	0,002	0,001	22	3,193	1,723	0,001	0,002
4	3,279	8,318	0,001	0,002	23	5,178	1,311	0,001	0,001
5	5,095	7,688	0,002	0,001	24	6,984	0,928	0	0,001
6	6,747	7,106	0,001	0,001	25	8,621	0,59	0,001	0,001
7	8,277	6,565	0,001	0,002	26	10,125	0,272	0,002	0,001
8	9,69	6,055	0,001	0,001	27	11,504	-0,012	0,003	0,002
9	10,997	5,578	0,002	0,001	28	-4,505	-1,179	0,001	0,001
10	-3,614	7,059	0,001	0,002	29	-1,71	-1,531	0,001	0
11	-1,131	6,392	0	0,002	30	0,845	-1,84	0,001	0,001
12	1,148	5,784	0,001	0,001	31	3,109	-2,111	0,002	0,001
13	3,223	5,201	0,001	0,001	32	6,105	-2,891	0,002	0,001
14	5,126	4,664	0,001	0,001	33	8,597	-4,014	0,001	0,002
15	6,86	4,171	0,001	0,001	34	10,611	-3,911	0,001	0,002
16	8,451	3,712	0,001	0,002	35	-5,013	-6,015	0,001	0,001
17	9,913	3,286	0,002	0,002	36	-2,075	-6,141	0,001	0,001
18	11,251	2,896	0,001	0,002	37	0,603	-6,249	0,001	0,001
19	-4,056	3,182	0,002	0,001	38	3,016	-6,311	0,001	0
20	-1,41	2,653	0,001	0,002	39	7,362	-6,389	0,001	0,003
21	0,995	2,169	0,001	0,001	40	10,336	-6,399	0,001	0,002

A tabela 4 mostra o resultado obtido com a média das (três) leituras da imagem 01, bem como seus resíduos. O processo de orientação interior estava a partir daqui definido, ou seja, tinha-se para cada imagem uma leitura que representava a média de três leituras de coordenadas fotogramétricas, em milímetros.

A partir dos resultados da orientação interior, foi dado início ao seguinte passo, em uma outra rotina computacional, que era tratar o problema da orientação exterior, reconhecendo os elementos que definem a posição e altitude de cada uma das fotos em

relação ao referencial do espaço objeto utilizado, no caso o referencial dos pontos do campo de calibração.

As imagens estarão orientadas externamente, quando se conhecer os seis parâmetros que definem sua orientação externa, ou seja, as coordenadas no espaço objeto do centro perspectivo de onde são tomadas as imagens, bem como os ângulos de rotação do sensor. Os parâmetros X_0, Y_0 e Z_0 representam a posição do centro perspectivo no sistema de coordenadas do espaço objeto, e os ângulos de Euler nos dão informações a respeito das rotações ocorridas pelo sistema de coordenadas da câmara em relação ao sistema de coordenadas do espaço objeto. O programa “orientac.exe” foi o programa utilizado para realizar a orientação externa das doze imagens utilizadas durante o processo de calibração. O arquivo de entrada basicamente consiste das coordenadas dos pontos tanto no espaço objeto como no espaço imagem, e também o valor da distância focal, e escala aproximada. No total das 12 (doze) imagens, tivemos uma média de 38,25 pontos lidos em cada imagem, sendo que para cada imagem realizaram-se três leituras, totalizando mais de 1350 leituras. O resultado mostrado abaixo refere-se aos parâmetros de orientação externa da primeira imagem, bem como suas precisões.

N. de ptos anal. = 38 média dos resíduos = 0,298 0,313 0,328

Erro medio quadratico em X,Y,Z = 0,475 0,507 0,529

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Parâmetro Kappa = 0,1553757809 +/- 0,0101501294

Parâmetro Phi = -0,3909537266 +/- 0,0196523594

Parâmetro ômega = 0,2596054691 +/- 0,0231627534

Parâmetro Xo = -0,2487095048 +/- 0,1332454711

Parâmetro Yo = 0,4465972288 +/- 0,1778265517

Parâmetro Zo = 6,7352593175 +/- 0,1768610635

Valores da Matriz de Rotação

0,913408451420	0,052923773242	0,403588992788
-0,143074761496	0,969986293433	0,196611808329
-0,381070352425	-0,237330286262	0,893565734418
1 0	-1,249 0,447	6,735 14,874 -22,400 8,902

O resultado dos parâmetros de orientação externa apresentados na Tabela 5, é um resultado parcial dos parâmetros de orientação externa no arquivo de saída para a primeira imagem, estando os resultados completos das demais imagens no AnexoII deste trabalho.

Tabela 5 - Resultados dos Parâmetros de orientação externa das 12 imagens utilizadas no processo de calibração.

Foto	X0(m)	Y0(m)	Z0(m)	ω	ϕ	κ
1	-1,219	0,45	6,845	15,063	-21,255	8,984
2	-1,28	0,425	6,671	33,507	-29,956	107,341
3	-1,26	0,399	6,665	18,851	-21,16	188,932
4	-1,26	0,436	6,692	30,461	-26,345	286,159
5	3,589	0,5	8,423	14,605	0,224	359,545
6	3,554	0,407	8,419	28,334	-9,662	95,271
7	3,569	0,455	8,415	17,31	1,601	178,547
8	3,573	0,426	8,502	27,112	-7,439	274,206
9	9,143	0,727	8,273	14,379	35,995	352,374
10	9,117	0,66	8,382	26,031	24,245	83,038
11	9,136	0,684	8,26	17,45	36,728	170,785
12	9,081	0,678	8,372	25,836	24,356	260,967

Concluído o processo de obtenção dos elementos da orientação exterior de cada imagem, finalmente aplicamos o modelo matemático completo para calibração de câmaras, utilizando o aplicativo para calibração, “calibra.exe”, do Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR para realizar a calibração da câmara em estudo. Os dados de entrada utilizados no programa de calibração contém informações das doze imagens, como coordenadas dos alvos (espaço-objeto), leitura dos pontos na imagem e os elementos de orientação externa de cada uma das imagens.

O programa utilizado para a calibração também pode ser utilizado para fototriangulação analítica, permitindo ao usuário, antes de processar os dados, definir o numero máximo de iterações a serem feitas durante a calibração.

O resultado completo fornecido pelo programa de calibração após o ajustamento, contém informações sobre a análise estatística dos dados através da interpretação das matrizes de variância-covariância, e é mostrado em detalhes no Anexo III deste trabalho. Os principais dados de saídas serão mostrado a seguir.

4.6.1 Resultados Obtidos.

4.6.1.1 Análise Estatística:

CONVERGED: ITERATIONS= 6
 A PRIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT= 1,0000
 A POSTERIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT=0,1054E+01
 COMPUTED CHI SQUARED=0,8876E+03
 DEGREES OF FREEDOM= 842

4.6.1.2 Orientação externa ajustada e resíduos das coordenadas fotográficas:

PHOTO 1

XC= -1,219
 YC= 0,450
 ZC= 6,845
 OMEGA= 15,06260
 PHI= -21,25514
 KAPPA= 8,98371

POINT	VX(m)	VY(m)
3	0,003	-0,004
4	0,006	-0,004
5	0,004	-0,006
6	0,001	-0,007
7	0,000	-0,006
8	0,000	-0,004
9	0,001	-0,004
10	-0,007	0,002
11	-0,002	0,001
12	0,002	-0,001
13	0,004	-0,002
14	0,005	-0,001
15	0,006	-0,004
16	0,001	-0,002
17	0,002	-0,002
18	-0,004	0,000
19	-0,007	0,000
20	-0,001	-0,001
21	0,002	0,000
22	0,005	0,001
23	0,006	0,001
24	0,004	0,002
25	0,004	0,004
26	-0,002	0,005

27	-0,002	0,004
28	-0,009	-0,005
29	-0,002	0,000
30	0,000	0,001
31	0,003	0,003
32	0,003	0,006
33	-0,001	0,009
34	-0,003	0,012
35	-0,008	-0,007
36	-0,004	-0,003
37	-0,001	0,000
38	0,000	0,003
39	0,000	0,011

4.6.1.3 Coordenadas dos pontos de controle no campo (ajustadas):

POINT	KODE	XG(m)	YG(m)	ZG(m)
1	3,000	0,018	6,327	0,000
2	3,000	1,019	6,327	0,000
3	3,000	2,015	6,329	-0,002
4	3,000	3,015	6,330	-0,002
5	3,000	4,018	6,329	-0,003
6	3,000	5,011	6,331	-0,004
7	3,000	6,008	6,336	-0,003
8	3,000	7,008	6,339	-0,004
9	3,000	8,004	6,336	-0,003
10	3,000	-0,015	4,750	0,001
11	3,000	0,992	4,744	0,002
12	3,000	1,997	4,747	0,002
13	3,000	2,996	4,743	0,001
14	3,000	3,998	4,744	0,000
15	3,000	5,000	4,747	-0,002
16	3,000	5,999	4,749	-0,002
17	3,000	7,003	4,751	-0,002
18	3,000	7,996	4,753	-0,003
19	3,000	-0,006	3,167	0,001
20	3,000	1,000	3,165	0,001
21	3,000	2,000	3,165	0,001
22	3,000	3,003	3,166	0,000
23	3,000	4,003	3,166	-0,002
24	3,000	5,002	3,163	-0,003
25	3,000	5,999	3,165	-0,004
26	3,000	6,999	3,164	-0,005
27	3,000	7,998	3,166	-0,006
28	3,000	0,006	1,587	0,000
29	3,000	1,009	1,588	-0,001
30	3,000	2,013	1,589	-0,001
31	3,000	2,998	1,590	-0,003
32	3,000	4,472	1,411	-0,005
33	3,000	5,866	1,029	-0,006
34	3,000	7,157	1,153	-0,007
35	3,000	0,001	-0,001	0,002

36	3,000	0,998	0,000	-0,002
37	3,000	2,001	-0,004	-0,002
38	3,000	3,004	-0,002	-0,004
39	3,000	5,127	0,003	-0,006
40	3,000	6,889	0,020	-0,009

4.6.1.4 Resíduos dos pontos controle :

POINT	VX(m)	VY(m)	VZ(m)
1	0,004	0,000	-0,007
2	0,002	-0,002	-0,005
3	0,000	-0,001	-0,005
4	0,002	0,001	-0,004
5	0,000	-0,001	-0,005
6	0,000	0,002	-0,005
7	0,000	0,002	-0,001
8	0,000	0,003	-0,001
9	0,002	0,004	0,002
10	0,004	0,000	0,000
11	0,002	0,000	0,003
12	0,000	0,002	0,006
13	0,001	-0,001	0,003
14	-0,001	-0,001	0,004
15	-0,003	0,000	0,000
16	-0,002	0,001	0,003
17	0,000	0,002	0,005
18	0,001	0,002	0,004
19	0,003	0,000	0,002
20	0,001	-0,001	0,003
21	0,001	-0,001	0,006
22	-0,001	-0,001	0,005
23	-0,001	0,001	0,003
24	-0,002	0,002	0,004
25	-0,002	0,001	0,003
26	-0,001	0,001	0,002
27	0,001	0,001	-0,001
28	0,001	-0,002	0,001
29	0,002	0,000	0,001
30	-0,002	-0,001	0,000
31	-0,002	0,000	-0,001
32	-0,002	0,001	-0,002
33	-0,003	-0,001	-0,003
34	-0,001	-0,002	-0,004
35	0,001	-0,001	0,002
36	-0,001	-0,001	-0,002
37	-0,001	-0,001	-0,003
38	-0,002	-0,002	-0,004
39	-0,002	-0,002	-0,003
40	0,000	-0,004	-0,006

4.6.1.5 Calibração da Câmara

Finalmente os parâmetros de calibração da câmara digital, gerados com o Método das Câmaras Convergentes, são mostrados a seguir.

	Valor	Resíduos
F=	20,4721mm	0,0086
CX=	-0,2201mm	0,006
CY=	0,1772mm	0,0058
constantes		
CK1=	-0,27779548D-03mm ⁻²	0,45553530D-05
CK2=	0,29131078D-06mm ⁻⁴	0,46650169D-07
Ck3=	0,81717697D-09mm ⁻⁶	0,14490604D-09
CP1=	0,15000802D-04mm ⁻²	0,45117474D-05
CP2=	0,10449000D-04mm ⁻²	0,42303818D-05

4,6,1,6 Matriz variância-covariância dos elementos de orientação externa, usando a variância da unidade de peso a priori,

PHOTO 1

OMEGA 6,4446D-04

PHI 2,2624D-05 6,0923D-04

KAPPA 1,9759D-04 -2,6493D-05 1,6725D-04

XC 7,3133D-06 5,2389D-05 -2,0432D-06 1,0797D-05

YC -4,1430D-05 -4,4467D-06 -9,5710D-06 4,8571D-07 6,5715D-06

ZC -2,2003D-05 -5,4351D-06 -6,7539D-06 -4,9784D-06 -2,2513D-07 1,1403D-05

4,6,1,7 Matriz variância-covariância dos pontos, usando a variância da unidade de peso a priori,

POINT 1

XG 1,0010D-06

YG -1,8285D-07 1,3991D-06

ZG 1,2270D-07 -4,6840D-07 2,0526D-06

4,6,1,8 Matriz variância-covariância dos elementos de calibração da câmara, usando a variância da unidade de peso a priori,

F	7,4243D-05								
CX	-4,9629D-08	3,6488D-05							
CY	-2,9060D-06	1,9690D-06	3,3432D-05						
K1	-3,3281D-09	-1,0713D-10	-6,9267D-11	2,0751D-11					
K2	6,6291D-11	4,0846D-12	-2,5711D-12	-2,0302D-13	2,1762D-15				
K3	-1,6416D-13	-2,0797D-14	8,4737D-15	5,8892D-16	-6,6226D-18	2,0998D-20			
P1	5,9973D-10	2,3838D-08	2,3085D-09	4,4348D-13	-3,2176D-15	1,0716D-17	2,0356D-11		
P2	-1,4347D-09	-2,7232D-10	2,0775D-08	-8,9931D-13	6,6269D-15	-1,8907D-17	1,4695D-13	1,7896D-11	

Com os resultados das constantes que definem o modelo da distorção descentrada gerou-se um gráfico mostrado na figura 21, e com os resultados das constantes da distorção radial simétrica, um outro gráfico representado na figura 22. O gráfico da figura 23 representa o resultante das duas distorções consideradas no presente trabalho.

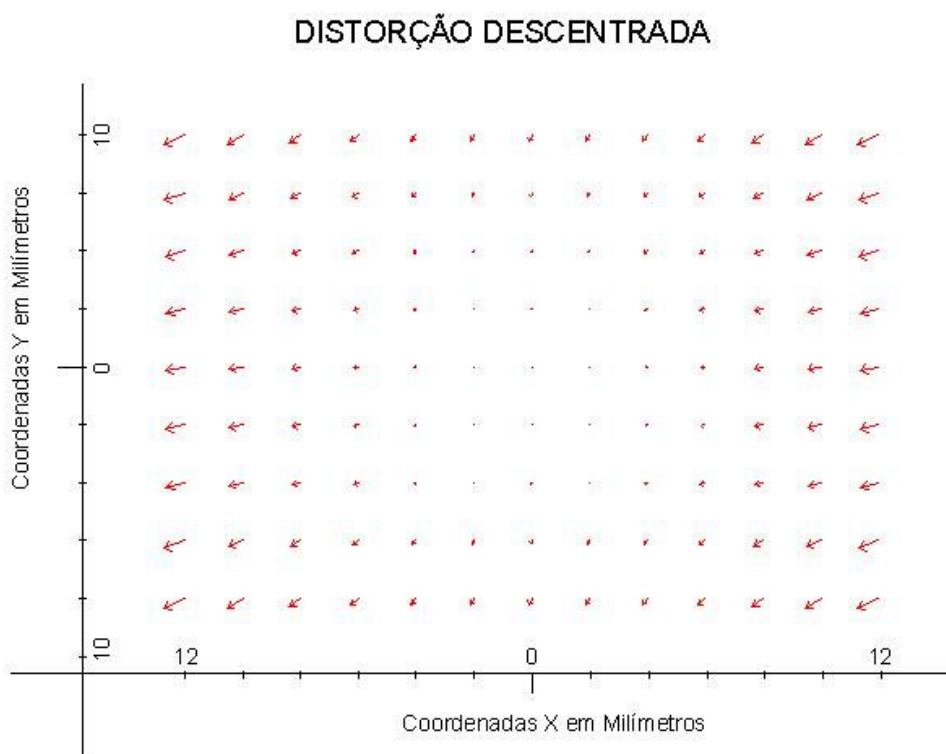


Figura 21 - Representação Vetorial da Distorção Descentrada.(exgero x.100)

Como os valores para a distorção descentrada foram bastante pequenos em relação aos valores da distorção radial simétrica, e como ficaria difícil visualização dos vetores deslocamentos, foi feito um exagero visual do tamanho dos resíduos em 100 (cem) vezes, e o resultado é mostrado na figura 21.

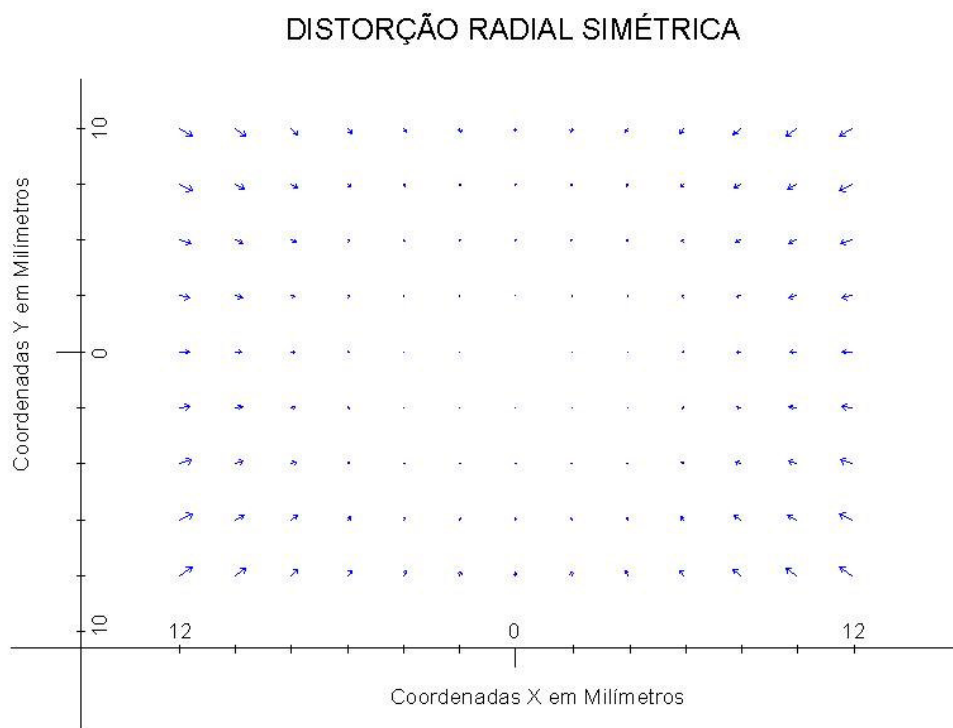


Figura 22 - Representação Vetorial da Distorção Radial Simétrica.

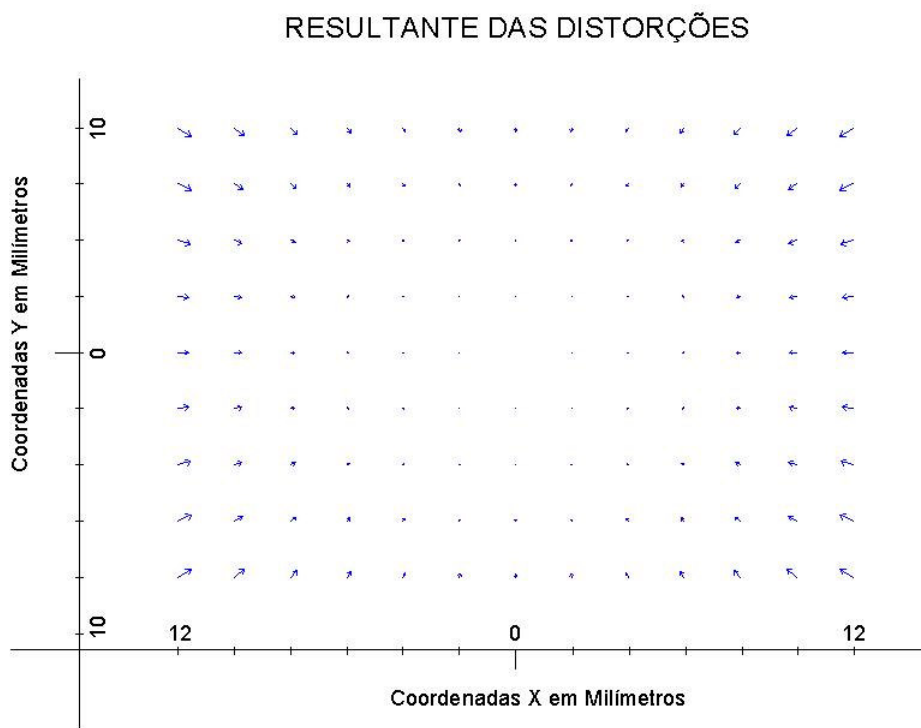


Figura 23 - Representação Vetorial da Resultante das Distorções.

4.6.2 Análise dos Resultados obtidos.

Os resultados apresentados anteriormente, referente à calibração utilizando o Método das Câmaras Convergentes, foram suficientes para avaliar a qualidade final do trabalho.

Como anteriormente ao processo de calibração não se conhecia nenhum dos elementos que formam a geometria interna da câmara, bem como o conhecimento dos parâmetros que modelam as distorções, observa-se que o objetivo final do trabalho foi alcançado.

Para realização do processo de calibração descrito anteriormente, era necessário se ter, no mínimo três imagens. Como trabalhamos com superabundância de dados, usando para este processo de calibração descrito anteriormente 12 imagens, com aproximadamente 40 pontos de controle conhecido em cada uma dessas imagens, e analisando a matriz variância-covariância dos parâmetros, pode-se afirmar que os dados obtidos no resultado final são confiáveis.

