Campus de São Carlos

*SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DOS
PROCESSOS FOTOGRAFÉTICOS DIGITAIS
PARA PRODUÇÃO DE DADOS ESPACIAIS*

SIMONE SAYURI SATO

ORIENTADOR: PROF. DOUTOR IRINEU DA SILVA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Simone Sayuri Sato

**SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE DOS
PROCESSOS FOTOGRAFÉTICOS DIGITAIS
PARA PRODUÇÃO DE DADOS ESPACIAIS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data de entrada no Serviço: 13.11.03
Ass.: *Leandro Corradi*

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Irineu da Silva

São Carlos

2003

DEDALUS - Acervo - EESC

31100044239

✓

Class.	TESE-EESC
Cutt.	6513
Tombo	T344/03
Sysno	1349762

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S253s Sato, Simone Sayuri
Sistema de controle de qualidade dos processos
fotogramétricos digitais para produção de dados
espaciais / Simone Sayuri Sato. -- São Carlos, 2003.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2003.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Irineu da Silva.

1. Fotogrametria digital. 2. Gestão e controle de
qualidade. 3. Normatização. 4. Produção de dados
espaciais. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheiro **SIMONE SAYURI SATO**

Tese defendida e julgada em 28-08-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Dr. **IRINEU DA SILVA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **JORGE LUÍS NUNES E SILVA BRITO**
(Universidade Estadual do Rio de Janeiro/UERJ)

APROVADA

Prof. Dr. **DIÓGENES CORTIJO COSTA**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovada

Prof. Dr. **CARLOS LOCH**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Prof. Liv. Doc. **ANTONIO MARIA GARCIA TOMMASELLI**
(UNESP/Campus de Presidente Prudente)

APROVADA

Prof. Assoc. **JOSÉ REYNALDO ANSELMO SETTI**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes

Prof. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Dedico ao meu pai,
Akira Sato, querido e amado,

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao Prof. Irineu da Silva, pela orientação e pela credibilidade.

Ao Prof. Otto Kölbl, pela co-orientação e ensinamentos.

À CAPES e ao CNPq pela bolsa concedida.

Pelos dados e pela atenção e apoio concedidos durante a pesquisa:

- A 1ª Divisão de Levantamento do Exército,
- A Comercial e Importadora Wild Comercial,
- Ao Eng. Cart. José Valentim Banach,
- A Esteio – Engenharia e Aerolevantamentos,

À École Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL, Institute de Photogrammétrie – Génie Rural pelo estágio concedido.

Ao Josmar, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis e pela companhia em todos os outros.

A minha família, minha mãe Sakae e minhas irmãs Adrianne e Alessandra

As minhas amigas fraternas,

Nadja, pelo grande apoio,

Lucilene, pelo incentivo.

A todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xvii

1. INTRODUÇÃO	
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Justificativa e Motivação da Pesquisa	2
1.2. Contexto da Pesquisa	3
1.3. Objetivo Geral	5
1.3.1. Objetivos Específicos	5
2. CARACTERÍSTICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL	
2.1. Resumo da Evolução da Fotogrametria	6
2.2. Características da Fotogrametria Digital	7
2.3. Estação Fotogramétrica Digital	9
2.4. Integração da Fotogrametria Digital com SIG	13
2.4.1 Operações do Sistema de Informação Geográfica	15
2.5. Processos Fotogramétricos	16
2.5.1 Concepção do Projeto	16
2.5.2 Normas e Regulamentações	17
2.5.3 Cobertura Aerofotogramétrica	21
2.5.3.1 Materiais e Procedimentos	22
2.5.4 Câmera Aérea	23
2.5.5 Câmeras Aéreas Digitais	28
2.5.6 Scanners Fotogramétricos	35
2.5.7 Numerização das Imagens	38
2.5.8 Imagem Digital	38
2.5.9 Produtos Primários da Cobertura Aerofotogramétrica	39
2.5.10 Apoio de Campo	39
2.5.10.1 Apoio Básico	40
2.5.10.2 Apoio Suplementar	41

2.5.10.3 Pré-Sinalização	42
2.5.11 Vôo com Apoio GPS	43
2.5.12 Laser Scanner Aerotransportável	44
2.6. Processos Fotogramétricos do Segundo Estágio	47
2.6.1 Preparação do Projeto	48
2.6.2 Orientações	48
2.6.3 Aerotriangulação Digital	53
2.6.3.1 Ajustamento	57
2.7. Coleta de Dados Espaciais	59
2.7.1 Geração do Modelo Digital do Terreno	60
2.7.2 Geração de Ortofotos	62
2.7.3 Restituição	63
2.7.4 Restituição Digital com Sistemas CAD	65
2.7.5 Restituição Digital com Sistema Orientado ao Objeto	66
3. QUALIDADE DOS PROCESSOS FOTOGRAMÉTRICOS	
3.1. Qualidade na Obtenção de Imagens	69
3.1.1. Qualidade na Cobertura Aerofotogramétrica	71
3.1.2. Qualidade do Material Fotográfico	72
3.1.3. Qualidade do Material Impresso	75
3.1.4. Qualidade dos Equipamentos Aerofotogramétricos	75
3.1.4.1. Calibração da Câmera	76
3.1.4.2. Mecanismos de Compensação da Câmera	78
3.1.4.3. Sistemas de Navegação GPS e Inerciais	80
3.2. Qualidade da Imagem Digital	80
3.2.1. Precisão e Resolução Geométrica da Imagem Digital	81
3.2.2. Controle de Qualidade do Processo de Numerização Suíço	84
3.2.3. Métodos de Monitoramento da Resolução Geométrica	85
3.2.4. Monitoramento da Resolução Radiométrica	86
3.2.4.1. Monitoramento da Variação da Densidade	86
3.2.4.2. Monitoramento da Tonalidade	87
3.3. Correções Radiométricas	89
3.4. Qualidade do Apoio Terrestre	92
3.4.1. Exigências de Qualidade do Apoio Básico	92
3.4.2. Exigências de Qualidade do Apoio Suplementar	96

3.4.3.	Densidade e Distribuição dos Pontos de Controle	98
3.4.4.	Exigências de Sinalização	101
3.4.4.1.	Precisão dos Pontos Pré-sinalizados	103
3.5.	Qualidade da Aerotriangulação	104
3.5.1.	Precisão Fotogramétrica	105
3.5.2.	Erros e Tolerâncias da Orientação Interior	105
3.5.3.	Erros e Tolerâncias da Aerotriangulação	106
3.6.	Qualidade no Modelo Digital do Terreno	110
3.7.	Qualidade na Geração de Ortofoto Digital	113
3.7.1.	Guia Suíço de Garantia da Qualidade para Ortofoto Digital	115
3.7.2.	Exigências das Normas Americanas	117
3.8.	Qualidade na Restituição	119
3.8.1.	Organismos Governamentais de Cartografia	121
3.8.2.	Controle de Qualidade Adotado pelo IBGE	122
3.8.3.	Controle de Qualidade Adotado pela DSG	123
3.8.4.	Controle de Qualidade Suíço	126
3.8.5.	Controle de Qualidade Americano	127
4.1.	GESTÃO DA QUALIDADE	
4.2.	Gerenciamento da Qualidade	95
4.3.	Satisfação do Cliente	96
4.4.	Normalização	98
4.5.	Sistema de Gestão de Qualidade e ISO 9000	99
4.6.	Qualidade dos Processos e Avaliação da Qualidade	100
4.7.	Linhagem dos Dados	101
4.8.	Exatidão Posicional	102
4.9.	Exatidão Posicional Horizontal	102
4.10.	Exatidão Posicional Vertical	104
4.11.	Exatidão de Atributo	104
4.12.	Exatidão Temporal	106
4.13.	Consistência Lógica	107
4.14.	Compleitude	108
4.15.	Dicionário dos Dados	110
4.16.	Parâmetros de Qualidade na Produção Fotogramétrica	110

5. METODOLOGIA PROPOSTA

5.1.	Sistema de Controle de Qualidade dos Processos	145
5.1.1.	Generalidades	146
5.1.2.	Exigência da Documentação	147
5.1.3.	Estrutura Básica do CQP	148
5.2.	Documentação de Procedimentos	150
5.2.1.	Instruções de Trabalho	152
5.2.2.	Especificações	152
5.2.3.	Regulamentações	154
5.2.4.	Ações Corretivas	155
5.2.5.	Processos Efetuados	155
5.2.6.	Modelo Conceitual	156
5.3.	Gestão da Qualidade dos Processos Fotogramétricos	159
5.3.1.	Controle de Qualidade na Obtenção das Imagens	159
5.3.1.1.	Documentação do Processo de Obtenção de Imagens	162
5.3.1.2.	Ações Corretivas da Obtenção de Imagens	162
5.3.2.	Parâmetro de Qualidade do Apoio de Campo	163
5.3.2.1.	Documentação do Apoio de Campo	163
5.3.3.	Garantia da Qualidade da Numerização de Imagens	164
5.3.4.	Documentação da Preparação do Projeto	168
5.3.5.	Controle de Qualidade do Processo de Aerotriangulação	169
5.3.5.1.	Controle de Qualidade da Orientação Relativa	170
5.3.5.2.	Controle de Qualidade da Orientação Absoluta	170
5.3.5.3.	Documentação da Aerotriangulação	171
5.3.5.4.	Ações Corretivas	172
5.3.6.	Modelo Digital do Terreno	173
5.3.6.1.	Documentação do Modelo Digital do Terreno	173
5.3.6.2.	Ações Corretivas do Modelo Digital do Terreno	174
5.3.7.	Controle de Qualidade dos Processos de Ortorectificação	174
5.3.7.1.	Documentação do Processo de Geração de Ortofotos	175
5.3.8.	Controle de Qualidade da Restituição	176
5.3.8.1.	Exatidão de Atributo e da Completude	177
5.3.9.	Ações Corretivas do Processo de Restituição	180
5.3.9.1.	Documentação do Processo de Restituição	180