Analisando-se os resultados apresentados em 4.3.1.6, observa-se que a constante k_3 , referente à distorção radial simétrica, possui valores não significativos, ou seja, seus desvios padrões possuem valores muito próximos aos dos valores ajustados.

CAPÍTULO 5

APLICAÇÃO DOS ELEMENTOS DE CALIBRAÇÃO

Os dados gerados no processo de calibração serão agora aplicados na geração de uma ortofoto na região de Porto Alegre apresentada na figura 24.

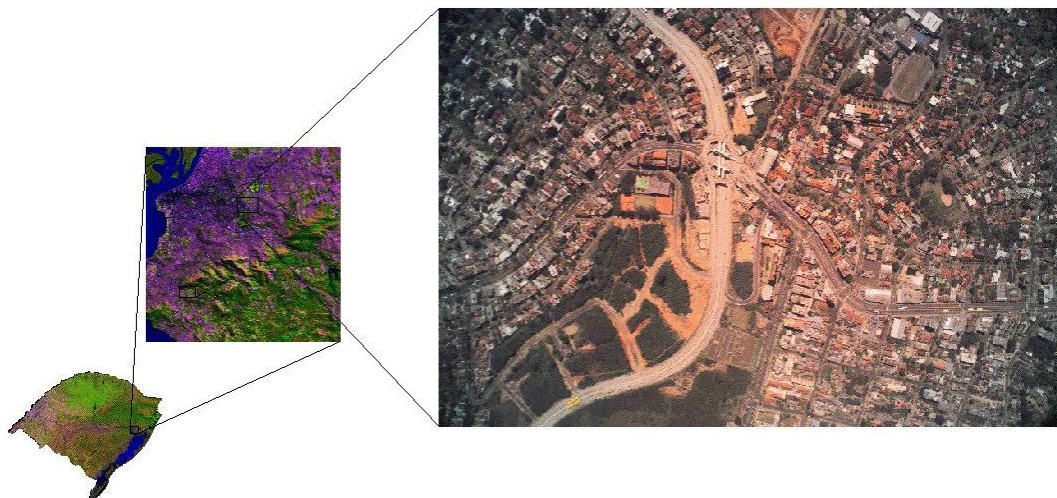


Figura 24 – Área de Estudo. (esquerda e centro) Imagem Landsat7 composição 5-4-3 RS (fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite) e (direita) Imagem do ADAR1000 35 mm do município de Porto Alegre.

Uma ortofoto consiste em uma foto corrigida geometricamente das distorções causadas pela variação de posição e altitude da plataforma, bem como a da superfície física da terra e também a projeção cartográfica. O modelo para geração de uma ortofoto precisa obrigatoriamente de um modelo digital do terreno (MDT) para correção da imagem devido à altitude do terreno em cada ponto.

A conclusão desta parte do trabalho somente tornou-se possível devido à Prefeitura Municipal de Porto Alegre ter disponibilizado para uso exclusivo no trabalho, duas cartas de planimetria e altimetria da região em estudo, bem como as imagens Quick Bird correspondentes à essas duas cartas, na escala 1:1000, sistema de projeção UTM, datum Córrego Alegre zona 22S. Outro fator que possibilitou a realização do trabalho foi o de a Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), através do Laboratório de Oceanografia Geológica - Setor de Sensoriamento Remoto e Levantamentos Aéreos - ter realizado em outubro de 2003, um levantamento fotográfico utilizando o sistema de aquisição de imagens digitais ADAR1000, disponibilizando as imagens, para, a partir daí realizarem-se os testes de geração de ortofotos a partir de imagens digitais.

5.1 Modelo Digital do Terreno.

O modelo digital do terreno é uma das formas de se representar a superfície terrestre ou uma porção dela, com coordenadas tridimensionais (X,Y e Z) dispostos numa malha regular. Uma outra forma de se representar a superfície terrestre é através das curvas de nível, e normalmente é através dela ou de uma rede de pontos com coordenadas x, y e z, é que são gerados os modelos digitais do terreno utilizando softwares para interpolação dos dados. As curvas de nível utilizadas para geração do MDT podem ser vista na figura 25.

Antes de gerar o modelo digital do terreno, entretanto, utilizando as curvas de nível, foi necessária uma correção dos arquivos, devido os mesmo possuírem, na sua grande maioria, isolinhas descontínuas e principalmente não conterem o atributo que caracteriza a elevação ligada a cada elemento (isolinhas).

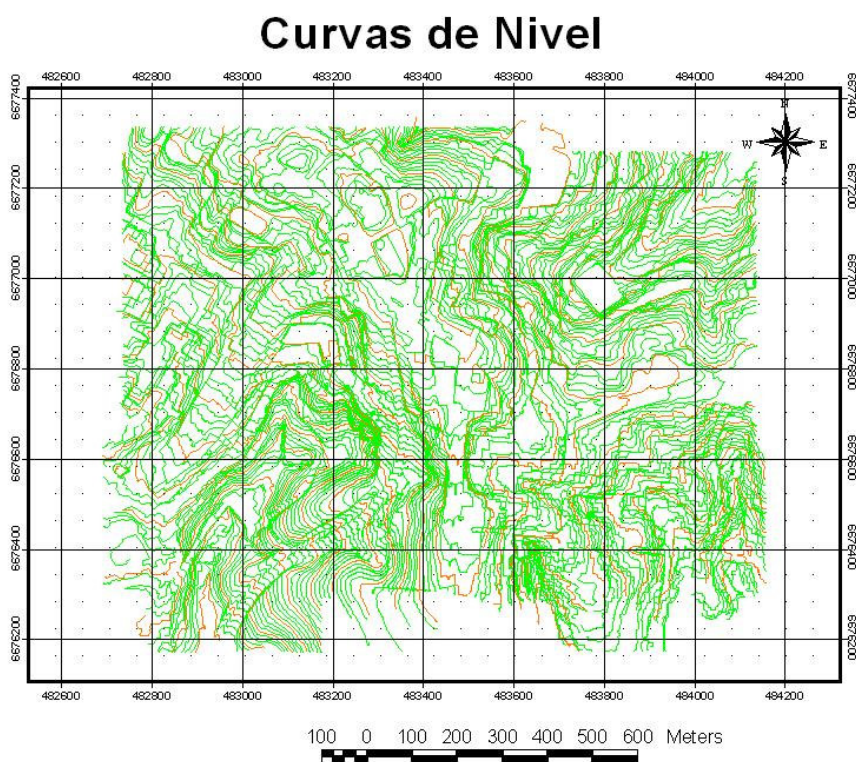


Figura 25 – Curvas de nível com equidistância de um metro.

Foi bastante trabalhoso processo de revisão das curvas de nível, mas finalmente, com uma ferramenta do software Envi 3.6 gerou-se o Modelo Digital do Terreno, utilizando a curva de nível correspondente à área em estudo.

O Modelo Digital do Terreno mostrado na figura 26, foi gerado por interpolação das curvas de nível apresentando-se com 256 tons de cinza (ou níveis de cinza) distribuídos em uma matriz de 1467 x 1187 pixels gerada na triangulação, fornecendo como saída uma imagem com resolução de 1 metro, onde temos cada um desses elementos indicando uma altura. De acordo com a figura 26 temos áreas variando do tom mais escuro até o tom mais claro, respectivamente representando as menores e maiores alturas.

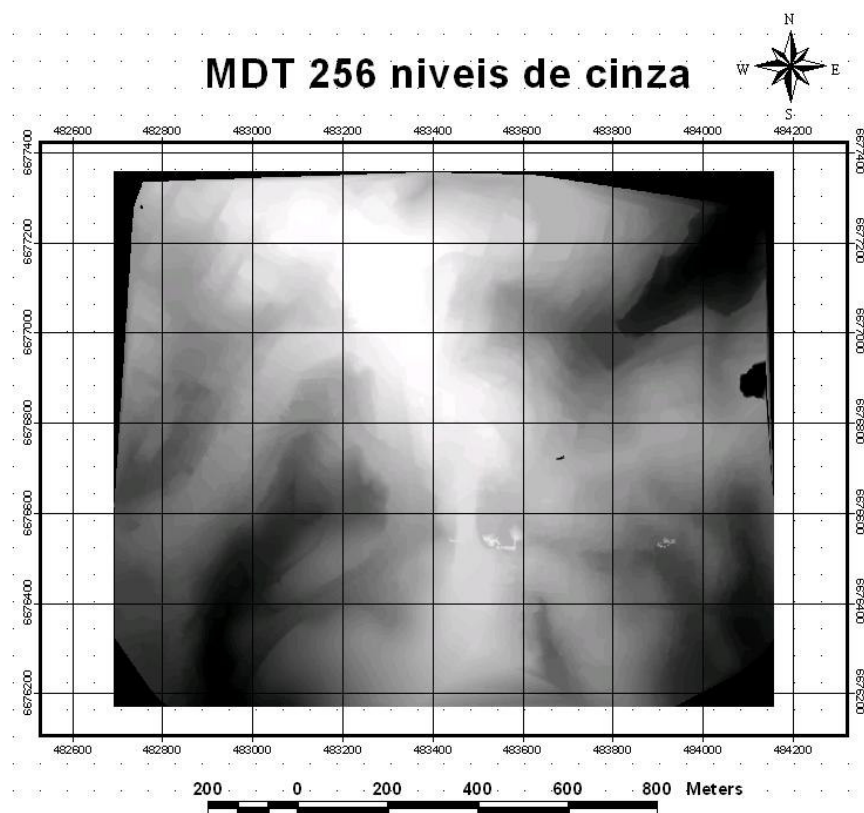


Figura 26 – Modelo Digital do Terreno (MDT), ou Modelo Numérico de Elevação (MNE) representado em 256 níveis de cinza, indo do mais claro (maior altitude), ate o mais escuro (menores alturas).

Como já se conhece os elementos que definem a geometria interna da câmara, as constantes que definem o modelo matemático das distorções, uma foto aérea teste e um modelo digital do terreno da região em estudo, o próximo passo é a geração da ortofoto.

5.2 Imagem Utilizada.

A imagem teste utilizada para realização da ortorretificação, foi a imagem LV01005, que corresponde à quinta imagem registrada na primeira linha de vôo realizada pelo Setor de Sensoriamento Remoto e Levantamentos Aéreos do Laboratório de Oceanografia Geológica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), no mês de outubro de 2003, na região de Porto Alegre. Para visualização das quatro linhas de vôo realizadas neste levantamento, foi montado um mosaico não controlado representado na figura 27.

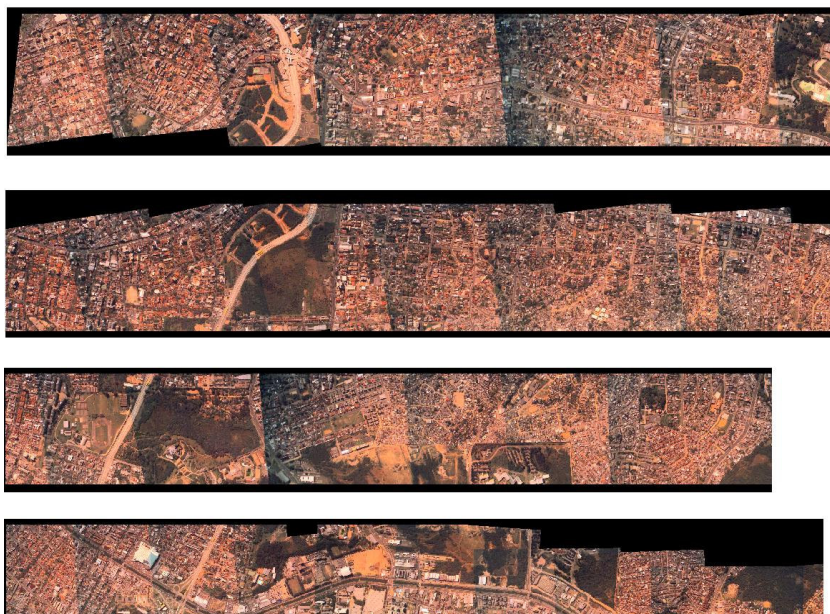


Figura 27 - Esquema das linhas de vôo realizadas no Levantamento Aéreo em outubro de 2003 em Porto Alegre. Câmera utilizada Kodak DCS460 Altura média de vôo de 1100m.

Como o equipamento fotográfico funciona em conjunto com o que se chama de Sistema ADAR100 de aquisição de imagens digitais, acompanhado de um receptor GPS, é dada ao final do levantamento, para cada imagem, a posição geográfica, em Latitude e Longitude, do centro de cada uma dessas imagens. A figura utilizada em questão já foi apresentada anteriormente (figura 24). Os dados gerados pelo arquivo de saída que acompanha cada imagem estão representados logo abaixo. O resultado desses dados para as demais imagens pode ser visto no Anexo IV.

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **lv001005.TIF**
Scene #: 5 Capture Time: 2003:10:01 15:46:24
Latitude: 30.03955 Deg. S Longitude: 51.17295 Deg. W
Altitude: 3606 ft.
Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
Time of Closest GPS Fix: 15:46:24

5.3 – Geração da Ortofoto.

Como foi dito anteriormente, o processo para geração de uma ortofoto necessita conhecimento prévio de alguns elementos. São identificados pontos na imagem (coordenadas em pixel), e a partir dos elementos que definem a orientação interna chega-se às coordenadas fotogramétricas. Os mesmos pontos conhecidos na imagem são identificados na leitura das coordenadas feita na base em que se está trabalhando, conseguindo-se assim os pontos de controle com coordenadas tridimensionais (X, Y e Z). Até aqui tudo se repete como no processo de preparação dos dados para calibração. Como já se tem os dados da distância focal calibrada e posição do ponto principal, vindos da calibração, o trabalho agora é de determinação dos elementos de orientação externa (X, Y, Z, χ , ϕ e ω) mostrado com detalhe na figura 28.

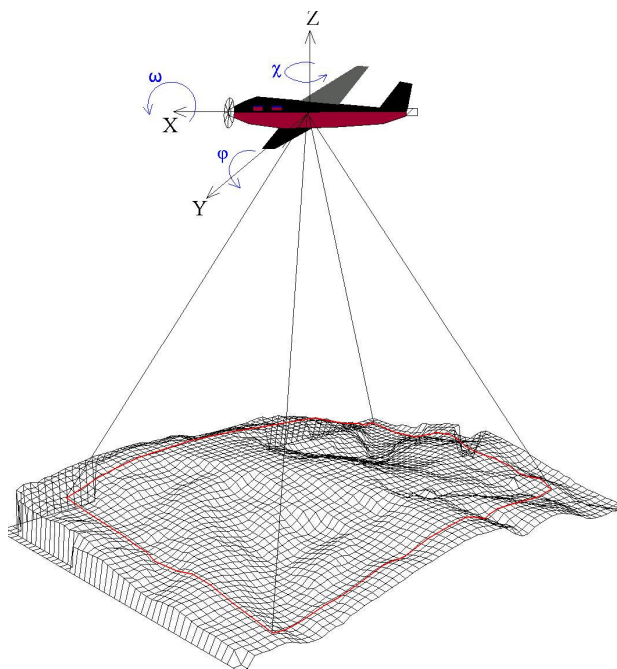


Figura 28 - Detalhe do posicionamento do centro perspectivo. Onde χ , ϕ e ω são os ângulos de rotação.

Escolhido na imagem um número razoável de pontos de controle, pode se estabelecer o vínculo matemático de que o ponto imagem, o centro perspectivo e o ponto de controle situam-se na mesma reta, podendo-se assim aplicar as equações projetivas para determinar os outros parâmetros de orientação exterior. Esta rotina computacional foi realizada em ambiente Windows, utilizando o software ENVI 3.6, e o resultado dos elementos de orientação interna e externa utilizando 6 pontos de controle, são mostrados logo abaixo. Com os elementos de orientação interna conhecidos, como as marcas fiduciais e distância focal calibrada, determinados anteriormente no processo de calibração, e utilizando-se das equações projetivas, determinam-se os valores das incógnitas descritas acima, e que serão utilizadas no processo final de geração da ortofoto. Os elementos da orientação interior, da mesma forma como foi obtido no processo de calibração, visto no item 4.6 e representados nas figuras 19 e 20, são agora representados na figura 29 para a imagem “lv001005.TIF” utilizada no processo de ortorretificação. O método de reamostragem utilizado foi o método do vizinho mais próximo.

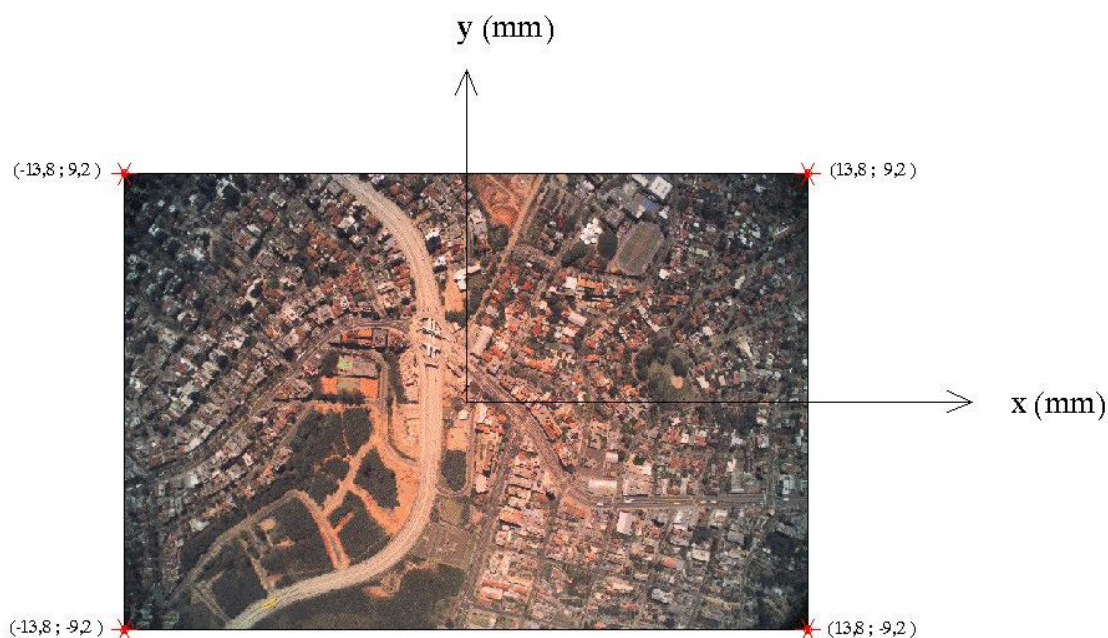


Figura 29 – Elementos de orientação interna (marcas fidúcias).

Os parâmetros de orientação interna e externa são mostrados a seguir, e podem ser mais bem compreendido visualizando a figura 28 onde temos representados a posição do centro perspectivo bem como os ângulos de Euler.

Para os testes com distância focal de 20 mm obtiveram-se os seguintes resultados:

Informações sobre a orientação interior (coord. em mm das marcas fiduciais)

-13,800	9,200	1,000	1,000
13,800	9,200	3061,000	1,000
13,800	-9,200	3061,000	2037,000
-13,800	-9,200	1,000	2037,000

Informações da Orientação Exterior

PHI =	3,25572774°
OMEGA =	-7,11773492°
KAPPA =	190,29075723°
Projection Center x =	483459,631973 m
Projection Center y =	6676982,696060 m
Projection Center z =	1140,346909 m

Para a segunda imagem (dist. focal calibrada) obteve-se os seguintes valores:

Informações sobre a orientação interior (coord. em mm das marcas fiduciais)

-13,800	9,200	1,000	1,000
13,800	9,200	3061,000	1,000
13,800	-9,200	3061,000	2037,000
-13,800	-9,200	1,000	2037,000

Informações da Orientação Exterior

PHI =	1,38232456°
OMEGA =	-9,58204822°
KAPPA =	190,30267362°
Projection Center x =	483,454957 m
Projection Center y =	6676898,124352 m
Projection Center z =	1131,587245 m

Finalmente gerou-se duas ortofotos com a mesma imagem, mesmos pontos de controle, ficando diferente apenas o valor da distância focal, ou seja, no primeiro teste imagem ortoretificada com distância focal de 20,0 mm e a segunda com distância focal calibrada, de 20,4721mm. Abaixo, na figura 30, temos a primeira ortofoto gerada utilizando-se os parâmetros de calibração.



Figura 30 - Ortofoto gerada a partir da Foto LV00105 e MDT.

Se tivéssemos realizado um levantamento fotográfico, com o mesmo equipamento, de uma região plana, a uma altura de aproximadamente 1100 metros, seria possível obter uma área fotografada maior ou menor dependendo da distância focal da câmara, conforme pode ser visto na figura 31. Para esse exemplo teríamos áreas de $1518 \times 1012 \text{ m}^2$ (153,6 ha), com distância focal de 20,0 mm, contra $1483 \times 989 \text{ m}^2$ (146,6 ha), considerando a distância focal calibrada de 20,4721 mm.

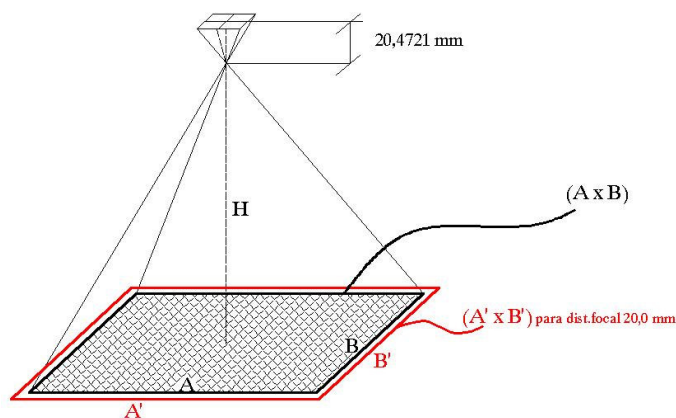


Figura 31 – Geometria da fotografia aérea vertical. A área representada em vermelho corresponderia à área da câmara com distância focal de 20,0 mm.

5.4 Análise dos resultados.

Para se analisar a qualidade da ortofoto gerada no processo descrito anteriormente, utilizou-se as duas imagens ortorretificadas onde foram escolhidos 20 pontos de controle para avaliação dos resíduos entre as ortofotos e a base de eixo de ruas e altimetria e planimetria.