5.3.10.	Testes de Conformidade	180
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	
6.1.	Entrevistas Realizadas	182
6.1.1.	Resultados das Entrevistas	182
6.2.	Experimentos Efetuados	186
6.2.1.	Testes de Numerização	187
6.2.2.	Geometria da Imagem	191
6.2.3.	Validação do Processo de Aerotriangulação Digital	195
6.2.4.	Testes Realizados no Processo de Restituição	197
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
7.1.	Considerações Finais	204
7.2.	Conclusões Gerais	204
7.3.	Conclusões dos Testes Práticos	205
7.4.	Conclusões do Sistema CQP	208
7.5.	Recomendações	208
7.5.1.	Recomendações Gerais	211
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama do ambiente fotogramétrico digital.....	10
Figura 2.2: Sistemas de visualização estereoscópica.....	11
Figura 2.3: Visualização com polarização passiva	12
Figura 2.4: Visualização com polarização ativa.....	12
Figura 2.5: Tipos de dispositivos de controle de medição tridimensional.....	13
Figura 2.6: Resolução de uma lente da câmera RC30 da Leica Geosystems..	24
Figura 2.7: Compensação “giro-estabilizadora”.....	24
Figura 2.8: Efeito do mecanismo FMC.....	25
Figura 2.9: Sistema POS AV da Applanix Corporation.....	26
Figura 2.10: Princípio de aquisição de imagem da HRSC.....	29
Figura 2.11: Princípio do registro das três cenas do terreno.....	30
Figura 2.12: Esquema do tricóide - bandas espectrais em cascatas.....	31
Figura 2.13: Cobertura da ADS40 comparada as outras câmeras com o mesmo GSD.....	32
Figura 2.14: Fluxograma de trabalho da ADS40.....	33
Figura 2.15: Composição ótica da câmera DMC - 4 canais pancromáticos e 4 multiespectrais.....	34
Figura 2.16: Funcionalidade em função da aplicação.....	36
Figura 2.17: Esquema mostrando a imagem como um sistema matricial.....	39
Figura 2.18: Exemplos de tipos de alvos para o apoio pré-sinalizado.....	42
Figura 2.19: Componentes fundamentais do Laser Scanner.....	45
Figura 2.20: Retornos do Laser Scanner: (a) retornos não filtrados e (b) retornos classificados por feições.....	46
Figura 2.21: Fluxograma de trabalho a partir de estações fotogramétricas digitais – processos fotogramétricos	47

Figura 2.22: Sistema de coordenadas Pixels em relação ao sistema fotogramétrico da câmera.....	50
Figura 2.23: Condição de colinearidade	51
Figura 2.24: Fluxograma de trabalho do processo de Aerotriangulação Digital.....	54
Figura 2.25: Posicionamento dos pontos de apoio em um bloco de imagens....	54
Figura 2.26: Exemplo de um padrão de distribuição de pontos fotogramétricos do sistema fotogramétrico SOCET SET.....	56
Figura 2.27: Ilustração do princípio de ajustamento por feixes	58
Figura 2.28: Produtos derivados da Fotogrametria Digital.....	60
Figura 2.29: Exemplos de uso da ortofoto digital.....	62
Figura 2.30: Comparação de Ortofoto vs. Ortofoto Verdadeira.....	63
Figura 2.31: Fluxo de dados DPW versus Fluxo de dados DPW orientado a objetos.....	67
Figura 3.1: (a) Fotografia com escala aproximada 1: 8.000, Curitiba - PR. (b) Fotografia 1:10.000. Nova Escócia – Canadá.....	70
Figura 3.2: (a) Plataformas giro-estabilizadoras T-AS da Z/I imaging e (b).PAV30 da Leica Geosystems.....	80
Figura 3.3: Diferentes resoluções geométricas indicadas na grandeza do terreno.....	82
Figura 3.4: Exemplo de alvos para testes de resolução de Imagens.....	85
Figura 3.5: Escala de cinza da Kodak com densidade variando de 0,05D a 3,05D, 21 níveis com intervalo de variação de 0.15D.....	86
Figura 3.6: Esquema de posicionamento da "escala densitométrica".....	87
Figura 3.7: Gabarito de cores Q-60 da Kodak.....	88
Figura 3.8: Efeito "fantasma" da imagem produzido na numerização inadequada.....	88
Figura 3.9: Exemplo de equalização de histograma.....	89
Figura 3.10: Exemplo de tratamento radiométrico – a imagem original (a) e em (b) submetida ao tratamento.....	91