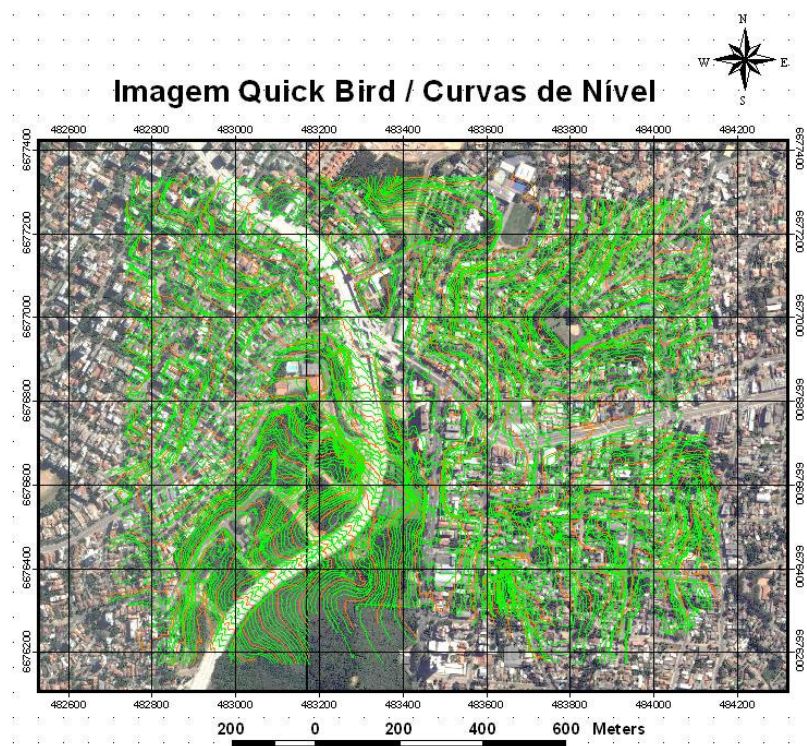


Figura 32 - Curvas de altimetria utilizadas como base dos pontos para análise quantitativa dos dados.

Os 20 pontos de controle da base foram escolhidos de forma que fossem facilmente identificáveis na aerofoto. Para análise quantitativa do produto final, tornou-se necessário conhecer os resíduos encontrados nos pontos de controle retirados da base, e que podem ser visto nas tabelas 6 e 7, nas duas últimas colunas, representados por D_x (resíduos em "x") e D_y (resíduos em "y").

Tabela 6 - Resíduos dos Pontos de controle para a imagem com distância focal de 20 mm.

ID	X20MM	Y20MM	XBASE	YBASE	DX	DY
1	483402.5074	6676946.3564	483405.6978	6676943.3809	3.1904	-2.9755
2	483272.9795	6677008.9323	483269.1414	6677007.8068	-3.8381	-1.1255
3	483300.5480	6677082.8857	483299.3379	6677087.5320	-1.2101	4.6463
4	483522.7178	6677156.4685	483525.7194	6677164.2755	3.0016	7.8070
5	483496.7755	6676833.5130	483495.8851	6676829.7159	-0.8904	-3.7971
6	483348.4964	6676807.9997	483351.8261	6676802.5913	3.3297	-5.4084
7	483409.5009	6676751.9206	483409.1973	6676748.2397	-0.3036	-3.6809
8	483289.8112	6676863.7061	483287.4094	6676859.9624	-2.4018	-3.7437
9	483124.3782	6676831.9978	483122.3417	6676828.7606	-2.0365	-3.2372
10	482984.2825	6676795.3457	482980.0147	6676792.6520	-4.2678	-2.6937
11	483641.5462	6676845.0896	483645.2555	6676846.1229	3.7093	1.0333
12	483627.4374	6676744.7247	483629.5288	6676739.1811	2.0914	-5.5436
13	483138.4760	6676571.0432	483134.1367	6676566.1870	-4.3393	-4.8562
14	483358.5263	6676676.6706	483357.6362	6676671.4006	-0.8901	-5.2700
15	483479.5450	6676623.8569	483480.8467	6676618.9382	1.3017	-4.9187
16	483122.1647	6677095.5526	483118.5610	6677098.1415	-3.6037	2.5889
17	483603.0276	6677040.5426	483610.6567	6677044.2797	7.6291	3.7371
18	483490.7362	6676993.8273	483494.2789	6676997.0995	3.5427	3.2722
19	483747.6085	6676696.2234	483750.6246	6676688.8555	3.0161	-7.3679
20	483398.7790	6677148.5111	483398.3458	6677151.2215	-0.4332	2.7104

Tabela 7 - Resíduos dos Pontos de controle para a imagem com distância focal de 20,4721mm.

ID	X20.4721	Y20.4721	XBASE	YBASE	DX	DY
1	483406.4865	6676943.4330	483405.6978	6676943.3809	-0.7887	-0.0521
2	483269.7097	6677011.1163	483269.1414	6677007.8068	-0.5683	-3.3095
3	483299.3212	6677089.1402	483299.3379	6677087.5320	0.0167	-1.6082
4	483525.1214	6677162.7685	483525.7194	6677164.2755	0.5980	1.5070
5	483496.6630	6676829.0705	483495.8851	6676829.7159	-0.7779	0.6454
6	483350.2916	6676802.6218	483351.8261	6676802.5913	1.5345	-0.0305
7	483410.0688	6676746.5374	483409.1973	6676748.2397	-0.8715	1.7023
8	483287.7448	6676860.3218	483287.4094	6676859.9624	-0.3354	-0.3594
9	483120.5883	6676828.7570	483122.3417	6676828.7606	1.7534	0.0036
10	482977.5955	6676790.6834	482980.0147	6676792.6520	2.4192	1.9686
11	483643.4869	6676846.8610	483645.2555	6676846.1229	1.7686	-0.7381
12	483631.1981	6676735.6579	483629.5288	6676739.1811	-1.6693	3.5232
13	483134.2550	6676562.8773	483134.1367	6676566.1870	-0.1183	3.3097
14	483359.0753	6676670.5192	483357.6362	6676671.4006	-1.4391	0.8814
15	483482.2457	6676618.6869	483480.8467	6676618.9382	-1.3990	0.2513
16	483117.5942	6677098.4127	483118.5610	6677098.1415	0.9668	-0.2712
17	483605.9081	6677044.1126	483610.6567	6677044.2797	4.7486	0.1671
18	483492.3856	6676997.0982	483494.2789	6676997.0995	1.8933	0.0013
19	483750.8587	6676685.3369	483750.6246	6676688.8555	-0.2341	3.5186
20	483397.6231	6677149.9009	483398.3458	6677151.2215	0.7227	1.3206

Os resultados mostrados nas tabelas 6 e 7 referentes aos resíduos das coordenadas dos 20 pontos escolhidos, de certa forma já era previsto, pois os altos a primeira ortofoto foi gerada tendo como distância focal o valor nominal de 20mm, enquanto a segunda foi gerada levando-se em conta o valor da distância focal calibrada, de 20,4721mm.

Um dos resultados interessantes do trabalho, mas que infelizmente só se pode visualizar através de computadores, é a visualização da ortofoto em ambiente tridimensional, onde temos a imagem ortorretificada interpolada juntamente com o Modelo Digital do Terreno em método de reamostragem por “vizinho mais próximo”. A figura 33 mostra duas imagens tridimensionais, e seus respectivos modelos do terreno, também visualizados em 3D.

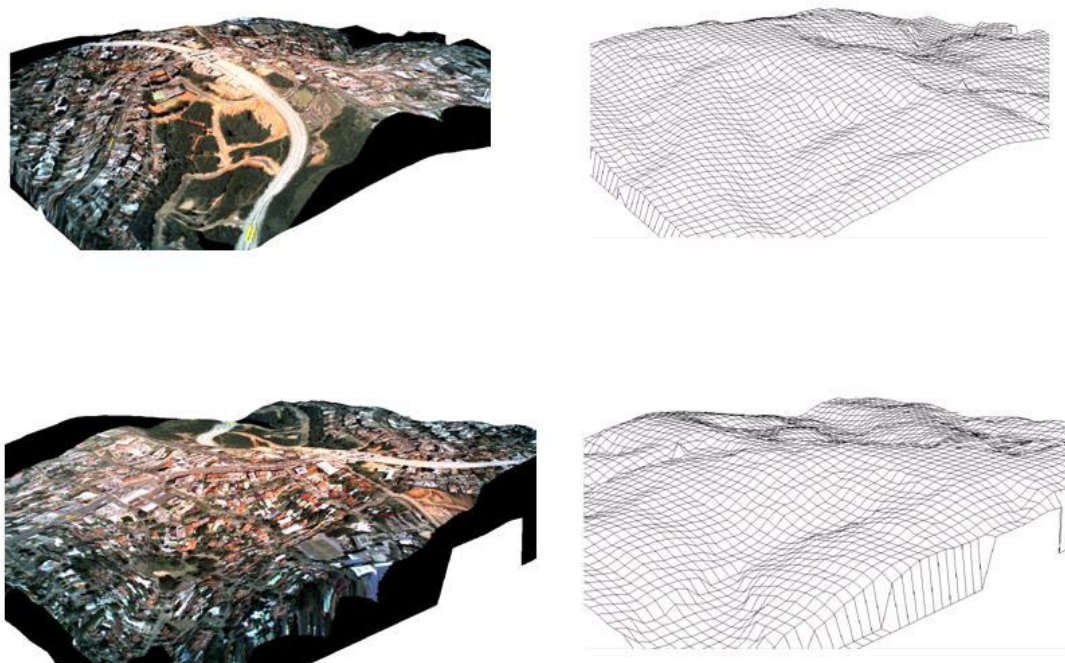


Figura 33 - Ortofoto em visualização tridimensional e seus MDT's correspondentes.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Normalmente o processo de calibração de câmaras tem como objetivo principal a atualização das constantes que definem a geometria interna da câmara. Como não se conhecia os principais parâmetros de calibração da câmara em estudo, como distância focal calibrada, posição do ponto principal, constantes K_1, K_2, K_3 , P_1 e P_2 das distorções, observou-se que o trabalho final foi de grande importância.

Uma das principais vantagens que se observa na utilização do Método das Câmaras Convergentes é a facilidade de implementação, aliada a um custo baixo e tempo de espera bastante curto.

Os resultados da calibração da câmara utilizando foi bastante satisfatório, pois ao se analisar as matrizes variância e covariância dos elementos de calibração, bem como as matrizes dos elementos de orientação externa das imagens utilizadas durante o processo, verificam que as variâncias, ou ainda os desvios padrões foram estáveis.

Como aplicação prática, foi possível no final deste trabalho, realizar alguns testes na geração de ortofotos. Esses testes serviram para avaliar os resultados entre uma mesma imagem aplicando-se os elementos de calibração e outro sem se aplicar essas constantes, utilizando apenas os valores nominais. Os resultados foram satisfatórios em termos quantitativos, avaliando que a base se encontra na escala 1:1000, pois para a imagem ortorretificada com dist. Focal de 20 mm os resíduos foram muito maiores que os encontrados na ortofoto gerada com os elementos de calibração, o que justifica claramente o processo de calibração realizado.

O trabalho pode ser uma peça fundamental no desenvolvimento de novos estudos, pois é possível, com o produto final sendo uma Ortofoto, realizar simulações sobre estudos envolvendo hidrologia e hidrografia como, por exemplo, previsão de enchentes, localização dos cursos d'água, delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas, entre outros, e servindo ainda para estudos em nível de planejamento urbano, com auxílio de um Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Sugerem-se para trabalhos futuros testes que verifiquem uma análise quantitativa com resultados suficientemente aceitáveis para, quem sabe, viabilizar a utilização desses equipamentos de fotografia de pequeno formato no mapeamento sistemático e atualização de bases cartográficas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBBE,1998.
- ANDRADE, J.B.;OLIVAS, M.A.A. **Calibração de câmaras aerofotogramétricas**. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, n° 26, 1981.
- CLARCK, T.A. & FRYER, J.G. 1998. **The development of camera calibration methods and models**. *Photogrammetric Record*, 16(91):51-66.
- DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Curitiba: Ed. UFPR, 2002.
- FRASER, C. S. 1997. **Digital câmara self-calibration**. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 52 (1997) 149-159.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994.
- LUGNANI, J. B. **Introdução à fototriangulação**. Curitiba: Ed. UFPR, 1987.
- MASON, S.; RÜTHER, H.; SMIT, J. **Investigation of the DCS 460 digital camera for small-area mapping**. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 52 (1997) 202-214.
- MERCHANT, D. C. 1979. **Analitycal Photogrammetry**. Theory and Praticce, part I and II. Columbus, Ohio. *Department of geodetic science, The Ohio State university*.
- OLIVAS, M. A. A. **Calibração de câmaras fotogramétricas**. Curitiba, 1980. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- SCHENK, T. **Digital photogrametry**. Vol 1. Background, Fundamentals, Automatic Orientation Procedures. Terra Science 1999.
- TOMMASELLI, A. M. G; HASEGAWA, J.K.; DAINES, R.A.; RODRIGUES, Z.J.; SANTOS, D.R.; **Aplicação de câmaras digitais na produção de ortofotocarta**. COBRAC 2000.
- TOMMASELLI, A. M. G.;TOZZI, C. L. **Calibração de câmaras usando feições genéricas.IV Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de imagens**.1991.
- WOLF, P. R. 1983. *Elements of photogrammetry*. McGraw-Hill, New York, 628p.

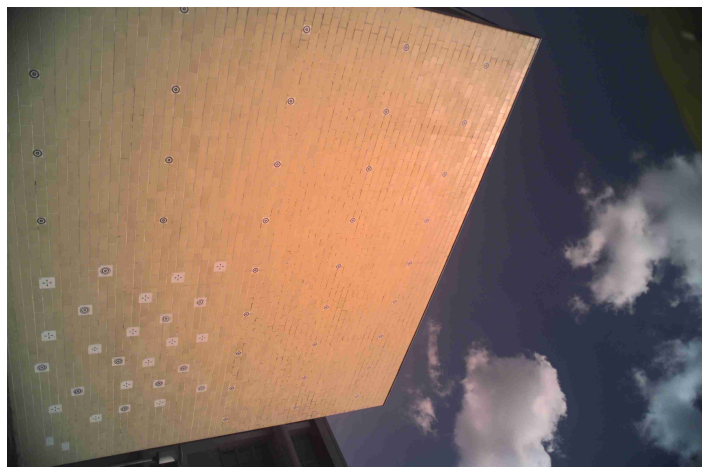
ANEXO I

Posição “A”

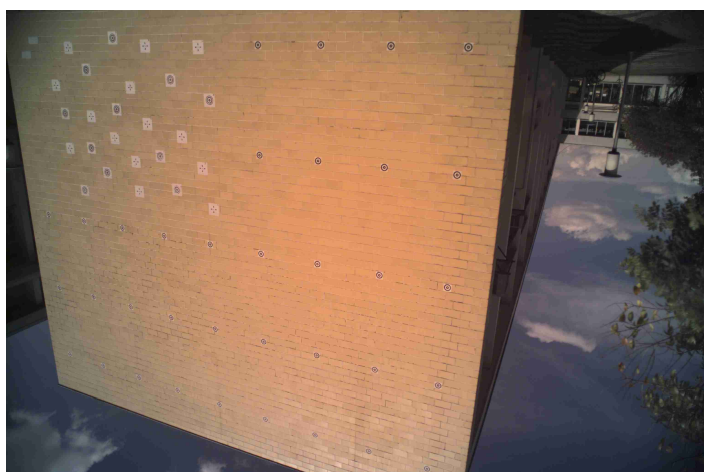
0°



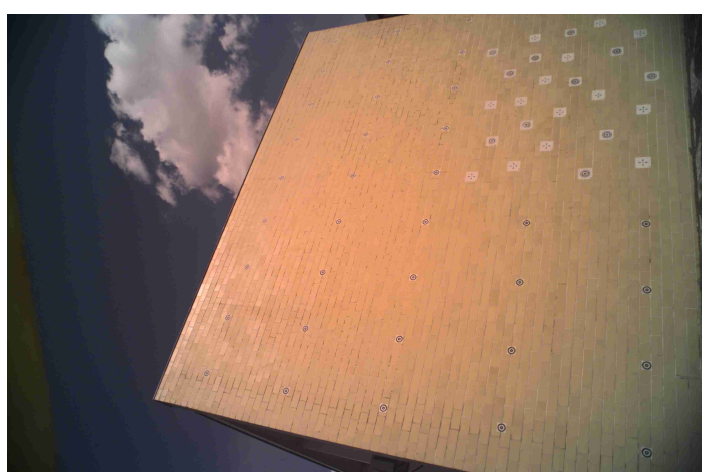
90°



180°

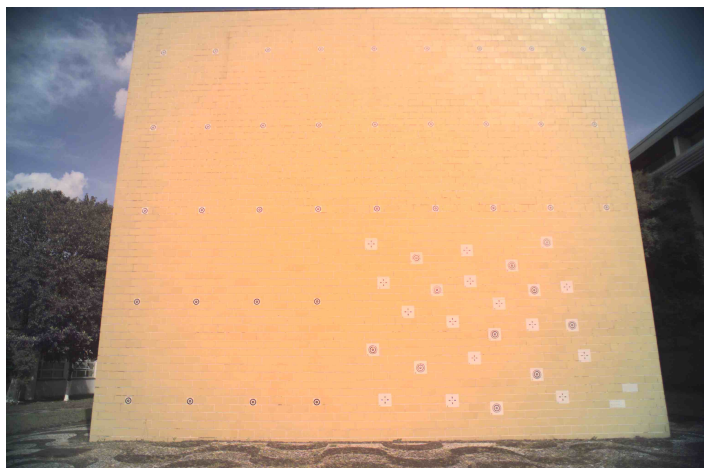


270°

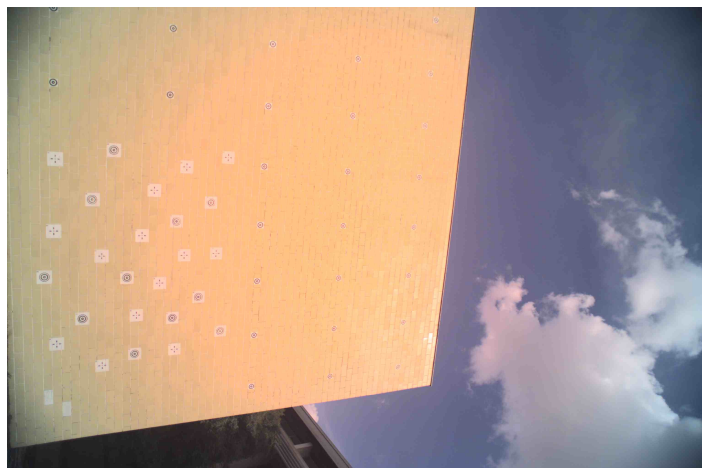


Posição "B"

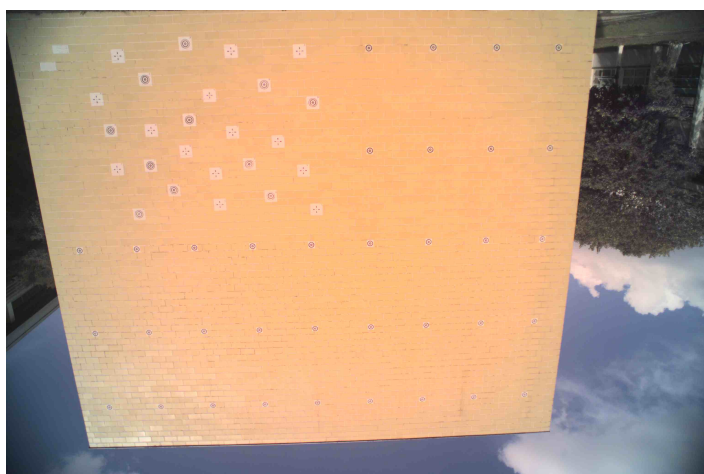
0°



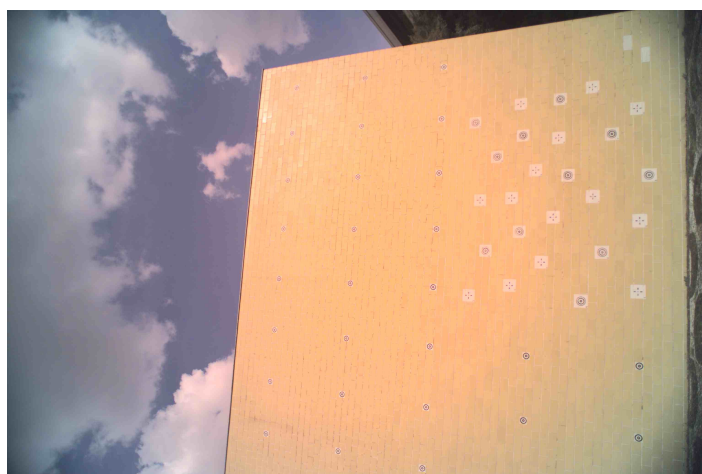
90°



180°

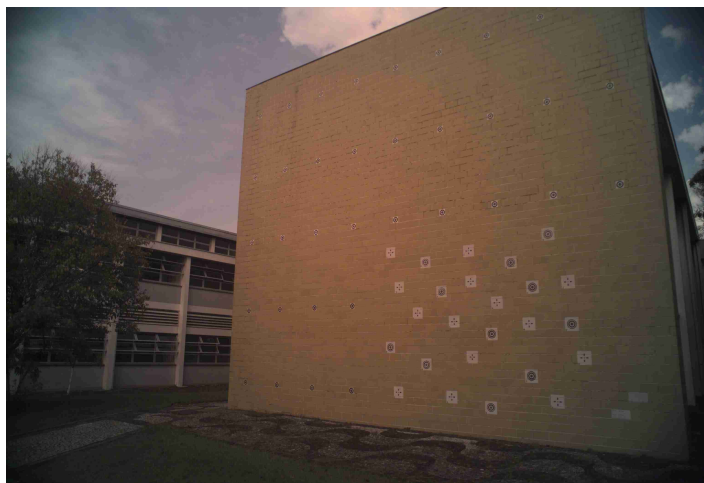


270°

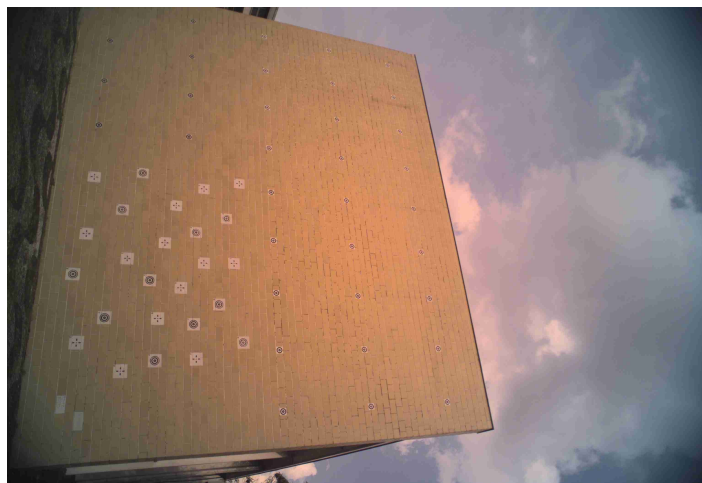


Posição "C"

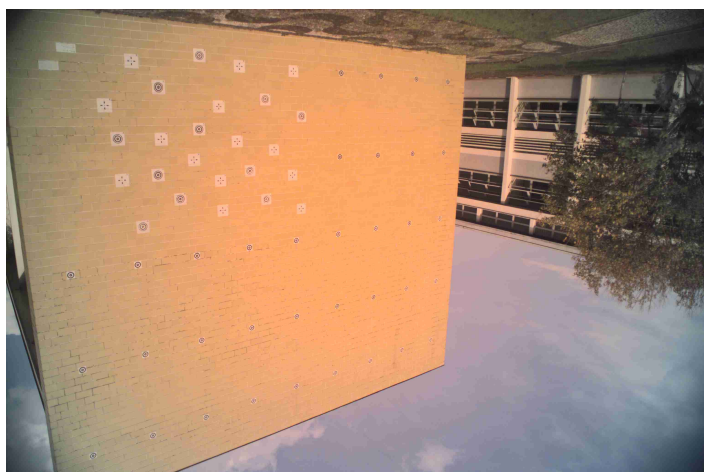
0°



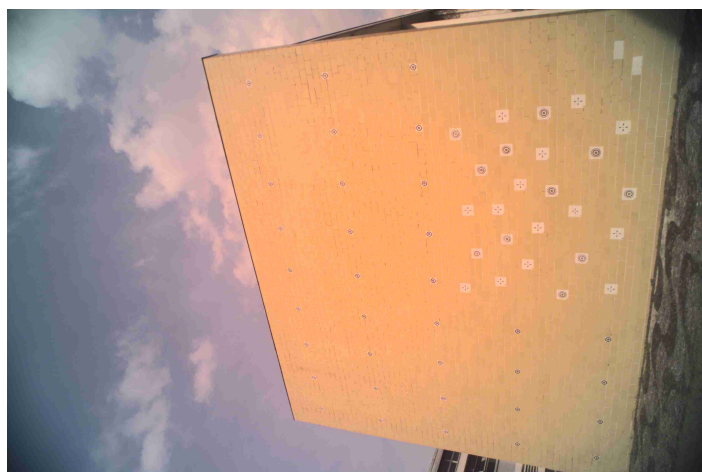
90°



180°



270°



ANEXO II

ORI01
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
3	1,317	0,001	8,985	0,005
4	3,279	0,002	8,318	0,002
5	5,095	0,002	7,688	0,001
6	6,747	0,002	7,106	0,000
7	8,277	0,001	6,565	0,000
8	9,690	0,002	6,055	0,001
9	10,997	0,003	5,578	0,000
10	-3,614	-0,002	7,059	0,003
11	-1,131	0,000	6,392	0,000
12	1,148	0,000	5,784	-0,003
13	3,223	-0,001	5,201	-0,003
14	5,126	-0,002	4,664	-0,003
15	6,860	-0,002	4,171	-0,002
16	8,451	-0,003	3,712	-0,002
17	9,913	-0,001	3,286	-0,001
18	11,251	0,000	2,896	-0,001
19	-4,056	0,000	3,182	0,000
20	-1,410	0,001	2,653	-0,002
21	0,995	0,000	2,169	-0,002
22	3,193	-0,002	1,723	-0,002
23	5,178	-0,004	1,311	-0,001
24	6,984	-0,005	0,928	-0,001
25	8,621	-0,003	0,590	-0,001
26	10,125	-0,002	0,272	0,000
27	11,504	0,001	-0,012	0,000
28	-4,505	0,001	-1,179	0,000
29	-1,710	0,002	-1,531	0,001
30	0,845	0,001	-1,840	0,002
31	3,109	-0,001	-2,111	0,002
32	6,105	-0,002	-2,891	0,002
33	8,597	0,000	-4,014	0,001
34	10,611	0,002	-3,911	0,000
35	-5,013	-0,001	-6,015	-0,002
36	-2,075	0,001	-6,141	0,000
37	0,603	0,001	-6,249	0,001
38	3,016	0,001	-6,311	0,002
39	7,362	0,002	-6,389	0,000
40	10,336	0,005	-6,399	-0,001

N. de pontos anal. = 38 media dos resíduos = 0,002 0,001

Erro médio quadrático em X e Y = 0,003 0,002

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
3	2,015	0,052	6,330	-0,933	0,003	-0,790
4	3,013	-0,134	6,329	-0,454	0,002	-0,482
5	4,018	-0,197	6,330	-0,239	0,002	-0,363
6	5,011	-0,231	6,329	-0,073	0,001	-0,279
7	6,008	-0,188	6,334	-0,073	-0,002	-0,266

8	7,008	-0,299	6,336	-0,105	-0,003	-0,459
9	8,002	-0,381	6,332	-0,030	-0,005	-0,549
10	-0,019	0,791	4,750	-0,756	0,001	-0,338
11	0,990	0,012	4,744	-0,011	-0,001	-0,003
12	1,997	-0,124	4,745	0,577	-0,004	0,308
13	2,995	0,119	4,744	0,577	-0,002	0,443
14	3,999	0,299	4,745	0,564	-0,004	0,593
15	5,002	0,221	4,747	0,466	-0,002	0,503
16	6,000	0,304	4,748	0,336	-0,005	0,541
17	7,003	0,145	4,749	0,243	-0,007	0,332
18	7,995	-0,033	4,751	0,121	-0,007	0,032
19	-0,009	-0,112	3,167	0,070	-0,001	0,008
20	0,999	-0,406	3,165	0,358	-0,002	0,009
21	1,999	-0,004	3,165	0,483	-0,005	0,193
22	3,004	0,432	3,167	0,382	-0,005	0,427
23	4,003	0,701	3,165	0,289	-0,005	0,663
24	5,004	0,750	3,161	0,208	-0,007	0,780
25	6,001	0,528	3,164	0,087	-0,006	0,603
26	6,999	0,294	3,163	0,041	-0,007	0,376
27	7,997	-0,105	3,165	0,101	-0,005	-0,103
28	0,005	-0,328	1,589	-0,056	-0,001	-0,071
29	1,007	-0,452	1,588	-0,309	-0,002	-0,204
30	2,015	-0,127	1,590	-0,506	-0,001	-0,147
31	3,000	0,305	1,590	-0,552	-0,002	0,099
32	4,474	0,468	1,410	-0,493	-0,003	0,327
33	5,869	-0,020	1,030	-0,250	-0,003	-0,043
34	7,158	-0,355	1,155	0,006	-0,003	-0,442
35	0,000	0,237	0,000	0,671	0,000	-0,001
36	0,999	-0,395	0,001	-0,047	0,000	-0,129
37	2,002	-0,350	-0,003	-0,427	-0,001	-0,141
38	3,006	-0,293	0,000	-0,531	0,000	-0,150
39	5,129	-0,366	0,005	-0,102	-0,003	-0,339
40	6,889	-0,758	0,024	0,367	-0,003	-0,938

Nº de pontos analisados = 38 media dos resíduos = 0,298 0,313 0,328

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,475 0,507 0,529

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 0,1553757809 +/- 0,0101501294

Phi = -0,3909537266 +/- 0,0196523594

Ômega = 0,2596054691 +/- 0,0231627534

Xo = -1,2487095048 +/- 0,1332454711

Yo = 0,4465972288 +/- 0,1778265517

Zo = 6,7352593175 +/- 0,1768610635

Valores da Matriz de Rotação

0,913408451420	0,052923773242	0,403588992788
-0,143074761496	0,969986293433	0,196611808329
-0,381070352425	-0,237330286262	0,893565734418

1 0 -1,249 0,447 6,735 14,874 -22,400 8,902

ORI02
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
3	1,317	0,001	8,985	0,005
4	3,279	0,002	8,318	0,002
5	5,095	0,002	7,688	0,001
6	6,747	0,002	7,106	0,000
7	8,277	0,001	6,565	0,000
8	9,690	0,002	6,055	0,001
9	10,997	0,003	5,578	0,000
10	-3,614	-0,002	7,059	0,003
11	-1,131	0,000	6,392	0,000
12	1,148	0,000	5,784	-0,003
13	3,223	-0,001	5,201	-0,003
14	5,126	-0,002	4,664	-0,003
15	6,860	-0,002	4,171	-0,002
16	8,451	-0,003	3,712	-0,002
17	9,913	-0,001	3,286	-0,001
18	11,251	0,000	2,896	-0,001
19	-4,056	0,000	3,182	0,000
20	-1,410	0,001	2,653	-0,002
21	0,995	0,000	2,169	-0,002
22	3,193	-0,002	1,723	-0,002
23	5,178	-0,004	1,311	-0,001
24	6,984	-0,005	0,928	-0,001
25	8,621	-0,003	0,590	-0,001
26	10,125	-0,002	0,272	0,000
27	11,504	0,001	-0,012	0,000
28	-4,505	0,001	-1,179	0,000
29	-1,710	0,002	-1,531	0,001
30	0,845	0,001	-1,840	0,002
31	3,109	-0,001	-2,111	0,002
32	6,105	-0,002	-2,891	0,002
33	8,597	0,000	-4,014	0,001
34	10,611	0,002	-3,911	0,000
35	-5,013	-0,001	-6,015	-0,002
36	-2,075	0,001	-6,141	0,000
37	0,603	0,001	-6,249	0,001
38	3,016	0,001	-6,311	0,002
39	7,362	0,002	-6,389	0,000
40	10,336	0,005	-6,399	-0,001

N. de pontos anal. = 38 media dos resíduos = 0,002 0,001
 Erro médio quadrático em X e Y = 0,003 0,002

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
3	2,015	0,052	6,330	-0,933	0,003	-0,790
4	3,013	-0,134	6,329	-0,454	0,002	-0,482
5	4,018	-0,197	6,330	-0,239	0,002	-0,363

6	5,011	-0,231	6,329	-0,073	0,001	-0,279
7	6,008	-0,188	6,334	-0,073	-0,002	-0,266
8	7,008	-0,299	6,336	-0,105	-0,003	-0,459
9	8,002	-0,381	6,332	-0,030	-0,005	-0,549
10	-0,019	0,791	4,750	-0,756	0,001	-0,338
11	0,990	0,012	4,744	-0,011	-0,001	-0,003
12	1,997	-0,124	4,745	0,577	-0,004	0,308
13	2,995	0,119	4,744	0,577	-0,002	0,443
14	3,999	0,299	4,745	0,564	-0,004	0,593
15	5,002	0,221	4,747	0,466	-0,002	0,503
16	6,000	0,304	4,748	0,336	-0,005	0,541
17	7,003	0,145	4,749	0,243	-0,007	0,332
18	7,995	-0,033	4,751	0,121	-0,007	0,032
19	-0,009	-0,112	3,167	0,070	-0,001	0,008
20	0,999	-0,406	3,165	0,358	-0,002	0,009
21	1,999	-0,004	3,165	0,483	-0,005	0,193
22	3,004	0,432	3,167	0,382	-0,005	0,427
23	4,003	0,701	3,165	0,289	-0,005	0,663
24	5,004	0,750	3,161	0,208	-0,007	0,780
25	6,001	0,528	3,164	0,087	-0,006	0,603
26	6,999	0,294	3,163	0,041	-0,007	0,376
27	7,997	-0,105	3,165	0,101	-0,005	-0,103
28	0,005	-0,328	1,589	-0,056	-0,001	-0,071
29	1,007	-0,452	1,588	-0,309	-0,002	-0,204
30	2,015	-0,127	1,590	-0,506	-0,001	-0,147
31	3,000	0,305	1,590	-0,552	-0,002	0,099
32	4,474	0,468	1,410	-0,493	-0,003	0,327
33	5,869	-0,020	1,030	-0,250	-0,003	-0,043
34	7,158	-0,355	1,155	0,006	-0,003	-0,442
35	0,000	0,237	0,000	0,671	0,000	-0,001
36	0,999	-0,395	0,001	-0,047	0,000	-0,129
37	2,002	-0,350	-0,003	-0,427	-0,001	-0,141
38	3,006	-0,293	0,000	-0,531	0,000	-0,150
39	5,129	-0,366	0,005	-0,102	-0,003	-0,339
40	6,889	-0,758	0,024	0,367	-0,003	-0,938

Nº de pontos analisados = 38 media dos resíduos = 0,298 0,313 0,328

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,475 0,507 0,529

Parâmetros Determinados e Suas Precisoões

Kappa = 0,1553757809 +/- 0,0101501294

Phi = -0,3909537266 +/- 0,0196523594

Ômega = 0,2596054691 +/- 0,0231627534

Xo = -1,2487095048 +/- 0,1332454711

Yo = 0,4465972288 +/- 0,1778265517

Zo = 6,7352593175 +/- 0,1768610635

Valores da Matriz de Rotação

0,913408451420	0,052923773242	0,403588992788
-0,143074761496	0,969986293433	0,196611808329
-0,381070352425	-0,237330286262	0,893565734418

1 0 -1,249 0,447 6,735 14,874 -22,400 8,902

ORI03
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	2,777	-0,002	-8,912	-0,006
2	0,479	-0,003	-8,219	-0,003
3	-1,633	-0,002	-7,569	-0,001
4	-3,589	0,000	-6,948	0,000
5	-5,394	0,001	-6,363	-0,001
6	-7,036	0,001	-5,821	-0,001
7	-8,560	0,001	-5,319	-0,003
8	-9,967	-0,001	-4,846	-0,004
9	-11,273	-0,003	-4,404	-0,004
10	3,215	-0,003	-5,628	0,000
11	0,721	-0,003	-5,005	0,002
12	-1,571	0,000	-4,440	0,004
13	-3,652	0,003	-3,897	0,003
14	-5,558	0,005	-3,401	0,002
15	-7,296	0,005	-2,945	0,001
16	-8,883	0,004	-2,522	0,000
17	-10,348	0,002	-2,129	-0,001
18	-11,683	-0,001	-1,774	-0,001
19	3,584	-0,005	-1,762	0,001
20	0,899	-0,003	-1,275	0,001
21	-1,536	0,001	-0,834	0,001
22	-3,756	0,004	-0,431	0,000
23	-5,758	0,006	-0,058	0,000
24	-7,574	0,006	0,286	0,000
25	-9,220	0,004	0,587	0,000
26	-10,728	0,001	0,871	0,000
27	-12,115	-0,003	1,126	0,001
28	3,961	-0,004	2,681	-0,001
29	1,098	-0,002	2,982	-0,002
30	-1,511	0,000	3,241	-0,003
31	-3,816	0,003	3,465	-0,003
32	-6,872	0,003	4,189	-0,001
33	-9,441	0,000	5,273	0,002
34	-11,468	-0,004	5,113	0,004
35	4,407	-0,001	7,726	0,002
36	1,358	-0,001	7,777	0,000
37	-1,405	0,000	7,820	-0,001
38	-3,880	0,000	7,816	0,000
39	-8,320	-0,001	7,773	0,004
40	-11,347	-0,005	7,705	0,007

N. de pontos analisados= 40 media dos resíduos = 0,003 0,002
 Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,003

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	0,012	6,327	-1,292	0,007	-1,142
2	1,017	-0,334	6,329	-0,643	0,005	-0,691
3	2,015	-0,307	6,330	-0,178	0,003	-0,315

4	3,013	0,044	6,329	-0,056	0,002	-0,020
5	4,018	0,193	6,330	-0,146	0,002	0,028
6	5,011	0,214	6,329	-0,260	0,001	-0,024
7	6,008	0,237	6,334	-0,457	-0,002	-0,140
8	7,008	-0,001	6,336	-0,602	-0,003	-0,535
9	8,002	-0,209	6,332	-0,586	-0,005	-0,815
10	-0,019	-0,894	4,750	0,004	0,001	-0,181
11	0,990	-0,743	4,744	0,514	-0,001	0,066
12	1,997	-0,125	4,745	0,820	-0,004	0,465
13	2,995	0,509	4,744	0,514	-0,002	0,668
14	3,999	0,824	4,745	0,299	-0,004	0,863
15	5,002	0,762	4,747	0,038	-0,002	0,760
16	6,000	0,632	4,748	-0,141	-0,005	0,614
17	7,003	0,318	4,749	-0,248	-0,007	0,243
18	7,995	-0,148	4,751	-0,206	-0,007	-0,343
19	-0,009	-1,325	3,167	0,172	-0,001	-0,204
20	0,999	-0,721	3,165	0,281	-0,002	-0,145
21	1,999	0,241	3,165	0,246	-0,005	0,223
22	3,004	0,916	3,167	0,048	-0,005	0,626
23	4,003	1,211	3,165	-0,110	-0,005	0,940
24	5,004	1,093	3,161	-0,137	-0,007	0,999
25	6,001	0,668	3,164	-0,130	-0,006	0,692
26	6,999	0,156	3,163	-0,003	-0,007	0,197
27	7,997	-0,440	3,165	0,197	-0,005	-0,544
28	0,005	-1,197	1,589	-0,317	-0,001	-0,303
29	1,007	-0,579	1,588	-0,591	-0,002	-0,308
30	2,015	0,159	1,590	-0,773	-0,001	-0,048
31	3,000	0,719	1,590	-0,750	-0,002	0,350
32	4,474	0,676	1,410	-0,382	-0,003	0,544
33	5,869	-0,107	1,030	0,486	-0,003	-0,076
34	7,158	-0,639	1,155	1,003	-0,003	-0,723
35	0,000	-0,452	0,000	0,566	0,000	-0,135
36	0,999	-0,361	0,001	0,037	0,000	-0,133
37	2,002	0,013	-0,003	-0,173	-0,001	0,019
38	3,006	0,094	0,000	0,001	0,000	0,062
39	5,129	-0,225	0,005	1,052	-0,003	-0,297
40	6,889	-0,886	0,024	1,906	-0,003	-1,239

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,485 0,409 0,418

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,785 0,709 0,687

Parâmetros Determinados e Suas Precisoões

Kappa = 3,3022525303 +/- 0,0146960853

Phi = -0,3739495978 +/- 0,0255018920

âmega = 0,3278141183 +/- 0,0330509183

Xo = -1,3728244881 +/- 0,1777748214

Yo = 0,4808748408 +/- 0,2520145915

Zo = 6,6043098712 +/- 0,2361921119

Valores da Matriz de Rotação

-0,918903759186 -0,035350059964 -0,392894711870

0,148914414404 -0,953371038162 -0,262503639549

-0,365294919945 -0,299723267122 0,881320364345

1 0 -1,373 0,481 6,604 18,782 -21,426 189,205

ORI04
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	-5,926	-0,001	-5,009	0,002
2	-5,102	0,001	-2,804	0,004
3	-4,345	0,002	-0,794	0,004
4	-3,641	0,002	1,050	0,002
5	-2,988	0,001	2,739	0,000
6	-2,393	0,000	4,261	-0,001
7	-1,852	-0,002	5,661	-0,002
8	-1,348	-0,003	6,939	-0,001
9	-0,881	-0,003	8,108	0,001
10	-2,818	0,002	-5,702	0,003
11	-2,049	0,003	-3,238	0,004
12	-1,366	0,002	-1,005	0,003
13	-0,737	0,000	1,006	0,000
14	-0,174	-0,001	2,829	-0,003
15	0,333	-0,002	4,471	-0,004
16	0,792	-0,003	5,954	-0,004
17	1,215	-0,003	7,309	-0,004
18	1,592	-0,003	8,523	0,000
19	1,021	0,002	-6,386	0,003
20	1,650	0,000	-3,647	0,004
21	2,195	-0,002	-1,203	0,001
22	2,678	-0,003	0,997	-0,002
23	3,106	-0,004	2,954	-0,004
24	3,489	-0,004	4,707	-0,005
25	3,820	-0,003	6,276	-0,004
26	4,123	-0,002	7,692	-0,001
27	4,392	-0,001	8,973	0,003
28	5,671	0,001	-7,151	0,001
29	6,064	-0,001	-4,108	0,001
30	6,390	-0,003	-1,401	0,000
31	6,660	-0,004	0,949	-0,001
32	7,440	-0,002	4,003	-0,002
33	8,576	0,001	6,530	0,000
34	8,397	0,004	8,466	0,003
35	11,385	0,003	-8,134	-0,002
36	11,386	0,002	-4,701	-0,002
37	11,395	0,001	-1,701	-0,002
38	11,361	0,001	0,917	-0,002
39	11,259	0,004	5,458	-0,001
40	11,133	0,007	8,426	0,004

N. de pontos analisados= 40 media dos resíduos = 0,002 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,004

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	-0,341	6,327	-0,314	0,007	-0,336
2	1,017	-1,000	6,329	0,068	0,005	-0,280
3	2,015	-0,997	6,330	0,346	0,003	-0,187