Figura 3.11: Configuração recomendável dos pontos de controle num bloco sem apoio GPS com recobrimento lateral de 20%.....	100
Figura 3.12: Configuração para pontos-de-controle com apoio GPS (a) faixas laterais. (b) sem o recobrimento de faixas laterais.....	100
Figura 3.13: (a).configuração dos pontos de controle num bloco com recobrimento cruzado de faixa sem apoio GPS. (b) distribuição de pontos de controle com recobrimento lateral > 50%.....	101
Figura 3.14: Configuração de pontos-de-controle para vôo apoiado por GPS, posicionamento cinemático relativo.....	101
Figura 3.15: Exemplo de estampagens sombreadas de um MDT antes e após a edição da área de lagos.....	113
Figura 3.16: Diferenças radiométricas e geométricas de cerca de 2 pixels de precisão, destacando a quebra da pista da estrada.....	118
Figura 3.17: Fontes de erros na Fase de restituição digital.....	119
Figura 3.18: Exatidão sub-pixel nas medições fotogramétricas digitais.....	120
Figura 3.19: Exemplo de edição topológica do sistema LAMPS2 da Laser Scan.....	125
Figura 4.1: Exemplo de classificação de níveis incompleta.....	142
Figura 5.1: Fluxograma de Funcionamento do CQP – Parte 1.....	148
Figura 5.2: Fluxograma de Funcionamento do CQP – Parte 2.....	149
Figura 5.3: Modelo Gráfico dos procedimentos	151
Figura 5.4: Fluxograma de controle de regulamentações sobre as informações espaciais.....	154
Figura 5.5: Descrição gráfica e lógica de um objeto definido no modelo conceitual.....	157
Figura 5.6: Representação gráfica de rodovias pavimentadas, tipo 1 (nº de faixas variáveis, sem separação física). T 34700, PARTE I.....	158
Figura 5.7: Representação gráfica de auto-estradas – rodovias de classe especial (no mínimo, 4 faixas, separadas fisicamente). T 34700, PARTE I.....	158

Figura 5.8: Diagrama do fluxo de tarefas no controle de qualidade da obtenção das imagens aéreas.....	161
Figura 5.9: Alvo recomendado por Baltavias (2000) para avaliação da qualidade dos scanners.....	165
Figura 5.10: Densidade vs. valor do pixel.....	166
Figura 5.11: Fluxograma de trabalho do processo de numerização de imagens.....	167
Figura 5.12: Exemplo de índice de codificação de pontos fotogramétricos.....	172
Figura 5.13: Fenômeno “overshoot”.....	178
Figura 5.14: Fenômeno “undershoot”.....	178
Figura 6.1: Gráfico representante do nível de qualidade dos serviços de aerofotogrametria.....	183
Figura 6.2: Gráfico representando os resultados da medição do grau de satisfação do cliente	184
Figura 6.3: Principais problemas considerados pelos entrevistados (agrupados em 5 classes).....	186
Figura 6.4: Alvo exposto no negativo para os testes de resolução geométrica.....	187
Figura 6.5: Mesa de luz, proteção dos diapositivos e luvas para o manuseio das imagens a serem numerizadas.....	188
Figura 6.6: Scanner DSW200 e a estação de trabalho para gerenciamento da numerização das imagens.....	189
Figura 6.7: Imagem numerizada, rejeitada pelo alto contraste e a perda de resolução radiométrica.....	189
Figura 6.8: Manchas na imagem	190
Figura 6.9: Configuração do bloco A (parte 01 do bloco com 50 imagens)	194
Figura 6.10: Comparação de diferenças nas qualidades das imagens dos blocos B e de Altdorf.....	195
Figura 6.11: Esquema representativo da localização da área restituída.....	198

Figura 6.12: Corte da área restituída – grupo de edificações	200
Figura 6.13: Exemplo da área restituída – “nós” das ruas e pontos altimétricos das edificações.....	201

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparação entre as características da Fotogrametria Digital e Analítica.....	9
Tabela 2.2: Documentos Cartográficos do Sistema Cartográfico Municipal segundo a Norma Brasileira nº 14.166.....	20
Tabela 2.3: Comparação dos valores de arrastamento medidos.....	25
Tabela 2.4: Precisões obtidas com POS AV da Applanix.....	27
Tabela 2.5: Etapas de trabalho da DMC.....	35
Tabela 3.1: Tolerâncias da USGS para as distorções de lentes.....	77
Tabela 3.2: Resolução Geométrica adotada por alguns países.....	83
Tabela 3.3: Precisão dos pontos geodésicos - Norma Suíça 211.432.21.....	92
Tabela 3.4: Valores práticos segundo as exigências de precisão dos pontos fixos (PFP2 e 3, PFA2 e 3) das Normas Suíças MO, (30/5/2002).....	93
Tabela 3.5: Recomendações do erro padrão admissível do Estado de “New Jersey”, EUA.....	96
Tabela 3.6: Tolerâncias de precisão adotadas no Brasil.....	97
Tabela 3.7: Exigências sobre a configuração dos pontos-de-controle.....	99
Tabela 3.8: Dimensões dos alvos usadas pelo Departamento de Transporte, Estado de Nova Jersey – EUA.....	102
Tabela 3.9: Relação entre a resolução, pontos medidos e erro médio quadrático das observações (a priori).....	102
Tabela 3.10: Precisões dos pontos-de-controle pré-sinalizados e pontos naturais.....	103
Tabela 3.11: Incertezas de definição dos pontos-de-controle naturais.....	103
Tabela 3.12: Comparação do fator de variância e influências no processo de aerotriangulação usando pontos pré-sinalizados e pontos naturais.....	104

Tabela 3.13: Valores de controle de qualidade da aerotriangulação analítica e digital adotados por diferentes instituições.....	107
Tabela 3.14: Valores de controle de qualidade da aerotriangulação analítica e digital – escala da foto 1:8.000.....	108
Tabela 3.15: Valores de precisão de MDT admitindo um máximo de deslocamento (na ortofoto)	111
Tabela 3.16: Distância da malha para um MDT	112
Tabela 3.17: Tolerâncias dos erros posicionais de identificação.....	121
Tabela 3.17: Níveis de Tolerância de acordo com as categorias de fenômenos cartográficos.....	127
Tabela 4.1: Satisfação versus expectativa do usuário.....	130
Tabela 4.2: Parâmetros de qualidade comum para diferentes organismos..	134
Tabela 4.3: Exatidão horizontal de acordo com as normas ASPRS.....	137
Tabela 4.4: Parâmetros de qualidade na produção fotogramétrica.....	144
Tabela 5.1: Exemplo da transcrição simplificada de especificações técnicas.....	153
Tabela 5.2: Parâmetros de qualidade da obtenção das fotografias aéreas..	160
Tabela 5.3: Dados para a entrada do Sistema Fotogramétrico Digital.....	168
Tabela 5.4: Controle de qualidade adotado no processo de orientações e aerotriangulação.....	169
Tabela 5.5: Controle de qualidade final após a impressão.....	181
Tabela 6.1: Respostas citadas no boletim de pesquisa referentes aos problemas de produção de dados.....	185
Tabela 6.2: Resultados dos testes de qualidade do processo de orientação interior.....	191
Tabela 6.3: Resultados obtidos na orientação interior de imagens de projetos suíços, americanos e canadenses.....	192
Tabela 6.4: Dados dos projetos testados na aerotriangulação.....	193
Tabela 6.5: Resultados dos testes práticos no processo de aerotriangulação.....	194

Tabela 6.6: Resultados de pesquisas de produtividade no processo de aerotriangulação.....	196
Tabela 6.7: Etapas do processo de aerotriangulação digital manual.....	196
Tabela 6.8: Etapas do processo de aerotriangulação digital automática.....	197

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASPRS	- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
BMGSB	- Base Mapping and Geomatic Services Branch
CAD	- Computer Aided Design
CCD	- Charged Couple Devices
CERCO	- Comité Européen des Responsables pour la Cartographie Officielle
CEN	- Comité Européen de Normalisation
CQP	- Controle de Qualidade dos Processos
D+M	- Direction Fédérale des Mensurations Cadastrales
DLR	- Centro Espacial Alemão
DSG	- Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
DPW	- Digital Photogrammetric Workstation
EMFA	- Estado Maior das Forças Armadas
EMQ	- Erro Médio Quadrático
FGDC	- Federal Geographic Data Committee
FMC	-Forward Motion Compensation
FMT	- Função de Transferência de Modulação
GPS	- Global Positioning Systems
GSD	- Ground Sample Distance
HRSC	-High Resolution Stereo Camera
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGN-B	- Institut Géographique Nationale - Bélgica
IMU	- Inercial Measurement Unit
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISO	- International Standard Organization

LIDAR - Light Detection and Ranging
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital do Terreno
MO – Mensuration Officielle
MST – Multi Sensor Triangulation
NATO - North Atlantic Treaty Organization
NMAS - National Map Accuracy Standards
NSSDA - National Standard for Spatial Data Accuracy
OEEPE - European Organization for Experimental Photogrammetric Studies
PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico
RMS – Root Mean Square
RN – Referência de Nível
SAR – Synthetic Aperture Radar
SDTS - Spatial Data Transfer Standards
SIG – Sistema de Informações Geográficas
S+T - Office Fédéral de Topographie
STANAG - Standardization Agreement
OTEMO – Ordenance Technique sur la Mensuration Officielle
USGS – US Geological Survey

RESUMO

SATO, S. S. (2003). Sistema de Controle de Qualidade dos Processos Fotogramétricos Digitais para a Produção de Dados Espaciais. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

Este trabalho propõe um Sistema de Controle de Qualidade (CQP) dos processos fotogramétricos digitais para a produção de dados espaciais baseados nos conceitos de gestão de qualidade ISO 9000 e nas diretrizes normativas suíças e norte-americanas. Procurou-se obter parâmetros de qualidade em cada um dos processos fotogramétricos digitais, de forma a garantir a qualidade final dos produtos e satisfazer às necessidades de precisão e exatidão dos dados espaciais e a suas aplicações. As principais fontes de erros são identificadas e comentadas e algumas das soluções propostas foram testadas com sucesso.