4	3,013	-0,540	6,329	0,376	0,002	-0,018
5	4,018	-0,139	6,330	0,166	0,002	0,034
6	5,011	0,131	6,329	-0,060	0,001	0,070
7	6,008	0,352	6,334	-0,284	-0,002	0,135
8	7,008	0,230	6,336	-0,463	-0,003	-0,117
9	8,002	-0,002	6,332	-0,460	-0,005	-0,400
10	-0,019	-0,997	4,750	0,390	0,001	0,061
11	0,990	-1,166	4,744	0,472	-0,001	-0,094
12	1,997	-0,709	4,745	0,477	-0,004	-0,044
13	2,995	0,049	4,744	0,074	-0,002	0,078
14	3,999	0,588	4,745	-0,187	-0,004	0,343
15	5,002	0,722	4,747	-0,447	-0,002	0,392
16	6,000	0,751	4,748	-0,537	-0,005	0,473
17	7,003	0,584	4,749	-0,598	-0,007	0,342
18	7,995	0,101	4,751	-0,447	-0,007	-0,142
19	-0,009	-1,035	3,167	0,345	-0,001	-0,057
20	0,999	-0,909	3,165	-0,125	-0,002	-0,354
21	1,999	-0,215	3,165	-0,442	-0,005	-0,278
22	3,004	0,467	3,167	-0,801	-0,005	-0,018
23	4,003	0,874	3,165	-0,936	-0,005	0,317
24	5,004	0,926	3,161	-0,860	-0,007	0,526
25	6,001	0,680	3,164	-0,756	-0,006	0,439
26	6,999	0,264	3,163	-0,438	-0,007	0,153
27	7,997	-0,331	3,165	-0,034	-0,005	-0,469
28	0,005	-0,379	1,589	0,418	-0,001	-0,005
29	1,007	-0,290	1,588	-0,347	-0,002	-0,152
30	2,015	0,013	1,590	-0,864	-0,001	-0,130
31	3,000	0,418	1,590	-1,031	-0,002	0,102
32	4,474	0,508	1,410	-0,629	-0,003	0,351
33	5,869	-0,032	1,030	0,344	-0,003	-0,008
34	7,158	-0,549	1,155	1,004	-0,003	-0,594
35	0,000	0,725	0,000	1,397	0,000	0,025
36	0,999	0,589	0,001	0,882	0,000	0,128
37	2,002	0,613	-0,003	0,540	-0,001	0,254
38	3,006	0,479	0,000	0,504	0,000	0,264
39	5,129	0,113	0,005	1,194	-0,003	0,014
40	6,889	-0,546	0,024	2,064	-0,003	-0,818

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,509 0,553 0,225

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,797 0,888 0,375

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 4,9855608721 +/- 0,0162238809

Phi = -0,4550245417 +/- 0,0243106680

âmega = 0,5053465156 +/- 0,0331280543

Xo = -1,2567008921 +/- 0,1769916494

Yo = 0,5309152272 +/- 0,2492445126

Zo = 6,7111172344 +/- 0,2287542146

Valores da Matriz de Rotação

0,242336298118 -0,899961174431 -0,362412752441

0,864943129472 0,031195547546 0,500899411651

-0,439484358532 -0,434852529406 0,785975048125

1 0 -1,257 0,531 6,711 28,954 -26,071 285,651

ORI05
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	-7,594	-0,007	7,404	0,005
2	-5,547	-0,002	7,461	0,002
3	-3,488	0,001	7,507	0,000
4	-1,400	0,000	7,542	-0,002
5	0,699	0,001	7,561	-0,003
6	2,776	0,000	7,570	-0,002
7	4,848	0,001	7,574	0,000
8	6,904	0,004	7,564	0,002
9	8,930	0,007	7,542	0,004
10	-8,004	-0,003	4,441	0,001
11	-5,853	0,001	4,475	-0,002
12	-3,674	0,003	4,521	-0,005
13	-1,482	0,002	4,542	-0,005
14	0,728	0,000	4,565	-0,006
15	2,932	-0,002	4,578	-0,004
16	5,109	-0,003	4,582	-0,003
17	7,271	-0,001	4,578	-0,001
18	9,372	0,004	4,568	0,001
19	-8,336	-0,001	1,154	0,000
20	-6,087	0,003	1,176	-0,001
21	-3,817	0,004	1,199	-0,001
22	-1,504	0,002	1,224	-0,001
23	0,809	-0,001	1,240	-0,002
24	3,118	-0,004	1,248	-0,001
25	5,397	-0,005	1,268	-0,001
26	7,643	-0,002	1,277	0,000
27	9,850	0,002	1,288	0,001
28	-8,643	-0,002	-2,439	0,000
29	-6,309	0,002	-2,442	0,001
30	-3,920	0,004	-2,437	0,003
31	-1,551	0,002	-2,428	0,004
32	2,034	-0,002	-2,835	0,005
33	5,451	-0,002	-3,723	0,004
34	8,494	0,001	-3,359	0,002
35	-8,983	-0,006	-6,360	-0,004
36	-6,553	-0,002	-6,385	-0,001
37	-4,073	0,000	-6,416	0,002
38	-1,562	0,001	-6,412	0,004
39	3,777	-0,001	-6,346	0,004
40	8,116	0,003	-6,206	0,000

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,002 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,004

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	1,369	6,327	-0,839	0,007	-1,182
2	1,017	0,445	6,329	-0,367	0,005	-0,397
3	2,015	-0,114	6,330	0,079	0,003	0,078

4	3,013	-0,064	6,329	0,456	0,002	0,325
5	4,018	-0,104	6,330	0,464	0,002	0,321
6	5,011	-0,051	6,329	0,386	0,001	0,262
7	6,008	-0,203	6,334	0,097	-0,002	0,010
8	7,008	-0,741	6,336	-0,296	-0,003	-0,507
9	8,002	-1,504	6,332	-0,569	-0,005	-1,185
10	-0,019	0,655	4,750	-0,046	0,001	-0,310
11	0,990	-0,284	4,744	0,373	-0,001	0,281
12	1,997	-0,671	4,745	0,906	-0,004	0,596
13	2,995	-0,340	4,744	1,000	-0,002	0,539
14	3,999	0,112	4,745	1,101	-0,004	0,569
15	5,002	0,490	4,747	0,861	-0,002	0,522
16	6,000	0,571	4,748	0,589	-0,005	0,463
17	7,003	0,180	4,749	0,215	-0,007	0,183
18	7,995	-0,807	4,751	-0,181	-0,007	-0,514
19	-0,009	0,210	3,167	0,059	-0,001	-0,072
20	0,999	-0,735	3,165	0,121	-0,002	0,271
21	1,999	-0,991	3,165	0,247	-0,005	0,273
22	3,004	-0,529	3,167	0,311	-0,005	0,141
23	4,003	0,265	3,165	0,334	-0,005	0,120
24	5,004	0,886	3,161	0,269	-0,007	0,232
25	6,001	1,054	3,164	0,098	-0,006	0,330
26	6,999	0,562	3,163	-0,019	-0,007	0,220
27	7,997	-0,557	3,165	-0,133	-0,005	-0,333
28	0,005	0,557	1,589	0,121	-0,001	-0,225
29	1,007	-0,488	1,588	-0,347	-0,002	0,106
30	2,015	-0,848	1,590	-0,768	-0,001	0,060
31	3,000	-0,522	1,590	-0,979	-0,002	-0,093
32	4,474	0,554	1,410	-1,116	-0,003	-0,072
33	5,869	0,578	1,030	-0,968	-0,003	0,088
34	7,158	-0,204	1,155	-0,352	-0,003	-0,115
35	0,000	1,576	0,000	1,162	0,000	-0,748
36	0,999	0,479	0,001	0,266	0,000	-0,165
37	2,002	-0,088	-0,003	-0,527	-0,001	0,046
38	3,006	-0,194	0,000	-1,021	0,000	0,070
39	5,129	0,207	0,005	-0,955	-0,003	0,088
40	6,889	-0,711	0,024	-0,030	-0,003	-0,275

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,538 0,476 0,310

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,860 0,772 0,520

Parâmetros Determinados e Suas Precisoões

Kappa = 6,2745221849 +/- 0,0112015884

Phi = -0,0017906722 +/- 0,0381140096

âmega = 0,2524488855 +/- 0,0430963011

Xo = 3,6328339217 +/- 0,3625595038

Yo = 0,4552184395 +/- 0,3700286100

Zo = 8,3645086544 +/- 0,1980174774

Valores da Matriz de Rotação

0,999960872198 -0,008835677872 -0,000429964250

0,008663000009 0,968263443151 0,249781618796

-0,001790671257 -0,249775570170 0,968302100608

1 0 3,633 0,455 8,365 14,464 -0,103 359,503

ORI06
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
2	3,101	0,000	8,677	0,002
3	2,884	0,000	6,575	-0,002
4	2,664	-0,001	4,504	-0,003
5	2,444	-0,001	2,470	-0,004
6	2,227	0,000	0,504	-0,002
7	2,022	0,000	-1,406	0,000
8	1,811	0,001	-3,253	0,001
9	1,601	0,002	-5,021	0,001
12	0,030	-0,002	7,147	-0,002
13	-0,181	-0,001	4,903	-0,004
14	-0,378	0,000	2,701	-0,003
15	-0,565	0,001	0,560	-0,002
16	-0,744	0,001	-1,506	0,001
17	-0,917	0,001	-3,501	0,003
18	-1,082	0,002	-5,382	0,003
21	-3,326	-0,002	7,733	-0,001
22	-3,499	0,001	5,283	-0,003
23	-3,665	0,002	2,900	-0,002
24	-3,823	0,003	0,590	-0,001
25	-3,951	0,003	-1,631	0,001
26	-4,073	0,003	-3,759	0,002
27	-4,175	0,001	-5,786	0,002
30	-7,250	-0,003	8,353	0,001
31	-7,371	0,000	5,730	-0,001
32	-7,992	0,002	1,960	0,000
33	-9,071	0,001	-1,489	0,001
34	-8,770	-0,001	-4,495	0,002
37	-11,970	-0,004	9,183	0,002
38	-11,975	-0,003	6,223	0,002
39	-11,958	-0,001	0,348	0,002
40	-11,835	-0,003	-4,110	0,002

Nº de pontos analisados = 31 media dos resíduos = 0,002 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,002 0,003

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
2	1,017	0,441	6,329	0,064	0,005	-0,095
3	2,015	-0,401	6,330	-0,001	0,003	0,079
4	3,013	-0,687	6,329	0,065	0,002	0,099
5	4,018	-0,718	6,330	0,053	0,002	0,009
6	5,011	-0,389	6,329	0,071	0,001	-0,012
7	6,008	-0,046	6,334	0,031	-0,002	0,009
8	7,008	0,167	6,336	-0,211	-0,003	-0,078
9	8,002	0,215	6,332	-0,389	-0,005	-0,154
12	1,997	-0,547	4,745	0,391	-0,004	0,300
13	2,995	-0,798	4,744	0,027	-0,002	0,079

14	3,999	-0,697	4,745	-0,088	-0,004	-0,068
15	5,002	-0,330	4,747	-0,207	-0,002	-0,151
16	6,000	0,200	4,748	-0,204	-0,005	-0,046
17	7,003	0,564	4,749	-0,255	-0,007	0,094
18	7,995	0,530	4,751	-0,395	-0,007	0,073
21	1,999	-0,362	3,165	0,363	-0,005	0,182
22	3,004	-0,691	3,167	-0,238	-0,005	-0,016
23	4,003	-0,488	3,165	-0,543	-0,005	-0,182
24	5,004	-0,115	3,161	-0,690	-0,007	-0,227
25	6,001	0,307	3,164	-0,726	-0,006	-0,137
26	6,999	0,549	3,163	-0,592	-0,007	0,033
27	7,997	0,453	3,165	-0,336	-0,005	0,126
30	2,015	0,156	1,590	0,778	-0,001	0,062
31	3,000	-0,167	1,590	0,019	-0,002	0,016
32	4,474	0,026	1,410	-0,554	-0,003	-0,052
33	5,869	0,309	1,030	-0,333	-0,003	0,061
34	7,158	0,371	1,155	0,110	-0,003	0,158
37	2,002	0,656	-0,003	1,417	-0,001	-0,226
38	3,006	0,512	0,000	0,961	0,000	-0,106
39	5,129	0,500	0,005	0,429	-0,003	0,055
40	6,889	0,481	0,024	0,980	-0,003	0,117

Nº de pontos analisados = 31 media dos resíduos = 0,415 0,372 0,100

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,633 0,633 0,161

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 1,6615519846 +/- 0,0156287222

Phi = -0,1708034653 +/- 0,0349596753

omega = 0,4799239487 +/- 0,0408824950

Xo = 3,6022591361 +/- 0,3436025716

Yo = 0,6174892728 +/- 0,3522480873

Zo = 8,5420238689 +/- 0,2043843573

Valores da Matriz de Rotação

-0,089312305646	0,890492140876	0,446146903046
-0,981392934070	-0,002236437310	-0,191997154422
-0,169974177504	-0,454993126745	0,874122436273

1 0 3,602 0,617 8,542 27,498 -9,786 95,200

ORI07
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	6,589	0,004	-5,953	-0,006
2	4,590	0,001	-6,051	-0,003
3	2,571	0,000	-6,142	0,000
4	0,521	0,002	-6,223	0,002
5	-1,553	0,003	-6,289	0,002
6	-3,605	0,004	-6,344	0,001
7	-5,661	0,003	-6,395	0,000
8	-7,704	-0,001	-6,436	-0,003
9	-9,730	-0,005	-6,465	-0,004
10	6,981	0,000	-3,063	-0,003
11	4,869	-0,003	-3,135	0,000
12	2,721	-0,003	-3,222	0,003
13	0,550	0,000	-3,285	0,003
14	-1,643	0,003	-3,352	0,004
15	-3,836	0,005	-3,410	0,003
16	-6,011	0,005	-3,463	0,003
17	-8,174	0,002	-3,506	0,001
18	-10,287	-0,003	-3,547	0,000
19	7,293	-0,002	0,175	-0,002
20	5,073	-0,005	0,121	-0,002
21	2,821	-0,004	0,062	-0,001
22	0,521	-0,001	-0,001	0,000
23	-1,792	0,003	-0,057	0,000
24	-4,105	0,005	-0,106	0,001
25	-6,394	0,005	-0,170	0,001
26	-8,660	0,002	-0,222	0,002
27	-10,898	-0,003	-0,282	0,002
28	7,591	0,000	3,754	-0,001
29	5,268	-0,003	3,731	-0,003
30	2,884	-0,004	3,697	-0,004
31	0,509	-0,002	3,657	-0,004
32	-3,102	0,002	4,018	-0,003
33	-6,589	0,001	4,867	0,000
34	-9,686	-0,003	4,452	0,003
35	7,935	0,003	7,715	0,004
36	5,498	0,000	7,717	0,002
37	3,003	-0,002	7,725	-0,001
38	0,466	-0,002	7,699	-0,002
39	-4,953	-0,001	7,572	0,000
40	-9,402	-0,005	7,381	0,005

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,003 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,003

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	0,786	6,327	-1,073	0,007	-1,055
2	1,017	0,250	6,329	-0,542	0,005	-0,443
3	2,015	0,095	6,330	-0,030	0,003	-0,037

4	3,013	0,394	6,329	0,352	0,002	0,222
5	4,018	0,655	6,330	0,332	0,002	0,273
6	5,011	0,737	6,329	0,200	0,001	0,275
7	6,008	0,566	6,334	-0,127	-0,002	0,086
8	7,008	-0,173	6,336	-0,446	-0,003	-0,379
9	8,002	-1,085	6,332	-0,632	-0,005	-1,022
10	-0,019	-0,031	4,750	-0,533	0,001	-0,253
11	0,990	-0,607	4,744	-0,047	-0,001	0,153
12	1,997	-0,627	4,745	0,557	-0,004	0,384
13	2,995	0,059	4,744	0,679	-0,002	0,334
14	3,999	0,697	4,745	0,805	-0,004	0,447
15	5,002	1,102	4,747	0,601	-0,002	0,504
16	6,000	1,128	4,748	0,453	-0,005	0,568
17	7,003	0,502	4,749	0,204	-0,007	0,314
18	7,995	-0,701	4,751	0,049	-0,007	-0,355
19	-0,009	-0,378	3,167	-0,517	-0,001	-0,006
20	0,999	-1,031	3,165	-0,410	-0,002	0,171
21	1,999	-0,961	3,165	-0,198	-0,005	0,103
22	3,004	-0,309	3,167	-0,052	-0,005	0,000
23	4,003	0,660	3,165	0,073	-0,005	0,067
24	5,004	1,242	3,161	0,130	-0,007	0,271
25	6,001	1,233	3,164	0,165	-0,006	0,427
26	6,999	0,534	3,163	0,256	-0,007	0,305
27	7,997	-0,766	3,165	0,487	-0,005	-0,264
28	0,005	-0,044	1,589	-0,286	-0,001	-0,017
29	1,007	-0,789	1,588	-0,677	-0,002	0,145
30	2,015	-0,939	1,590	-0,990	-0,001	0,037
31	3,000	-0,441	1,590	-1,067	-0,002	-0,108
32	4,474	0,475	1,410	-0,863	-0,003	-0,029
33	5,869	0,234	1,030	-0,143	-0,003	0,060
34	7,158	-0,685	1,155	0,743	-0,003	-0,250
35	0,000	0,784	0,000	1,137	0,000	-0,396
36	0,999	-0,080	0,001	0,441	0,000	-0,006
37	2,002	-0,484	-0,003	-0,151	-0,001	0,092
38	3,006	-0,477	0,000	-0,481	0,000	0,056
39	5,129	-0,252	0,005	0,143	-0,003	-0,060
40	6,889	-1,273	0,024	1,458	-0,003	-0,615

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,607 0,463 0,265

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,939 0,750 0,452

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 3,1183974130 +/- 0,0117657496

Phi = 0,0235701596 +/- 0,0381920516

omega = 0,2994435468 +/- 0,0437186341

Xo = 3,4355971152 +/- 0,3654204640

Yo = 0,5595970052 +/- 0,3784700862

Zo = 8,4194102672 +/- 0,1962360408

Valores da Matriz de Rotação

-0,999453313835	0,015210669720	0,029354880205
-0,023186718504	-0,955405002471	-0,294386917744
0,023567977219	-0,294906623832	0,955235381291

1 0 3,436 0,560 8,419 17,157 1,350 178,671

ORI08
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
2	-3,606	0,001	-7,492	-0,007
3	-3,438	0,001	-5,437	-0,003
4	-3,267	0,002	-3,400	0,000
5	-3,091	0,001	-1,384	0,001
6	-2,917	0,001	0,573	0,001
7	-2,747	0,000	2,489	0,002
8	-2,572	-0,002	4,347	0,004
9	-2,394	-0,003	6,137	0,006
11	-0,764	0,006	-8,179	-0,003
12	-0,607	0,005	-5,943	0,001
13	-0,438	0,002	-3,744	0,001
14	-0,282	0,002	-1,570	0,001
15	-0,130	0,001	0,557	0,000
16	0,017	0,001	2,618	0,000
17	0,161	0,001	4,622	0,000
18	0,301	0,000	6,522	0,003
20	2,551	0,006	-8,857	0,000
21	2,703	0,001	-6,447	0,002
22	2,843	-0,002	-4,058	0,002
23	2,981	-0,004	-1,717	0,000
24	3,109	-0,003	0,567	-0,001
25	3,212	-0,002	2,781	-0,002
26	3,315	-0,001	4,913	-0,001
27	3,399	0,002	6,959	0,001
30	6,532	-0,001	-6,970	0,001
31	6,640	-0,005	-4,430	0,001
32	7,232	-0,007	-0,735	-0,001
33	8,285	-0,004	2,687	-0,002
34	7,984	0,002	5,686	-0,002
37	11,067	0,001	-7,654	0,000
38	11,098	-0,002	-4,828	0,000
39	11,114	-0,002	0,898	-0,003
40	11,016	0,004	5,323	-0,003

Nº de pontos analisados = 33 media dos resíduos = 0,002 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,003

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
2	1,017	0,839	6,329	0,139	0,005	-0,470
3	2,015	0,316	6,330	0,124	0,003	-0,131
4	3,013	0,063	6,329	0,217	0,002	0,039
5	4,018	-0,100	6,330	0,136	0,002	0,081
6	5,011	-0,147	6,329	0,137	0,001	0,088
7	6,008	-0,222	6,334	-0,003	-0,002	0,050
8	7,008	-0,536	6,336	-0,283	-0,003	-0,007
9	8,002	-1,023	6,332	-0,469	-0,005	-0,069
11	0,990	0,358	4,744	0,799	-0,001	-0,067
12	1,997	-0,054	4,745	0,651	-0,004	0,154

13	2,995	-0,149	4,744	0,319	-0,002	0,130
14	3,999	-0,129	4,745	0,278	-0,004	0,103
15	5,002	-0,041	4,747	0,156	-0,002	0,042
16	6,000	0,047	4,748	0,186	-0,005	0,025
17	7,003	-0,022	4,749	0,178	-0,007	0,037
18	7,995	-0,485	4,751	0,052	-0,007	0,047
20	0,999	0,066	3,165	0,759	-0,002	0,013
21	1,999	-0,190	3,165	0,141	-0,005	0,112
22	3,004	-0,244	3,167	-0,304	-0,005	0,091
23	4,003	-0,077	3,165	-0,522	-0,005	-0,007
24	5,004	0,092	3,161	-0,484	-0,007	-0,062
25	6,001	0,257	3,164	-0,361	-0,006	-0,084
26	6,999	0,199	3,163	-0,123	-0,007	-0,039
27	7,997	-0,173	3,165	0,282	-0,005	0,033
30	2,015	-0,159	1,590	-0,090	-0,001	0,090
31	3,000	-0,149	1,590	-0,678	-0,002	0,103
32	4,474	0,120	1,410	-0,997	-0,003	0,023
33	5,869	0,326	1,030	-0,561	-0,003	-0,026
34	7,158	0,253	1,155	0,260	-0,003	-0,058
37	2,002	-0,011	-0,003	0,117	-0,001	-0,014
38	3,006	0,074	0,000	-0,308	0,000	0,019
39	5,129	0,426	0,005	-0,387	-0,003	-0,060
40	6,889	0,476	0,024	0,638	-0,003	-0,186

N° de pontos analisados = 33 media dos resíduos = 0,237 0,338 0,078

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,410 0,543 0,139

Parâmetros Determinados e Suas Precisoões

Kappa = 4,7859364039 +/- 0,0102227793
 Phi = -0,2914577934 +/- 0,0338629803
 âmega = 0,3339673675 +/- 0,0374400903
 Xo = -0,7964867649 +/- 0,4359555537
 Yo = 1,0240015907 +/- 0,5095796493
 Zo = 9,5714434111 +/- 0,2443704125

Valores da Matriz de Rotação

0,070382142152 -0,949116548659 -0,306959494279
 0,955236618245 -0,024515271686 0,294825379874
 -0,287348842402 -0,313969391049 0,904905444925