Palavras chaves: Fotogrametria Digital, Gestão e Controle de Qualidade, Normatização, Produção de Dados Espaciais.

ABSTRACT

SATO, S. S. (2003). Quality Control System of the Digital Photogrammetric Process for Producing Spatial Data. Ph. D. Thesis – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

This work is aimed to the development of a "Quality Control Process" to be applied in the digital photogrammetric processes that are part of the spatial data production. It is based on quality managements standards of ISO 9000 and in the Swiss and North American standards guidelines. Each step of the process was investigated to obtain individual parameters of quality that, collectively, were able to assure the quality of the end product, mostly in those aspects regarding the requirements for precision and accuracy. The main sources of errors are identified and discussed and some of the proposed solutions were tested successfully.

Keywords: Digital Photogrammetry; Quality Control and Management; Standardization; Spatial Data Production.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Os mapas, produto da Fotogrametria, são usados como instrumentos em diversos ramos de atividade, como, no gerenciamento de indústrias, no planejamento físico-territorial urbano e rural, no monitoramento ambiental, na prevenção de riscos e catástrofes, na engenharia de forma geral e na logística, dentre outros.

Segundo Konecny (2000), o mapeamento do espaço físico é vital para a provisão de dados básicos, exigidos no estudo do desenvolvimento sustentável. O autor destaca a necessidade do mapeamento para monitoramento dos ecossistemas, da água potável, das florestas, da agricultura, dos depósitos de lixo, das áreas áridas, das enchentes, da sedimentação do solo e do crescimento de áreas urbanas. Isto significa que o levantamento cartográfico, realizado pela Fotogrametria, é fundamental no fornecimento de informações do espaço físico, seja ele local, regional ou global. Nos últimos tempos, houve um crescimento na procura por informações espaciais, principalmente com o advento dos sistemas computacionais de gerenciamento de dados espaciais, conhecidos como Sistema de Informações Geográficas – SIG.

Este crescimento requer processos produtivos de mapeamento mais rápidos, confiáveis e adequados às aplicações do cliente, seja de Geoprocessamento, seja de gestão governamental. No âmbito nacional, percebe-se uma “lacuna do fluxo produtivo” entre o processo de mapeamento atual e aquele que possa ser utilizado imediatamente pelo usuário de um SIG ou de uma Prefeitura Municipal. Conseqüentemente, é oportuno buscar um diagnóstico e uma solução que otimize o fluxo produtivo que gere dados adequados ao uso imediato.

1.2. Justificativa e Motivação da Pesquisa

Apesar da necessidade de melhor planejamento territorial em um país com dimensões continentais, como o Brasil, não tem havido investimentos significativos de mapeamento. É intrigante imaginar as respostas que se poderia ter quando aplicados boletins de pesquisas aos organismos governamentais e privados, com as seguintes questões:

- a) É possível conceber um planejamento para ações administrativas e de desenvolvimento de um país, de um estado, de um município, de um local, sem mapas ou informações geográficas e dimensionais das áreas territoriais?
- b) Como quantificar as dimensões florestais, agrícolas, industriais e comerciais?
- c) Como quantificar, precisamente, a produção agrícola cítrica e outros produtos afins?
- d) Como planejar e construir estradas e, ainda, como implantar uma logística de transporte adequada sem o conhecimento de dados espaciais precisos?
- e) Como é possível monitorar o meio ambiente e inibir as degradações continuadas?
- f) Como monitorar as divisas nacionais, principalmente, as mais distantes e menos povoadas, como a Amazônia?
- g) Como arrecadar, de maneira justa, os impostos sobre o terreno?
- h) Como quantificar utilitários de infra-estrutura básica, como água, saneamento e energia elétrica?
- i) Como planejar e implementar utilitários de telecomunicações?
- j) Qual a importância da precisão dos dados espaciais e quanto é importante a exatidão geométrica e posicional para o planejamento, projeto e

execução de obras públicas e privadas, como estradas, usinas hidroelétricas, ferrovias, dutos, redes de eletricidade, dentre outros?

- k) Quantos custam dados imprecisos ao planejamento territorial? Nestes custos são contabilizados desperdícios de tempo, desenvolvimento precário e insatisfações diversas?

Em países que fazem amplo uso dos recursos de aerofotogrametria, como a Suíça, as respostas para as questões de “b” a “i” se resumiriam a uma só: o uso de mapas. As respostas para as questões “j” e “k” são facilmente encontradas na Internet, nas universidades, e nos boletins informativos emitidos pelo organismo federal responsável pela cartografia (L’Office Fédéral de la Topographie).