1 0 -0,796 1,024 9,571 19,135 -16,699 274,213

ORI09
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	-3,793	-0,004	5,010	-0,004
2	-2,647	-0,004	5,423	-0,004
3	-1,394	-0,004	5,870	-0,005
4	-0,005	-0,004	6,358	-0,004
5	1,538	-0,003	6,887	-0,002
6	3,231	-0,001	7,465	0,000
7	5,118	0,003	8,110	0,003
8	7,232	0,007	8,826	0,006
10	-3,980	0,001	2,659	-0,004
11	-2,807	0,000	2,959	-0,005
12	-1,511	0,000	3,301	-0,006
13	-0,080	-0,002	3,663	-0,006
14	1,517	-0,003	4,070	-0,005
15	3,295	-0,003	4,520	-0,004
16	5,270	0,000	5,015	-0,002
17	7,493	0,004	5,567	0,000
18	9,974	0,008	6,180	0,002
19	-4,112	0,002	0,171	0,000
20	-2,916	0,002	0,354	0,000
21	-1,595	0,001	0,560	-0,001
22	-0,112	-0,001	0,793	-0,001
23	1,536	-0,003	1,045	-0,002
24	3,379	-0,004	1,323	-0,002
25	5,437	-0,003	1,644	-0,002
26	7,757	0,000	1,996	-0,001
27	10,373	0,006	2,400	0,000
28	-4,235	0,002	-2,445	0,005
29	-3,016	0,001	-2,393	0,005
30	-1,654	0,000	-2,332	0,005
31	-0,162	-0,001	-2,264	0,004
32	2,413	-0,004	-2,534	0,004
33	5,327	-0,002	-3,330	0,002
34	8,481	0,002	-2,951	0,000
35	-4,368	-0,002	-5,188	0,004
36	-3,136	-0,001	-5,283	0,005
37	-1,754	-0,001	-5,397	0,005
38	-0,202	-0,001	-5,505	0,005
39	3,753	-0,001	-5,748	0,003
40	7,922	0,003	-5,934	-0,001

Nº de pontos analisados = 39 media dos resíduos = 0,002 0,003

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,005

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	0,618	6,327	0,552	0,007	-0,303
2	1,017	0,699	6,329	0,683	0,005	-0,219
3	2,015	0,723	6,330	0,743	0,003	-0,113

4	3,013	0,835	6,329	0,749	0,002	-0,104
5	4,018	0,616	6,330	0,336	0,002	-0,148
6	5,011	0,176	6,329	-0,041	0,001	-0,114
7	6,008	-0,788	6,334	-0,581	-0,002	-0,103
8	7,008	-2,205	6,336	-1,092	-0,003	-0,195
10	-0,019	0,024	4,750	0,573	0,001	0,253
11	0,990	0,096	4,744	0,801	-0,001	0,295
12	1,997	0,220	4,745	1,055	-0,004	0,325
13	2,995	0,556	4,744	1,022	-0,002	0,089
14	3,999	0,700	4,745	0,981	-0,004	0,048
15	5,002	0,695	4,747	0,734	-0,002	0,015
16	6,000	0,205	4,748	0,470	-0,005	0,153
17	7,003	-0,864	4,749	0,105	-0,007	0,265
18	7,995	-2,446	4,751	-0,279	-0,007	0,178
19	-0,009	-0,283	3,167	-0,059	-0,001	0,293
20	0,999	-0,278	3,165	0,010	-0,002	0,275
21	1,999	-0,151	3,165	0,152	-0,005	0,174
22	3,004	0,211	3,167	0,256	-0,005	-0,079
23	4,003	0,634	3,165	0,369	-0,005	-0,279
24	5,004	0,796	3,161	0,455	-0,007	-0,257
25	6,001	0,640	3,164	0,367	-0,006	-0,129
26	6,999	-0,081	3,163	0,277	-0,007	0,102
27	7,997	-1,606	3,165	0,179	-0,005	0,258
28	0,005	-0,246	1,589	-0,836	-0,001	0,183
29	1,007	-0,197	1,588	-0,832	-0,002	0,106
30	2,015	-0,071	1,590	-0,903	-0,001	-0,033
31	3,000	0,204	1,590	-0,845	-0,002	-0,237
32	4,474	0,644	1,410	-0,785	-0,003	-0,422
33	5,869	0,427	1,030	-0,503	-0,003	-0,183
34	7,158	-0,554	1,155	0,034	-0,003	0,129
35	0,000	0,241	0,000	-0,688	0,000	-0,203
36	0,999	0,165	0,001	-0,877	0,000	-0,083
37	2,002	0,164	-0,003	-1,041	-0,001	-0,047
38	3,006	0,276	0,000	-1,111	0,000	-0,103
39	5,129	0,154	0,005	-0,643	-0,003	-0,016
40	6,889	-0,950	0,024	0,215	-0,003	0,231

Nº de pontos analisados = 39 media dos resíduos = 0,550 0,570 0,173

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,950 0,883 0,266

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 6,1579202542 +/- 0,0179683116

Phi = 0,6126523623 +/- 0,0340824616

omega = 0,2384989102 +/- 0,0408031662

Xo = 9,0524888590 +/- 0,2776009562

Yo = 0,7354095754 +/- 0,3496467424

Zo = 8,2434287765 +/- 0,3028339579

Valores da Matriz de Rotação

0,811715331795 0,013384159818 -0,583899892444

0,102214752769 0,981052833848 0,164582749749

0,575039445991 -0,193277524468 0,794967567948

1 0 9,052 0,735 8,243 13,665 35,102 352,822

ORI10
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	1,182	0,008	6,970	-0,002
2	1,417	0,006	5,740	-0,004
3	1,664	0,004	4,423	-0,004
4	1,931	0,001	3,000	-0,002
5	2,215	-0,001	1,454	0,001
6	2,516	-0,003	-0,197	0,005
7	2,843	-0,004	-1,976	0,007
8	3,186	-0,004	-3,895	0,009
9	3,541	-0,003	-5,943	0,007
10	-1,126	0,007	7,530	-0,002
11	-0,979	0,006	6,262	-0,006
12	-0,807	0,005	4,886	-0,007
13	-0,634	0,005	3,402	-0,006
14	-0,435	0,003	1,783	-0,003
15	-0,217	0,002	0,024	0,001
16	0,019	0,000	-1,872	0,005
17	0,271	-0,002	-3,932	0,008
18	0,542	-0,003	-6,126	0,007
19	-3,669	0,003	8,078	0,000
20	-3,614	0,004	6,765	-0,004
21	-3,551	0,005	5,346	-0,007
22	-3,477	0,006	3,789	-0,006
23	-3,397	0,006	2,095	-0,004
24	-3,307	0,004	0,248	-0,001
25	-3,192	0,003	-1,764	0,002
26	-3,070	0,001	-3,955	0,005
27	-2,922	-0,001	-6,327	0,005
28	-6,462	-0,004	8,657	0,005
29	-6,518	-0,002	7,298	0,001
30	-6,576	0,000	5,814	-0,002
31	-6,638	0,002	4,223	-0,004
32	-7,129	0,002	1,587	-0,003
33	-8,171	0,000	-1,274	-0,002
34	-7,979	-0,002	-4,358	-0,001
36	-9,745	-0,012	7,911	0,006
37	-9,961	-0,010	6,374	0,002
38	-10,178	-0,008	4,681	-0,001
39	-10,671	-0,006	0,515	-0,004
40	-11,065	-0,007	-3,669	-0,004

Nº de pontos analisados = 39 media dos resíduos = 0,004 0,004

Erro médio quadrático em X e Y = 0,006 0,006

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	-0,408	6,327	-1,205	0,007	-0,348
2	1,017	-0,617	6,329	-0,957	0,005	-0,034
3	2,015	-0,650	6,330	-0,669	0,003	0,110

4	3,013	-0,338	6,329	-0,194	0,002	0,118
5	4,018	0,173	6,330	0,111	0,002	-0,032
6	5,011	0,913	6,329	0,466	0,001	-0,139
7	6,008	1,464	6,334	0,622	-0,002	-0,132
8	7,008	1,824	6,336	0,577	-0,003	-0,077
9	8,002	1,710	6,332	0,493	-0,005	0,097
10	-0,019	-0,386	4,750	-1,153	0,001	-0,120
11	0,990	-0,885	4,744	-1,151	-0,001	0,316
12	1,997	-1,147	4,745	-0,962	-0,004	0,519
13	2,995	-0,951	4,744	-0,902	-0,002	0,269
14	3,999	-0,562	4,745	-0,583	-0,004	0,069
15	5,002	0,214	4,747	-0,284	-0,002	-0,237
16	6,000	1,000	4,748	0,106	-0,005	-0,319
17	7,003	1,627	4,749	0,316	-0,007	-0,259
18	7,995	1,720	4,751	0,427	-0,007	-0,028
19	-0,009	0,012	3,167	-0,587	-0,001	-0,176
20	0,999	-0,578	3,165	-0,919	-0,002	0,300
21	1,999	-1,011	3,165	-1,149	-0,005	0,532
22	3,004	-1,096	3,167	-1,295	-0,005	0,432
23	4,003	-0,771	3,165	-1,203	-0,005	0,132
24	5,004	-0,314	3,161	-0,940	-0,007	-0,109
25	6,001	0,435	3,164	-0,666	-0,006	-0,346
26	6,999	1,052	3,163	-0,301	-0,007	-0,347
27	7,997	1,143	3,165	0,151	-0,005	-0,109
28	0,005	0,657	1,589	0,899	-0,001	-0,627
29	1,007	0,128	1,588	0,427	-0,002	-0,084
30	2,015	-0,383	1,590	-0,118	-0,001	0,312
31	3,000	-0,668	1,590	-0,529	-0,002	0,435
32	4,474	-0,602	1,410	-0,509	-0,003	0,295
33	5,869	-0,504	1,030	0,062	-0,003	0,195
34	7,158	-0,329	1,155	0,523	-0,003	0,097
36	0,999	0,624	0,001	3,058	0,000	-0,896
37	2,002	0,079	-0,003	2,509	-0,001	-0,310
38	3,006	-0,318	0,000	1,988	0,000	0,038
39	5,129	-0,974	0,005	1,537	-0,003	0,312
40	6,889	-1,284	0,024	2,005	-0,003	0,150

Nº de pontos analisados = 39 media dos resíduos = 0,758 0,835 0,242

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 1,187 1,369 0,394

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 1,4487959665 +/- 0,0246451523

Phi = 0,4130932907 +/- 0,0452653417

omega = 0,4471303205 +/- 0,0564950391

Xo = 9,1105173732 +/- 0,3926276405

Yo = 0,8151244605 +/- 0,5251843028

Zo = 8,4307191837 +/- 0,4063383891

Valores da Matriz de Rotação

0,111461127075 0,916113386199 0,385113854307

-0,909075827885 -0,062552229365 0,411908190932

0,401444337744 -0,396009447146 0,825844393009

1 0 9,111 0,815 8,431 25,619 23,668 83,010

ORI1
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	2,924	0,001	-3,874	0,010
2	1,785	0,004	-4,279	0,010
3	0,542	0,006	-4,722	0,011
4	-0,837	0,008	-5,203	0,010
5	-2,368	0,008	-5,730	0,007
6	-4,046	0,006	-6,305	0,004
7	-5,918	0,001	-6,945	0,000
8	-8,011	-0,004	-7,656	-0,003
9	-10,366	-0,010	-8,450	-0,006
10	3,127	-0,003	-1,551	0,003
11	1,959	0,000	-1,848	0,005
12	0,668	0,002	-2,186	0,006
13	-0,758	0,005	-2,547	0,006
14	-2,348	0,006	-2,954	0,006
15	-4,120	0,006	-3,403	0,004
16	-6,090	0,003	-3,900	0,003
17	-8,309	-0,003	-4,456	0,001
18	-10,783	-0,009	-5,075	-0,002
19	3,286	-0,005	0,925	-0,005
20	2,087	-0,002	0,745	-0,004
21	0,767	0,000	0,541	-0,003
22	-0,717	0,004	0,310	-0,001
23	-2,367	0,006	0,058	0,000
24	-4,213	0,005	-0,221	0,001
25	-6,279	0,003	-0,547	0,001
26	-8,608	-0,002	-0,904	0,001
27	-11,250	-0,008	-1,317	0,000
28	3,433	-0,003	3,546	-0,011
29	2,213	-0,001	3,499	-0,010
30	0,846	0,001	3,442	-0,009
31	-0,652	0,003	3,378	-0,007
32	-3,242	0,003	3,654	-0,004
33	-6,192	-0,001	4,470	-0,001
34	-9,398	-0,007	4,089	0,002
35	3,602	0,001	6,316	-0,008
36	2,361	0,001	6,421	-0,008
37	0,971	0,001	6,542	-0,007
38	-0,597	0,001	6,663	-0,006
39	-4,607	-0,002	6,930	0,000
40	-8,863	-0,009	7,139	0,004

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,004 0,005

Erro médio quadrático em X e Y = 0,006 0,008

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	0,458	6,327	1,407	0,007	0,453
2	1,017	0,876	6,329	1,526	0,005	0,182
3	2,015	1,213	6,330	1,637	0,003	0,078
4	3,013	1,611	6,329	1,586	0,002	-0,102

5	4,018	1,636	6,330	1,178	0,002	-0,197
6	5,011	1,299	6,329	0,741	0,001	-0,133
7	6,008	0,337	6,334	0,071	-0,002	-0,076
8	7,008	-1,307	6,336	-0,572	-0,003	-0,064
9	8,002	-3,240	6,332	-0,886	-0,005	-0,186
10	-0,019	-0,252	4,750	0,485	0,001	0,512
11	0,990	0,099	4,744	0,785	-0,001	0,284
12	1,997	0,481	4,745	1,063	-0,004	0,107
13	2,995	1,050	4,744	1,089	-0,002	-0,239
14	3,999	1,317	4,745	1,090	-0,004	-0,274
15	5,002	1,336	4,747	0,823	-0,002	-0,254
16	6,000	0,750	4,748	0,568	-0,005	-0,001
17	7,003	-0,576	4,749	0,224	-0,007	0,251
18	7,995	-2,652	4,751	-0,096	-0,007	0,294
19	-0,009	-0,600	3,167	-0,854	-0,001	0,404
20	0,999	-0,295	3,165	-0,683	-0,002	0,085
21	1,999	0,013	3,165	-0,439	-0,005	-0,141
22	3,004	0,518	3,167	-0,250	-0,005	-0,451
23	4,003	0,984	3,165	-0,033	-0,005	-0,609
24	5,004	1,038	3,161	0,152	-0,007	-0,463
25	6,001	0,664	3,164	0,221	-0,006	-0,180
26	6,999	-0,517	3,163	0,272	-0,007	0,208
27	7,997	-2,475	3,165	0,358	-0,005	0,422
28	0,005	-0,346	1,589	-1,881	-0,001	0,181
29	1,007	-0,173	1,588	-1,737	-0,002	-0,015
30	2,015	0,068	1,590	-1,633	-0,001	-0,229
31	3,000	0,353	1,590	-1,402	-0,002	-0,405
32	4,474	0,551	1,410	-0,945	-0,003	-0,383
33	5,869	-0,273	1,030	-0,240	-0,003	0,096
34	7,158	-1,901	1,155	0,615	-0,003	0,468
35	0,000	0,217	0,000	-1,522	0,000	-0,105
36	0,999	0,258	0,001	-1,502	0,000	-0,121
37	2,002	0,225	-0,003	-1,339	-0,001	-0,075
38	3,006	0,279	0,000	-1,186	0,000	-0,101
39	5,129	-0,455	0,005	-0,053	-0,003	0,220
40	6,889	-2,571	0,024	1,359	-0,003	0,559

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,882 0,863 0,240

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 1,490 1,355 0,380

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 2,9755310899 +/- 0,0282296425

Phi = 0,6420812973 +/- 0,0500669492

omega = 0,3136068017 +/- 0,0639330994

Xo = 9,0560662828 +/- 0,4193859562

Yo = 0,7041827661 +/- 0,5431052004

Zo = 8,2926218202 +/- 0,4439852635

Valores da Matriz de Rotação

-0,789834120516 -0,024965627775 0,612812189418

-0,132380190396 -0,968679598304 -0,210084080837

0,598863546444 -0,247055769534 0,761791244030

1 0 9,056 0,704 8,293 17,968 36,788 170,485

ORI12
 Determ. dos Parâmetros de Orientação das Equações Projetivas no Espaço
 Valores Observ. Digitalizados na Foto e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y
1	-1,425	-0,002	-6,601	-0,001
2	-1,705	-0,001	-5,381	0,000
3	-2,006	0,000	-4,071	0,000
4	-2,327	0,002	-2,654	-0,002
5	-2,667	0,002	-1,116	-0,003
6	-3,032	0,003	0,528	-0,005
7	-3,426	0,002	2,303	-0,006
8	-3,841	0,001	4,218	-0,004
9	-4,273	-0,001	6,259	0,001
10	0,908	-0,003	-7,078	0,002
11	0,712	-0,003	-5,811	0,004
12	0,488	-0,001	-4,438	0,005
13	0,258	-0,002	-2,959	0,003
14	-0,002	-0,001	-1,343	0,001
15	-0,284	0,000	0,414	-0,003
16	-0,590	0,001	2,308	-0,004
17	-0,921	0,002	4,368	-0,004
18	-1,274	0,002	6,558	-0,001
19	3,474	-0,003	-7,525	0,002
20	3,372	-0,004	-6,210	0,004
21	3,256	-0,005	-4,791	0,005
22	3,124	-0,005	-3,235	0,004
23	2,980	-0,004	-1,540	0,002
24	2,823	-0,003	0,311	0,000
25	2,635	-0,002	2,325	-0,003
26	2,429	0,000	4,518	-0,003
27	2,192	0,002	6,899	0,000
28	6,291	0,000	-7,993	-0,002
29	6,301	-0,002	-6,633	0,001
30	6,304	-0,003	-5,143	0,002
31	6,306	-0,004	-3,544	0,003
32	6,706	-0,003	-0,885	0,001
33	7,648	0,000	2,027	0,001
34	7,342	0,002	5,116	0,002
35	9,421	0,006	-8,535	-0,005
36	9,555	0,005	-7,122	-0,003
37	9,718	0,004	-5,572	-0,001
38	9,871	0,003	-3,869	0,001
39	10,216	0,003	0,330	0,002
40	10,464	0,006	4,545	0,004

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,002 0,002

Erro médio quadrático em X e Y = 0,004 0,004

Valores Observados Determinado no Terreno e Resíduos

Nº Pto	Coord. x	Resíduo x	Coord y	Resíduo y	Coord z	Resíduo z
1	0,014	0,102	6,327	-0,298	0,007	-0,308
2	1,017	-0,051	6,329	-0,207	0,005	-0,088
3	2,015	-0,008	6,330	0,036	0,003	0,031

4	3,013	0,287	6,329	0,324	0,002	0,008
5	4,018	0,593	6,330	0,340	0,002	-0,131
6	5,011	1,012	6,329	0,479	0,001	-0,169
7	6,008	1,118	6,334	0,379	-0,002	-0,153
8	7,008	0,827	6,336	0,100	-0,003	-0,134
9	8,002	-0,186	6,332	-0,142	-0,005	-0,071
10	-0,019	-0,353	4,750	-0,574	0,001	0,110
11	0,990	-0,610	4,744	-0,518	-0,001	0,342
12	1,997	-0,711	4,745	-0,344	-0,004	0,435
13	2,995	-0,483	4,744	-0,324	-0,002	0,195
14	3,999	-0,132	4,745	-0,101	-0,004	0,032
15	5,002	0,465	4,747	0,023	-0,002	-0,213
16	6,000	0,885	4,748	0,247	-0,005	-0,204
17	7,003	0,973	4,749	0,360	-0,007	-0,066
18	7,995	0,238	4,751	0,379	-0,007	0,150
19	-0,009	-0,245	3,167	-0,570	-0,001	0,102
20	0,999	-0,567	3,165	-0,831	-0,002	0,309
21	1,999	-0,806	3,165	-0,966	-0,005	0,403
22	3,004	-0,779	3,167	-1,045	-0,005	0,264
23	4,003	-0,407	3,165	-0,888	-0,005	-0,008
24	5,004	0,009	3,161	-0,639	-0,007	-0,185
25	6,001	0,496	3,164	-0,395	-0,006	-0,292
26	6,999	0,633	3,163	0,029	-0,007	-0,145
27	7,997	0,154	3,165	0,516	-0,005	0,128
28	0,005	0,205	1,589	0,045	-0,001	-0,217
29	1,007	-0,118	1,588	-0,334	-0,002	0,081
30	2,015	-0,377	1,590	-0,677	-0,001	0,252
31	3,000	-0,432	1,590	-0,874	-0,002	0,228
32	4,474	-0,273	1,410	-0,774	-0,003	0,091
33	5,869	-0,225	1,030	-0,107	-0,003	0,082
34	7,158	-0,442	1,155	0,673	-0,003	0,129
35	0,000	0,593	0,000	1,433	0,000	-0,776
36	0,999	0,315	0,001	1,203	0,000	-0,416
37	2,002	0,062	-0,003	0,859	-0,001	-0,133
38	3,006	-0,154	0,000	0,668	0,000	0,048
39	5,129	-0,524	0,005	0,791	-0,003	0,171
40	6,889	-1,085	0,024	1,725	-0,003	0,121

Nº de pontos analisados = 40 media dos resíduos = 0,448 0,530 0,185

Erro médio quadrático em X,Y,Z = 0,713 0,855 0,303

Parâmetros Determinados e Suas Precisões

Kappa = 4,5611566550 +/- 0,0149178198

Phi = 0,4326295833 +/- 0,0277015672

âmega = 0,4303307907 +/- 0,0335183575

Xo = 9,0315406575 +/- 0,2368938438

Yo = 0,7875200912 +/- 0,3066366871

Zo = 8,3573929911 +/- 0,2478932225

Valores da Matriz de Rotação

-0,136775981920 -0,924804890853 -0,355004569863

0,897504179649 0,035985985237 -0,439535273190

0,419259559559 -0,378735953826 0,825094236435

1 0 9,032 0,788 8,357 24,656 24,788 261,334

ANEXO III

CAMERA CALIBRATION OBSERVATIONS

VARIANCE

F= 20,0000 1,0000D+00
 X= 0,0000 1,0000D+00
 Y= 0,0000 1,0000D+00

K1= 0,0000 1,0000D-01
 K2= 0,0000 1,0000D-01
 K3= 0,0000 1,0000D-01
 P1= 0,0000 1,0000D-01
 P2= 0,0000 1,0000D-01

MINIMUM ITERATIONS= 1
 MAXIMUM ITERATIONS= 7
 ANGULAR CONVERGENCE= 1,0000D-04
 CALIBRATION CONVERGENCE= 1,0000D-04
 COORDINATE CONVERGENCE= 1,0000D-04
 A PRIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT= 1,0000D+00
 PHOTO COORDINATE VARIANCE= 9,0000D-06