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu mediante os desafios da Cartografia diante das necessidades existentes, acima externadas. Um segundo fator foi o estágio de doutoramento pela École Polytechnique Fédérale de Lausanne, junto ao laboratório de Fotogrametria IPHOT, na Suíça, com ênfase no gerenciamento da qualidade dos processos fotogramétricos.

1.2. Contexto da Pesquisa

Atualmente, diversas categorias de empresas buscam a padronização dos produtos para obter a certificação de qualidade ISO 9000, entre elas, aquelas que trabalham na área cartográfica. Apesar de certas empresas estarem certificadas, constata-se, ainda, problemas na adequação do produto segundo as expectativas do cliente. Isto significa que existe uma falha no sistema de gestão de qualidade.

Uma forma de minimizar esses problemas poderia ser obtida com a normatização dos processos, através da ABNT, similarmente às NBR 13.133 e NBR 14.166¹, que tratam de mapeamentos cadastrais.

Sendo a qualidade um sinônimo de atendimento às expectativas dos clientes, conforme definido por Sussland (1996), para conseguí-la, é preciso, inicialmente, que o produto seja adequado ao usuário. Em segundo lugar, o produto deve estar conforme as especificações do cliente ou adequadas às expectativas do cliente, ou

¹ NBR 13.133 – Execução de Levantamento Topográfico; NBR 14.166 - Rede de Referência Cadastral Municipal.

seja, deve possuir todas as características que estão descritas no projeto ou na lista de especificações.

Segundo Sussland (1996) a conformidade às especificações deve ser cumprida pelas empresas. Entretanto, a realidade acusa uma dificuldade nacional na adequação ao uso. Um fator sugerido neste trabalho, com o objetivo de amenizar esta dificuldade, é a garantia da qualidade dos processos de mapeamento, direcionando-o à questão do “uso”.

A garantia de qualidade tem se tornado quase obrigatória no mercado globalizado e competitivo do mundo atual. No caso da cartografia, ela leva os produtores de dados espaciais a reconsiderar os seus conceitos de qualidade e de produção.

Em nível nacional, tem-se, como indicador de qualidade do produto cartográfico, o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). O PEC é regulamentado pelo Decreto 89.817/1984. Segundo estas normas cartográficas, um produto com padrão classe “A” possui um nível de qualidade “exato” segundo a escala da carta analisada. Maiores detalhes podem ser vistos em Chaves (1998) e Oliveira (1996). Estas normas cartográficas controlam a qualidade após a elaboração do produto e levam em consideração a qualidade dos dados no contexto da exatidão posicional, mas não mencionam a exatidão de atributos, a consistência lógica e a completude dos dados cartográficos, como apresentado no Capítulo 4.

Diante desta situação, propõe-se neste trabalho um sistema de monitoramento e de controle de qualidade dos processos de produção fotogramétricos digitais. Busca-se a garantia da qualidade em cada etapa da produção de dados espaciais e, principalmente, a garantia da qualidade no contexto de adequação ao uso. Com este sistema de qualidade, pretende-se implementar ações corretivas durante cada processo produtivo, de forma a obter um fluxo produtivo cada vez mais contínuo e com “defeito zero”. Acredita-se que, para a adoção de um sistema de controle de qualidade aplicado à linha de produção fotogramétrica, seja necessária também, uma base normativa nacional que possa viabilizar processos de mapeamento padronizados e adequados às intenções do geoprocessamento.

1.3. Objetivo Geral

Pesquisar o desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade para os processos fotogramétricos digitais, visando à elaboração de uma metodologia que permita a obtenção da base de dados espaciais que sejam imediatamente adequados às aplicações dos usuários.

1.3.1. Objetivos Específicos

- Estudar normas cartográficas e fotogramétricas adotadas por alguns países que, preferencialmente, reformularam suas normas considerando os avanços do SIG;
- pesquisar as especificações fotogramétricas nacionais e confrontá-las com as especificações internacionais;
- analisar métodos de controle e de gestão de qualidade, visando adequá-los aos processos fotogramétricos digitais para a produção de dados espaciais, e
- propor normas fotogramétricas para a produção de dados espaciais com sistema de controle de qualidade, e testar e analisar a qualidade dos processos fotogramétricos, permitindo a geração de um conjunto de ferramentas capaz de produzir dados espaciais com a qualidade adequada às aplicações dos usuários.

2. CARACTERÍSTICAS DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Este capítulo trata de descrever os principais materiais e os processos fotogramétricos digitais utilizados na produção de dados espaciais.

2.1. Resumo da Evolução da Fotogrametria

Desde 1840, um ano após a descoberta do processo de revelação fotográfica por Louis-Jacques Daguerre, a fotografia passou a ser utilizada pelo coronel Aimé Laussedat para levantamentos cartográficos (Wolf & Dewitt (2000).