CONVERGED: ITERATIONS= 6
 A PRIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT= 1,0000
 A POSTERIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT=0,1054E+01
 COMPUTED CHI SQUARED=0,8876E+03
 DEGREES OF FREEDOM= 842

PHOTO 1

XC= -1,219
 YC= 0,450
 ZC= 6,845
 OMEGA= 15,06260
 PHI= -21,25514
 KAPPA= 8,98371
 RESIDUALS

POINT	VX	VY
3	0,003	-0,004
4	0,006	-0,004
5	0,004	-0,006
6	0,001	-0,007
7	0,000	-0,006
8	0,000	-0,004
9	0,001	-0,004
10	-0,007	0,002
11	-0,002	0,001
12	0,002	-0,001
13	0,004	-0,002
14	0,005	-0,001
15	0,006	-0,004

16	0,001	-0,002
17	0,002	-0,002
18	-0,004	0,000
19	-0,007	0,000
20	-0,001	-0,001
21	0,002	0,000
22	0,005	0,001
23	0,006	0,001
24	0,004	0,002
25	0,004	0,004
26	-0,002	0,005
27	-0,002	0,004
28	-0,009	-0,005
29	-0,002	0,000
30	0,000	0,001
31	0,003	0,003
32	0,003	0,006
33	-0,001	0,009
34	-0,003	0,012
35	-0,008	-0,007
36	-0,004	-0,003
37	-0,001	0,000
38	0,000	0,003
39	0,000	0,011

PHOTO 2

XC= -1,280
YC= 0,425
ZC= 6,671
OMEGA= 33,50744
PHI= -29,95640
KAPPA= 107,34141
RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	-0,002	-0,005
2	0,001	0,002
3	0,002	0,002
4	0,002	0,002
5	0,003	0,003
6	0,001	0,001
7	0,004	0,001
8	0,005	-0,001
9	0,006	-0,001
10	0,000	-0,005
11	0,001	0,001
12	0,002	0,002
13	0,001	0,002
14	0,001	0,006
15	0,001	0,004
16	0,002	0,003
17	0,004	0,001

18	0,001	-0,003
19	0,000	-0,006
20	-0,001	-0,001
21	0,000	0,003
22	0,000	0,004
23	-0,001	0,004
24	-0,001	0,003
25	-0,002	0,004
26	-0,001	-0,001
27	0,001	-0,002
28	0,004	-0,009
29	0,000	-0,003
30	-0,002	0,000
31	-0,004	0,002
32	-0,005	0,004
33	-0,003	0,000
34	-0,003	-0,003
36	0,002	-0,002
37	0,001	0,000
38	-0,002	0,002
39	-0,005	0,000
40	-0,008	-0,003

PHOTO 3

XC= -1,260
YC= 0,399
ZC= 6,665
OMEGA= 18,85125
PHI= -21,15967
KAPPA= 188,93219

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	0,005	0,001
2	0,002	0,001
3	-0,001	0,002
4	-0,002	0,001
5	-0,004	0,003
6	-0,005	0,004
7	-0,004	0,004
8	-0,003	0,003
9	0,001	0,005
10	0,002	0,001
11	-0,002	0,000
12	0,000	0,002
13	-0,003	0,001
14	-0,004	0,001
15	-0,003	0,003
16	-0,003	0,002
17	-0,001	0,001
18	0,002	0,004

19	0,004	-0,001
20	0,001	-0,001
21	-0,001	0,000
22	-0,003	0,000
23	-0,003	-0,001
24	-0,002	-0,001
25	-0,002	-0,002
26	0,001	-0,002
27	0,003	-0,002
28	0,008	0,002
29	0,001	-0,001
30	-0,001	-0,002
31	-0,002	-0,004
32	-0,004	-0,007
33	-0,001	-0,005
34	0,005	-0,006
35	0,006	0,005
36	0,004	0,006
37	0,000	0,000
38	-0,003	-0,001
39	-0,001	-0,006
40	0,003	-0,007

PHOTO 4

XC= -1,260
 YC= 0,436
 ZC= 6,692
 OMEGA= 30,46051
 PHI= -26,34542
 KAPPA= 286,15894

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	0,001	0,004
2	0,000	0,001
3	-0,002	-0,002
4	-0,003	-0,003
5	-0,003	-0,003
6	-0,006	-0,001
7	-0,005	-0,002
8	-0,007	0,000
9	-0,006	0,002
10	0,001	0,005
11	0,000	0,000
12	-0,002	-0,002
13	-0,001	-0,004
14	-0,001	-0,005
15	0,000	-0,004
16	0,000	-0,001
17	-0,002	-0,002

18	-0,001	0,000
19	-0,001	0,004
20	-0,002	-0,001
21	0,001	-0,003
22	0,000	-0,004
23	0,002	-0,004
24	0,003	-0,002
25	0,002	-0,001
26	0,003	0,001
27	0,003	0,003
28	-0,005	0,006
29	-0,001	0,000
30	0,003	-0,002
31	0,003	-0,003
32	0,004	-0,001
33	0,004	0,000
34	0,006	0,003
35	-0,004	0,008
36	-0,003	0,004
37	0,001	0,000
38	0,006	-0,001
39	0,008	0,001

PHOTO 5

XC= 3,589
 YC= 0,500
 ZC= 8,423
 OMEGA= 14,60533
 PHI= 0,22365
 KAPPA= 359,54478

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	-0,005	-0,002
2	-0,006	-0,003
3	-0,003	0,000
4	-0,003	0,000
5	0,002	0,001
6	0,003	-0,001
7	0,004	-0,003
8	0,002	-0,005
9	0,003	-0,006
10	-0,005	-0,003
11	-0,007	-0,002
12	-0,005	-0,002
13	-0,002	0,000
14	0,000	-0,001
15	0,002	-0,001
16	0,004	-0,001
17	0,004	-0,003
18	0,004	-0,001

19	0,000	-0,001
20	-0,005	-0,002
21	-0,003	-0,001
22	-0,002	-0,001
23	0,002	-0,001
24	0,003	0,000
25	0,003	-0,001
26	0,004	-0,003
27	0,003	-0,001
28	0,000	-0,001
29	0,000	0,001
30	-0,003	0,001
31	0,001	0,002
32	-0,001	0,002
33	0,001	0,004
34	0,001	0,002
35	0,004	0,004
36	0,001	0,004
37	-0,001	0,005
38	0,000	0,002
39	-0,001	0,004
40	-0,001	0,008

PHOTO 6

XC= 3,554
YC= 0,407
ZC= 8,419
OMEGA= 28,33430
PHI= -9,66153
KAPPA= 95,27086

RESIDUALS

POINT	VX	VY
2	0,000	-0,008
3	0,000	-0,003
4	0,002	0,000
5	0,001	0,000
6	0,003	0,004
7	0,000	0,002
8	0,001	0,002
9	0,001	0,002
12	0,002	-0,002
13	0,002	0,002
14	0,003	0,002
15	0,002	0,002
16	0,002	0,003
17	0,000	0,004
18	0,002	0,003
21	0,001	-0,003
22	0,000	0,000
23	-0,001	0,004

24	0,000	0,003
25	0,000	0,003
26	-0,001	0,000
27	-0,002	-0,001
30	0,003	-0,005
31	-0,001	-0,001
32	-0,003	0,003
33	-0,003	-0,001
34	-0,003	-0,002
37	-0,003	-0,001
38	0,002	-0,003
39	-0,001	0,000
40	-0,006	-0,003

PHOTO 7

XC= 3,569
 YC= 0,455
 ZC= 8,415
 OMEGA= 17,31012
 PHI= 1,60112
 KAPPA= 178,54710

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	0,003	0,003
2	0,006	0,002
3	0,004	0,000
4	0,001	0,001
5	0,001	0,001
6	-0,003	0,001
7	-0,004	0,000
8	-0,006	0,003
9	-0,004	0,004
10	0,002	0,002
11	0,004	0,001
12	0,001	0,002
13	0,002	0,001
14	0,000	0,002
15	-0,001	0,001
16	-0,002	0,003
17	-0,004	0,002
18	-0,005	0,003
19	0,003	0,001
20	0,005	0,001
21	0,002	0,001
22	-0,001	0,002
23	-0,001	0,001
24	-0,001	-0,001
25	-0,002	0,001
26	-0,002	0,000
27	-0,001	0,002

28	0,003	0,002
29	0,003	0,000
30	0,003	0,000
31	0,001	-0,002
32	-0,003	-0,005
33	-0,001	-0,005
34	0,000	-0,004
35	-0,005	-0,004
36	0,000	-0,002
37	0,000	-0,002
38	0,001	-0,003
39	-0,001	-0,004
40	0,002	-0,007

PHOTO 8

XC= 3,573
 YC= 0,426
 ZC= 8,502
 OMEGA= 27,11193
 PHI= -7,43940
 KAPPA= 274,20642

RESIDUALS

POINT	VX	VY
2	-0,001	0,010
3	-0,003	0,004
4	-0,003	0,001
5	-0,003	-0,002
6	-0,003	-0,005
7	-0,004	-0,008
8	-0,005	-0,008
9	-0,005	-0,009
11	-0,002	0,010
12	-0,002	0,005
13	-0,002	0,001
14	-0,002	-0,001
15	-0,002	-0,004
16	-0,002	-0,004
17	-0,001	-0,006
18	-0,005	-0,005
20	-0,003	0,012
21	-0,004	0,003
22	-0,001	0,000
23	-0,002	-0,004
24	-0,001	-0,003
25	0,001	-0,005
26	0,000	-0,003
27	0,001	-0,003
30	-0,002	0,004
31	0,001	0,000

32	0,004	-0,002
33	0,007	0,001
34	0,007	0,004
37	0,003	0,001
38	0,003	0,003
39	0,007	0,000
40	0,012	0,005

PHOTO 9

XC= 9,143
 YC= 0,727
 ZC= 8,273
 OMEGA= 14,37920
 PHI= 35,99484
 KAPPA= 352,37359

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	-0,001	0,003
2	-0,004	-0,001
3	-0,002	-0,001
4	-0,002	-0,003
5	-0,002	0,000
6	-0,001	0,000
7	-0,001	0,001
8	0,000	-0,002
10	0,003	0,001
11	0,001	-0,001
12	0,001	-0,001
13	0,001	-0,001
14	0,000	0,000
15	0,000	0,001
16	0,001	0,001
17	0,002	0,000
18	-0,002	0,000
19	0,001	-0,001
20	0,002	0,000
21	0,002	0,000
22	0,001	0,000
23	0,001	0,001
24	0,001	0,000
25	0,002	0,001
26	-0,001	0,000
27	0,002	0,001
28	0,002	0,000
29	0,001	0,000
30	-0,001	0,000
31	-0,001	0,000
32	-0,002	0,003
33	-0,002	-0,001

34	0,000	-0,002
35	-0,003	0,001
36	0,000	0,000
37	-0,001	0,001
38	-0,001	0,001
39	0,001	-0,002
40	0,000	0,000

PHOTO 10

XC= 9,117
 YC= 0,660
 ZC= 8,382
 OMEGA= 26,03128
 PHI= 24,24540
 KAPPA= 83,03797

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	0,005	-0,001
2	0,002	0,001
3	0,004	0,000
4	0,002	-0,003
5	0,001	-0,001
6	0,000	0,000
7	-0,001	-0,002
8	-0,001	-0,001
9	-0,003	0,003
10	0,003	0,001
11	0,001	-0,001
12	0,001	-0,001
13	0,002	-0,003
14	0,002	-0,002
15	0,001	0,000
16	0,000	0,000
17	0,001	0,000
18	0,001	0,004
19	0,000	0,000
20	-0,002	0,000
21	-0,002	-0,001
22	0,000	-0,002
23	0,000	-0,002
24	-0,001	-0,002
25	-0,001	0,000
26	0,002	0,003
27	0,003	0,003
28	-0,001	-0,002
29	-0,003	0,000
30	-0,003	0,000
31	-0,001	-0,002
32	-0,004	-0,001

33	-0,003	0,001
34	0,001	0,002
36	-0,004	0,003
37	-0,002	0,001
38	-0,001	0,002
39	0,001	-0,001
40	0,002	0,001

PHOTO 11

XC= 9,136
 YC= 0,684
 ZC= 8,260
 OMEGA= 17,45025
 PHI= 36,72850
 KAPPA= 170,78453

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	-0,001	0,001
2	0,003	0,001
3	0,001	0,002
4	0,002	0,001
5	0,003	0,001
6	0,001	0,001
7	0,003	-0,001
8	0,000	-0,001
9	-0,002	-0,002
10	-0,001	0,002
11	0,000	0,003
12	0,001	0,002
13	0,001	0,003
14	0,001	0,003
15	0,000	0,000
16	0,000	0,000
17	-0,001	0,001
18	-0,004	0,001
19	-0,003	0,001
20	0,001	0,000
21	-0,001	0,000
22	0,001	0,000
23	0,001	-0,001
24	0,000	0,000
25	-0,001	0,001
26	-0,002	0,001
27	-0,002	0,001
28	0,000	-0,001
29	-0,001	-0,001
30	0,001	-0,001
31	0,000	-0,001
32	-0,002	-0,002

33	-0,001	-0,002
34	-0,001	0,001
35	0,001	-0,002
36	0,001	-0,003
37	0,000	-0,001
38	0,002	-0,004
39	0,002	-0,002
40	0,001	0,000

PHOTO 12

XC= 9,081
 YC= 0,678
 ZC= 8,372
 OMEGA= 25,83600
 PHI= 24,35626
 KAPPA= 260,96705

RESIDUALS

POINT	VX	VY
1	-0,005	-0,002
2	-0,003	-0,002
3	-0,002	0,000
4	0,000	0,002
5	-0,002	0,002
6	0,000	0,001
7	0,000	0,002
8	-0,001	0,000
9	0,000	0,000
10	-0,003	0,002
11	0,000	0,001
12	0,000	0,000
13	0,000	0,003
14	0,001	0,003
15	-0,001	0,001
16	-0,001	0,000
17	-0,001	-0,001
18	0,000	0,001
19	0,002	0,001
20	0,002	-0,002
21	0,001	-0,001
22	0,000	0,002
23	0,001	0,002
24	0,001	0,001
25	-0,001	0,000
26	0,000	0,000
27	0,000	-0,004
28	0,004	0,001
29	0,002	0,001
30	0,003	-0,001
31	0,003	-0,002

32	0,002	0,001
33	0,000	-0,001
34	-0,001	-0,002
35	0,001	-0,002
36	0,002	0,001
37	-0,002	-0,001
38	0,001	0,000
39	-0,001	-0,001
40	-0,004	-0,002

GROUND COORD

POINT	KODE	XG(m)	YG(m)	ZG(m)
1	3,000	0,018	6,327	0,000
2	3,000	1,019	6,327	0,000
3	3,000	2,015	6,329	-0,002
4	3,000	3,015	6,330	-0,002
5	3,000	4,018	6,329	-0,003
6	3,000	5,011	6,331	-0,004
7	3,000	6,008	6,336	-0,003
8	3,000	7,008	6,339	-0,004
9	3,000	8,004	6,336	-0,003
10	3,000	-0,015	4,750	0,001
11	3,000	0,992	4,744	0,002
12	3,000	1,997	4,747	0,002
13	3,000	2,996	4,743	0,001
14	3,000	3,998	4,744	0,000
15	3,000	5,000	4,747	-0,002
16	3,000	5,999	4,749	-0,002
17	3,000	7,003	4,751	-0,002
18	3,000	7,996	4,753	-0,003
19	3,000	-0,006	3,167	0,001
20	3,000	1,000	3,165	0,001
21	3,000	2,000	3,165	0,001
22	3,000	3,003	3,166	0,000
23	3,000	4,003	3,166	-0,002
24	3,000	5,002	3,163	-0,003
25	3,000	5,999	3,165	-0,004
26	3,000	6,999	3,164	-0,005
27	3,000	7,998	3,166	-0,006
28	3,000	0,006	1,587	0,000
29	3,000	1,009	1,588	-0,001
30	3,000	2,013	1,589	-0,001
31	3,000	2,998	1,590	-0,003
32	3,000	4,472	1,411	-0,005
33	3,000	5,866	1,029	-0,006
34	3,000	7,157	1,153	-0,007
35	3,000	0,001	-0,001	0,002
36	3,000	0,998	0,000	-0,002
37	3,000	2,001	-0,004	-0,002
38	3,000	3,004	-0,002	-0,004
39	3,000	5,127	0,003	-0,006

40 3,000 6,889 0,020 -0,009

CONTROL POINT RESIDUALS

POINT	VX(m)	VY(m)	VZ(m)
1	0,004	0,000	-0,007
2	0,002	-0,002	-0,005
3	0,000	-0,001	-0,005
4	0,002	0,001	-0,004
5	0,000	-0,001	-0,005
6	0,000	0,002	-0,005
7	0,000	0,002	-0,001
8	0,000	0,003	-0,001
9	0,002	0,004	0,002
10	0,004	0,000	0,000
11	0,002	0,000	0,003
12	0,000	0,002	0,006
13	0,001	-0,001	0,003
14	-0,001	-0,001	0,004
15	-0,003	0,000	0,000
16	-0,002	0,001	0,003
17	0,000	0,002	0,005
18	0,001	0,002	0,004
19	0,003	0,000	0,002
20	0,001	-0,001	0,003
21	0,001	-0,001	0,006
22	-0,001	-0,001	0,005
23	-0,001	0,001	0,003
24	-0,002	0,002	0,004
25	-0,002	0,001	0,003
26	-0,001	0,001	0,002
27	0,001	0,001	-0,001
28	0,001	-0,002	0,001
29	0,002	0,000	0,001
30	-0,002	-0,001	0,000
31	-0,002	0,000	-0,001
32	-0,002	0,001	-0,002
33	-0,003	-0,001	-0,003
34	-0,001	-0,002	-0,004
35	0,001	-0,001	0,002
36	-0,001	-0,001	-0,002
37	-0,001	-0,001	-0,003
38	-0,002	-0,002	-0,004
39	-0,002	-0,002	-0,003
40	0,000	-0,004	-0,006

CAMERA CALIBRATION

F= 20,4721 0,0086
 CX= -0,2201 0,0060
 CY= 0,1772 0,0058

CK1= -0,27779548D-03 0,45553530D-05
 CK2= 0,29131078D-06 0,46650169D-07
 Ck3= 0,81717697D-09 0,14490604D-09
 CP1= 0,15000802D-04 0,45117474D-05
 CP2= 0,10449000D-04 0,42303818D-05

CALIBRATION RESIDUALS

F 4,72130583D-01
 X -2,20103520D-01
 Y 1,77227477D-01

K1-2,77795483D-04
 K2 2,91310777D-07
 K3 8,17176972D-10
 P1 1,50008023D-05
 P2 1,04490003D-05

1

VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT

WEIGHT

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 1

OMEGA 6,4446D-04
 PHI 2,2624D-05 6,0923D-04
 KAPPA 1,9759D-04 -2,6493D-05 1,6725D-04
 XC 7,3133D-06 5,2389D-05 -2,0432D-06 1,0797D-05
 YC -4,1430D-05 -4,4467D-06 -9,5710D-06 4,8571D-07 6,5715D-06
 ZC -2,2003D-05 -5,4351D-06 -6,7539D-06 -4,9784D-06 -2,2513D-07 1,1403D-

05

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 2

OMEGA 6,6927D-04
 PHI 5,2577D-05 4,6198D-04
 KAPPA 2,6241D-04 -6,0976D-05 2,4457D-04
 XC 9,9660D-06 3,9645D-05 -9,7981D-06 1,0461D-05
 YC -3,1659D-05 -2,6641D-06 -5,6494D-06 9,0272D-07 6,0407D-06
 ZC -3,2441D-05 -5,2279D-06 -1,1970D-05 -4,8082D-06 -2,3310D-07 1,0480D-

05

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 3

OMEGA 6,2257D-04
 PHI -9,5812D-06 5,6241D-04
 KAPPA 2,0045D-04 -4,2302D-05 1,6942D-04
 XC 3,5913D-06 4,6316D-05 -4,2889D-06 1,0097D-05
 YC -3,7964D-05 -1,4467D-06 -9,8280D-06 7,1988D-07 5,8693D-06

ZC -1,8720D-05 -6,6501D-06 -5,2745D-06 -5,0571D-06 -2,5361D-07 1,0577D-05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 4

OMEGA 6,9410D-04
 PHI 5,3234D-05 4,6748D-04
 KAPPA 2,4335D-04 -5,7384D-05 2,1846D-04
 XC 1,0159D-05 3,8579D-05 -8,7520D-06 1,0304D-05
 YC -3,6103D-05 -3,4608D-06 -7,2927D-06 9,2941D-07 6,2555D-06
 ZC -3,3680D-05 -3,5305D-06 -1,1947D-05 -4,9044D-06 -7,5671D-08 1,0477D-05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 5

OMEGA 6,2300D-04
 PHI 3,0161D-05 5,7389D-04
 KAPPA -6,3241D-06 -2,2860D-05 8,2796D-05
 XC 4,4218D-06 5,0626D-05 -3,9989D-06 9,5750D-06
 YC -5,3219D-05 -5,5218D-06 1,0473D-06 -4,9249D-07 9,8873D-06
 ZC -4,7041D-05 -1,0889D-05 1,1995D-06 -1,4790D-06 2,3127D-06 2,1286D-05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 6

OMEGA 7,8218D-04
 PHI -1,3781D-05 6,1807D-04
 KAPPA 6,5896D-05 -1,4564D-04 1,5183D-04
 XC -1,1357D-06 6,9060D-05 -2,6706D-05 1,3966D-05
 YC -6,7555D-05 2,9630D-06 -1,6377D-06 4,1608D-07 1,2836D-05
 ZC -6,2849D-05 3,5070D-06 -2,3193D-06 -9,7501D-07 2,8076D-06 2,0390D-05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 7

OMEGA 6,3018D-04
 PHI 2,1745D-05 5,7334D-04
 KAPPA -1,0857D-05 -3,8317D-05 8,5909D-05
 XC 4,2231D-06 4,9702D-05 -6,2950D-06 9,2881D-06
 YC -5,4402D-05 -4,3174D-06 1,0950D-06 -5,5438D-07 9,7570D-06
 ZC -4,2107D-05 -9,9828D-06 1,1507D-06 -1,1163D-06 2,0617D-06 2,1120D-05
 1

VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT

WEIGHT

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 8

OMEGA 7,8417D-04
 PHI 7,0844D-06 6,0568D-04
 KAPPA 4,3612D-05 -1,2643D-04 1,3402D-04
 XC 1,5292D-06 6,5383D-05 -2,2779D-05 1,3322D-05
 YC -6,8460D-05 -2,6839D-06 -3,2820D-07 -2,0587D-09 1,2964D-05
 ZC -6,2230D-05 3,7259D-06 -4,0360D-07 -1,6462D-06 2,7142D-06 2,0705D-05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 9

OMEGA 8,0678D-04
 PHI 2,1822D-06 5,2674D-04

KAPPA -3,2847D-04 -8,3267D-06 2,5195D-04
 XC -1,3535D-05 4,7651D-05 1,6851D-06 1,5759D-05
 YC -5,7978D-05 1,3850D-06 1,4346D-05 2,9408D-07 9,8271D-06
 ZC -3,9365D-05 -1,5903D-05 1,1694D-05 5,8719D-06 1,7684D-06 1,6798D-
 05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 10

OMEGA 7,9692D-04
 PHI -1,6464D-05 5,3559D-04
 KAPPA -2,6629D-04 -7,2185D-05 2,0862D-04
 XC -1,4497D-05 5,5732D-05 -7,9554D-06 1,5120D-05
 YC -5,8180D-05 8,5948D-06 1,2737D-05 1,1287D-07 1,0579D-05
 ZC -5,0877D-05 -4,2564D-06 1,8356D-05 5,9897D-06 1,6805D-06 1,7157D-
 05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 11

OMEGA 8,1063D-04
 PHI 7,4542D-06 5,0682D-04
 KAPPA -3,3431D-04 -1,8267D-05 2,5579D-04
 XC -8,6462D-06 4,5070D-05 -2,6292D-06 1,5635D-05
 YC -5,8562D-05 1,3170D-06 1,4991D-05 1,8856D-07 9,6869D-06
 ZC -3,5875D-05 -1,4184D-05 9,7187D-06 5,9566D-06 1,9992D-06 1,6098D-
 05
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PHOTO 12

OMEGA 7,7601D-04
 PHI -2,1721D-05 5,4461D-04
 KAPPA -2,6494D-04 -6,7797D-05 2,0695D-04
 XC -1,3948D-05 5,8628D-05 -7,4758D-06 1,4819D-05
 YC -5,5080D-05 5,6261D-06 1,2621D-05 -3,1165D-08 9,9696D-06
 ZC -4,9669D-05 1,5249D-06 1,7493D-05 6,0395D-06 1,6518D-06 1,7562D-
 05
 1

VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT

WEIGHT

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 1

XG 1,0010D-06
 YG -1,8285D-07 1,3991D-06
 ZG 1,2270D-07 -4,6840D-07 2,0526D-06

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 2

XG 8,0892D-07
 YG -1,4880D-07 1,1778D-06
 ZG 1,1738D-07 -4,6414D-07 1,7677D-06

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 3

XG 6,5761D-07
 YG -4,6347D-08 1,0132D-06
 ZG 3,2615D-08 -4,2341D-07 1,4932D-06

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 4

XG 6,0578D-07
 YG -1,3865D-09 9,4681D-07

ZG -7,4651D-09 -4,2181D-07 1,3728D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 5

XG 6,0126D-07
 YG 3,6243D-08 9,1515D-07
 ZG -4,8082D-08 -4,0813D-07 1,3148D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 6

XG 6,3954D-07
 YG 6,5630D-08 9,2177D-07
 ZG -8,2070D-08 -3,8452D-07 1,3192D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 7

XG 7,1758D-07
 YG 8,9799D-08 9,7093D-07
 ZG -1,0568D-07 -3,5451D-07 1,3915D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 8

XG 8,4161D-07
 YG 1,1894D-07 1,0726D-06
 ZG -1,1686D-07 -3,2656D-07 1,5454D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 9

XG 1,1074D-06
 YG 2,2381D-07 1,2897D-06
 ZG -1,8437D-07 -3,5143D-07 1,8680D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 10

XG 7,5077D-07
 YG -5,5011D-08 9,4857D-07
 ZG 7,1644D-08 -3,4958D-07 1,6254D-06

1

VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 11

XG 6,0626D-07
 YG -3,3378D-08 7,7114D-07
 ZG 5,1349D-08 -3,1777D-07 1,3281D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 12

XG 5,0099D-07
 YG -1,3814D-08 6,5243D-07
 ZG 2,4310D-08 -3,0557D-07 1,1395D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 13

XG 4,5691D-07
 YG 1,1708D-08 5,9238D-07
 ZG -1,6996D-08 -2,9787D-07 1,0375D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 14

XG 4,5671D-07
 YG 3,1391D-08 5,7336D-07
 ZG -5,2427D-08 -2,8553D-07 9,8931D-07

```

0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 15
XG  4,9803D-07
YG  4,6497D-08  5,9541D-07
ZG  -8,4010D-08 -2,6840D-07  9,9967D-07
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 16
XG  5,7306D-07
YG  5,9264D-08  6,5943D-07
ZG  -1,0970D-07 -2,4956D-07  1,0769D-06
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 17
XG  6,8204D-07
YG  7,3945D-08  7,6961D-07
ZG  -1,2709D-07 -2,3552D-07  1,2342D-06
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 18
XG  8,4050D-07
YG  9,9649D-08  9,3083D-07
ZG  -1,4115D-07 -2,3730D-07  1,4906D-06
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 19
XG  7,1469D-07
YG  -5,4718D-08  7,7746D-07
ZG  7,1684D-08 -2,3462D-07  1,4649D-06
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 20
XG  5,6390D-07
YG  -3,0449D-08  6,1161D-07
ZG  4,0801D-08 -1,9501D-07  1,1641D-06
1
          VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT
WEIGHT
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 21
XG  4,5540D-07
YG  -1,0945D-08  5,0036D-07
ZG  1,1662D-08 -1,7973D-07  9,8969D-07
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 22
XG  4,1317D-07
YG  8,3117D-09  4,5001D-07
ZG  -2,4716D-08 -1,7528D-07  9,0709D-07
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 23
XG  4,1787D-07
YG  2,1655D-08  4,3959D-07
ZG  -5,3055D-08 -1,6475D-07  8,7378D-07
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 24
XG  4,6500D-07
YG  3,5101D-08  4,6849D-07
ZG  -7,9427D-08 -1,5146D-07  9,0062D-07
0          VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 25

```

XG 5,4685D-07
 YG 5,2475D-08 5,4020D-07
 ZG -1,0197D-07 -1,4273D-07 9,9346D-07
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 26

XG 6,6478D-07
 YG 7,4168D-08 6,5682D-07
 ZG -1,2206D-07 -1,4083D-07 1,1613D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 27

XG 8,2861D-07
 YG 1,0180D-07 8,2136D-07
 ZG -1,4799D-07 -1,5292D-07 1,4351D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 28

XG 8,0725D-07
 YG -5,4701D-08 7,3699D-07
 ZG 7,1800D-08 -1,0705D-07 1,5383D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 29

XG 6,5989D-07
 YG -2,5069D-08 6,0263D-07
 ZG 3,0629D-09 -8,2026D-08 1,2483D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 30

XG 5,2399D-07
 YG -1,5701D-08 4,8515D-07
 ZG -2,4017D-09 -6,7036D-08 1,0551D-06

1

VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT
 WEIGHT

0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 31

XG 4,8037D-07
 YG -2,8731D-09 4,3979D-07
 ZG -3,1676D-08 -6,4984D-08 9,8607D-07
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 32

XG 5,1775D-07
 YG 1,3050D-08 4,5013D-07
 ZG -5,8921D-08 -4,9173D-08 1,0163D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 33

XG 6,6471D-07
 YG 3,2083D-08 5,5520D-07
 ZG -7,6417D-08 -2,5256D-08 1,2213D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 34

XG 8,3544D-07
 YG 6,4244D-08 7,0284D-07
 ZG -1,1385D-07 -3,6754D-08 1,4674D-06
 0 VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 35

```
XG 1,0518D-06
YG -2,9273D-08 9,0827D-07
ZG 9,2383D-08 4,5988D-08 2,0460D-06
0      VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 36

XG 8,5025D-07
YG -2,3051D-08 7,3294D-07
ZG -1,5621D-08 3,0866D-08 1,5553D-06
0      VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 37

XG 7,1541D-07
YG -1,0288D-08 6,2345D-07
ZG -2,2116D-08 2,4363D-08 1,3626D-06
0      VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 38

XG 6,5993D-07
YG -9,9517D-09 5,7059D-07
ZG -3,7226D-08 2,3985D-08 1,2994D-06
0      VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 39

XG 7,1856D-07
YG 7,3544D-09 6,0165D-07
ZG -5,4618D-08 2,1144D-08 1,3920D-06
0      VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR PASS POINT 40

XG 9,4008D-07
YG 3,2394D-08 8,0355D-07
ZG -7,1263D-08 3,6430D-08 1,8908D-06
1
```


0 VAR,-COVAR, MATRICES USING THE A PRIORI VARIANCE OF UNIT WEIGHT
VARIANCE-COVARIANCE MATRIX FOR CAMERA CALIBRATION

F	7,4243D-05								
CX	-4,9629D-08	3,6488D-05							
CY	-2,9060D-06	1,9690D-06	3,3432D-05						
K1	-3,3281D-09	-1,0713D-10	-6,9267D-11	2,0751D-11					
K2	6,6291D-11	4,0846D-12	-2,5711D-12	-2,0302D-13	2,1762D-15				
K3	-1,6416D-13	-2,0797D-14	8,4737D-15	5,8892D-16	-6,6226D-18	2,0998D-20			
P1	5,9973D-10	2,3838D-08	2,3085D-09	4,4348D-13	-3,2176D-15	1,0716D-17	2,0356D-11		
P2	-1,4347D-09	-2,7232D-10	2,0775D-08	-8,9931D-13	6,6269D-15	-1,8907D-17	1,4695D-13	1,7896D-11	

ANEXO IV

Dados de saída do GPS - (centro imagens)

Projeto: **Jardim Botânico – Porto Alegre**

Coordenador: Prof. Dr. Carlos Hartmann

Responsável Planejamento de Voo /Aquisição das Imagens: Frederico Marcondes

Positive Systems ADAR 1000 GPS Data File

Input GPS data log filename: D:\Image\PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

Output GPS 'txt' file (this file): D:\Image\PAlegre_Jd Botanico_01102003gpsout

Number of images in Dataset: 43

This file created by Positive Systems GPS correlation utility Version 1.0

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001001.TIF**

Scene #: 1 Capture Time: 2003:10:01 15:45:36

Latitude: 30.039083 Deg. S Longitude: 51.196733 Deg. W

Altitude: 3627 ft.

Heading: 87 Deg. TN Ground Speed: 106 mph

Time of Closest GPS Fix: 15:45:36

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001002.TIF**

Scene #: 2 Capture Time: 2003:10:01 15:45:48

Latitude: 30.03905 Deg. S Longitude: 51.190733 Deg. W

Altitude: 3613 ft.

Heading: 93 Deg. TN Ground Speed: 108 mph

Time of Closest GPS Fix: 15:45:48

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001003.TIF**

Scene #: 3 Capture Time: 2003:10:01 15:46:00

Latitude: 30.039283 Deg. S Longitude: 51.184783 Deg. W

Altitude: 3614 ft.

Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 106 mph

Time of Closest GPS Fix: 15:46:00

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001004.TIF**

Scene #: 4 Capture Time: 2003:10:01 15:46:12

Latitude: 30.03935 Deg. S Longitude: 51.1788 Deg. W

Altitude: 3589 ft.

Heading: 92 Deg. TN Ground Speed: 107 mph

Time of Closest GPS Fix: 15:46:12

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001005.TIF**

Scene #: 5 Capture Time: 2003:10:01 15:46:24

Latitude: 30.03955 Deg. S Longitude: 51.17295 Deg. W

Altitude: 3606 ft.

Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 104 mph

Time of Closest GPS Fix: 15:46:24

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps

DCS Image Name: **Iv001006.TIF**

Scene #: 6 Capture Time: 2003:10:01 15:46:36

Latitude: 30.039516 Deg. S Longitude: 51.16715 Deg. W
 Altitude: 3595 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:46:36

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv001007.TIF**
 Scene #: 7 Capture Time: hv@
 No Matching GPS Data Found

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv001008.TIF**
 Scene #: 8 Capture Time: 2003:10:01 15:47:00
 Latitude: 30.0396 Deg. S Longitude: 51.1557 Deg. W
 Altitude: 3595 ft.
 Heading: 91 Deg. TN Ground Speed: 102 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:47:00

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv001009.TIF**
 Scene #: 9 Capture Time: 2003:10:01 15:47:12
 Latitude: 30.039716 Deg. S Longitude: 51.150033 Deg. W
 Altitude: 3593 ft.
 Heading: 91 Deg. TN Ground Speed: 101 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:47:12

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv001010.TIF**
 Scene #: 10 Capture Time: 2003:10:01 15:47:24
 Latitude: 30.039883 Deg. S Longitude: 51.144333 Deg. W
 Altitude: 3592 ft.
 Heading: 92 Deg. TN Ground Speed: 102 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:47:24

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002011.TIF**
 Scene #: 11 Capture Time: 2003:10:01 15:53:28
 Latitude: 30.045216 Deg. S Longitude: 51.197533 Deg. W
 Altitude: 3606 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:53:28

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002012.TIF**
 Scene #: 12 Capture Time: 2003:10:01 15:53:40
 Latitude: 30.045283 Deg. S Longitude: 51.192 Deg. W
 Altitude: 3606 ft.
 Heading: 92 Deg. TN Ground Speed: 99 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:53:40

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002013.TIF**
 Scene #: 13 Capture Time: 2003:10:01 15:53:52
 Latitude: 30.045633 Deg. S Longitude: 51.1864 Deg. W
 Altitude: 3615 ft.

Heading: 93 Deg. TN Ground Speed: 100 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:53:52

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002014.TIF**
 Scene #: 14 Capture Time: 2003:10:01 15:54:04
 Latitude: 30.045666 Deg. S Longitude: 51.18085 Deg. W
 Altitude: 3625 ft.
 Heading: 87 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:54:04

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002015.TIF**
 Scene #: 15 Capture Time: 2003:10:01 15:54:16
 Latitude: 30.045433 Deg. S Longitude: 51.1753 Deg. W
 Altitude: 3637 ft.
 Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 100 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:54:16

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002016.TIF**
 Scene #: 16 Capture Time: 2003:10:01 15:54:28
 Latitude: 30.045566 Deg. S Longitude: 51.1698 Deg. W
 Altitude: 3653 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:54:28

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002017.TIF**
 Scene #: 17 Capture Time: 2003:10:01 15:54:40
 Latitude: 30.045366 Deg. S Longitude: 51.16425 Deg. W
 Altitude: 3625 ft.
 Heading: 87 Deg. TN Ground Speed: 102 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:54:40

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002018.TIF**
 Scene #: 18 Capture Time: 2003:10:01 15:54:52
 Latitude: 30.045316 Deg. S Longitude: 51.158483 Deg. W
 Altitude: 3634 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:54:52

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002019.TIF**
 Scene #: 19 Capture Time: 2003:10:01 15:55:04
 Latitude: 30.04535 Deg. S Longitude: 51.152666 Deg. W
 Altitude: 3638 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 103 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:55:04

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002020.TIF**
 Scene #: 20 Capture Time: 2003:10:01 15:55:16
 Latitude: 30.04555 Deg. S Longitude: 51.146833 Deg. W

Altitude: 3620 ft.
 Heading: 93 Deg. TN Ground Speed: 107 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:55:16

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv002021.TIF**
 Scene #: 21 Capture Time: 2003:10:01 15:55:28
 Latitude: 30.04595 Deg. S Longitude: 51.14095 Deg. W
 Altitude: 3633 ft.
 Heading: 95 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
 Time of Closest GPS Fix: 15:55:28

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003022.TIF**
 Scene #: 22 Capture Time: 2003:10:01 16:02:19
 Latitude: 30.050716 Deg. S Longitude: 51.196166 Deg. W
 Altitude: 3624 ft.
 Heading: 85 Deg. TN Ground Speed: 93 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:02:19

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003023.TIF**
 Scene #: 23 Capture Time: 2003:10:01 16:02:31
 Latitude: 30.050683 Deg. S Longitude: 51.190866 Deg. W
 Altitude: 3619 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 96 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:02:31

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003024.TIF**
 Scene #: 24 Capture Time: 2003:10:01 16:02:43
 Latitude: 30.050516 Deg. S Longitude: 51.185466 Deg. W
 Altitude: 3614 ft.
 Heading: 85 Deg. TN Ground Speed: 97 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:02:43

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003025.TIF**
 Scene #: 25 Capture Time: 2003:10:01 16:02:55
 Latitude: 30.05035 Deg. S Longitude: 51.179966 Deg. W
 Altitude: 3587 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:02:55

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003026.TIF**
 Scene #: 26 Capture Time: 2003:10:01 16:03:07
 Latitude: 30.050416 Deg. S Longitude: 51.174483 Deg. W
 Altitude: 3599 ft.
 Heading: 88 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:03:07

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003027.TIF**
 Scene #: 27 Capture Time: hv@

No Matching GPS Data Found

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003028.TIF**
 Scene #: 28 Capture Time: 2003:10:01 16:03:31
 Latitude: 30.050416 Deg. S Longitude: 51.163533 Deg. W
 Altitude: 3646 ft.
 Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 99 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:03:31

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003029.TIF**
 Scene #: 29 Capture Time: 2003:10:01 16:03:43
 Latitude: 30.050283 Deg. S Longitude: 51.158033 Deg. W
 Altitude: 3655 ft.
 Heading: 88 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:03:43

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003030.TIF**
 Scene #: 30 Capture Time: 2003:10:01 16:03:55
 Latitude: 30.050333 Deg. S Longitude: 51.152516 Deg. W
 Altitude: 3654 ft.
 Heading: 92 Deg. TN Ground Speed: 100 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:03:55

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003031.TIF**
 Scene #: 31 Capture Time: 2003:10:01 16:04:07
 Latitude: 30.050633 Deg. S Longitude: 51.1468 Deg. W
 Altitude: 3640 ft.
 Heading: 93 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:04:07

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv003032.TIF**
 Scene #: 32 Capture Time: 2003:10:01 16:04:19
 Latitude: 30.050833 Deg. S Longitude: 51.141 Deg. W
 Altitude: 3637 ft.
 Heading: 91 Deg. TN Ground Speed: 103 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:04:19

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv004033.TIF**
 Scene #: 33 Capture Time: 2003:10:01 16:09:48
 Latitude: 30.056283 Deg. S Longitude: 51.197683 Deg. W
 Altitude: 3619 ft.
 Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 96 mph
 Time of Closest GPS Fix: 16:09:48

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
 DCS Image Name: **Iv004034.TIF**
 Scene #: 34 Capture Time: 2003:10:01 16:10:00
 Latitude: 30.056216 Deg. S Longitude: 51.192383 Deg. W
 Altitude: 3644 ft.

Heading: 87 Deg. TN Ground Speed: 95 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:10:00

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004035.TIF**
Scene #: 35 Capture Time: 2003:10:01 16:10:12
Latitude: 30.055933 Deg. S Longitude: 51.186966 Deg. W
Altitude: 3634 ft.
Heading: 85 Deg. TN Ground Speed: 98 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:10:12

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004036.TIF**
Scene #: 36 Capture Time: 2003:10:01 16:10:24
Latitude: 30.055783 Deg. S Longitude: 51.181333 Deg. W
Altitude: 3642 ft.
Heading: 90 Deg. TN Ground Speed: 103 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:10:24

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004037.TIF**
Scene #: 37 Capture Time: 2003:10:01 16:10:36
Latitude: 30.055516 Deg. S Longitude: 51.175583 Deg. W
Altitude: 3646 ft.
Heading: 84 Deg. TN Ground Speed: 103 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:10:36

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004038.TIF**
Scene #: 38 Capture Time: 2003:10:01 16:10:48
Latitude: 30.055233 Deg. S Longitude: 51.169816 Deg. W
Altitude: 3634 ft.
Heading: 89 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:10:48

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004039.TIF**
Scene #: 39 Capture Time: 2003:10:01 16:11:00
Latitude: 30.055433 Deg. S Longitude: 51.164033 Deg. W
Altitude: 3632 ft.
Heading: 94 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:11:00

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004040.TIF**
Scene #: 40 Capture Time: 2003:10:01 16:11:12
Latitude: 30.0559 Deg. S Longitude: 51.158266 Deg. W
Altitude: 3627 ft.
Heading: 93 Deg. TN Ground Speed: 103 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:11:12

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004041.TIF**
Scene #: 41 Capture Time: 2003:10:01 16:11:24
Latitude: 30.055933 Deg. S Longitude: 51.1525 Deg. W

Altitude: 3605 ft.
Heading: 88 Deg. TN Ground Speed: 104 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:11:24

Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004042.TIF**
Scene #: 42 Capture Time: 2003:10:01 16:11:36
Latitude: 30.05565 Deg. S Longitude: 51.14675 Deg. W
Altitude: 3605 ft.
Heading: 85 Deg. TN Ground Speed: 102 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:11:36
Dataset: PAlegre_Jd Botanico_01102003.gps
DCS Image Name: **Iv004043.TIF**
Scene #: 43 Capture Time: 2003:10:01 16:11:48
Latitude: 30.055166 Deg. S Longitude: 51.14115 Deg. W
Altitude: 3584 ft.
Heading: 84 Deg. TN Ground Speed: 101 mph
Time of Closest GPS Fix: 16:11:48