Com os avanços computacionais e o desenvolvimento de modelos matemáticos, que tratavam da ressecção espacial (Von Gruber) e das condições de coplanaridade e colinearidade, a Fotogrametria que, já na década de 1950, utilizava recursos computacionais, começou, na década de 80, a utilizar cada vez mais a coleta de pontos e de objetos na forma de dígitos numéricos.

Segundo Mandani (2001), após o advento dos computadores, nos anos 50, aparelhos de restituição analítica foram desenvolvidos juntamente com os softwares de desenho como os sistemas CAD (Computer Aided Design) para a extração manual de feições cartográficas e de outros programas de interpolação de pontos altimétricos, de geração de modelos numéricos do terreno e de aerotriangulação, com potencial de ajustamento de blocos de imagens cada vez maiores.

O primeiro restituidor analítico foi desenvolvido por Uki Helava, em 1957, e comercializado a partir de 1976. Poucos anos depois, em 1981, foi iniciado o desenvolvimento de um restituidor digital por Helava Associates e a General Electronics Dynamics Division. Dois anos depois, surgiu o Digital Stereo Comparator Compiler – DSCC (Miller & Seymour, 1995).

No Brasil, segundo Andrade (1998), a Fotogrametria foi introduzida em 1922, na elaboração de cartas do Distrito Federal e do Rio de Janeiro, na escala 1:50.000. Esses dois serviços de mapeamento foram realizados pelo Exército Brasileiro, a partir de um estereógrafo. Desde então, a Fotogrametria passou a ser a principal ferramenta para os mapeamentos topográficos e cadastrais. Atuando no mapeamento topográfico

do Brasil, tem-se dois órgãos governamentais responsáveis: o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e a DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro).

2.2. Características da Fotogrametria Digital

A Fotogrametria Digital se popularizou após o advento dos computadores e de alguns componentes principais como discos rígidos, processadores e placas de vídeos e principalmente com o surgimento dos numerizadores digitais ("scanners"), na década de 90. O resultado foi a alteração das tarefas fotogramétricas, que passaram a ser efetuadas no computador e não mais em aparelhos restituidores. A marca flutuante foi substituída por um cursor, e a plataforma de base do diapositivo foi substituída por um monitor de computador.

Silva (1994), ao descrever este novo avanço da Fotogrametria, que pode ser considerado um marco no seu desenvolvimento, diz:

Trata-se do aparecimento da Fotogrametria Numérica ou Digital (traduzido do inglês – digital photogrammetry), que constitui, fundamentalmente, na sistematização de alguns procedimentos do tratamento de imagens aplicadas a imagens aéreas numéricas, com o objetivo de torná-las manipuláveis para a restituição fotogramétrica. Em termos genéricos, trata-se da substituição dos equipamentos analíticos de restituição fotogramétrica pelas estações de trabalho programadas para tal finalidade. Em suma, o software substitui os componentes óticos e mecânicos.

O ambiente digital possibilita a automação de processos fotogramétricos sistemáticos e conseqüentemente, tem-se uma redução de tempo e de interferências humanas na produção de mapas e dados espaciais.

A principal característica da Fotogrametria Digital é a sua condição de utilizar imagens na forma numérica ao invés de imagens de películas. A aquisição da imagem na forma numérica, detalhada mais adiante no Item 2.4, é efetuada, principalmente, por câmeras digitais e "scanners".

A Fotogrametria Digital traz novas funções quando comparada às demais, destacando-se:

- a. Recursos para processamento de imagens, como a correlação, automação de operações, funções de contraste, brilho, nitidez, equalização e análises multi-espectrais;
- b. Geração automática de Modelos Digitais de Terrenos (MDT) e Modelos Digitais de Elevações (MDE);

- c. Medição automática de pontos fotogramétricos no processo de orientação e de aerotriangulação;
- d. Facilidade de seleção, identificação e remedição de pontos fotogramétricos (de ligação e de passagem) e dos pontos-de-controle (terreno);
- e. Flexibilidade de visualização e de medição simultânea de conjuntos de imagens;
- f. Ausência da necessidade de equipamentos de transferência de pontos, como os comparadores;
- g. Ausência do processamento de diapositivos para o uso nos restituidores;
- h. Conexão, em tempo real, do ambiente do estéreo-modelo com os sistemas CAD;
- i. Superposição, em tempo real, das feições coletadas sobre os estéreo-modelos (imagens);
- j. Geração de ortofotos e mosaicos digitais;
- k. Criação de vistas em perspectivas do modelo;
- l. Mapeamento a partir de imagens de outros sensores, como SPOT, LANDSAT, JERS, IKONOS, QUICKBIRD, e outros;
- m. Detecção automática de feições alteradas do terreno a partir de uma mesma cena fotografada em diferentes períodos, e
- n. Extração semi-automática de feições volumétricas.

A Fotogrametria Digital passou a utilizar técnicas do processamento digital de imagens e todas as suas disciplinas correspondentes como, inteligência artificial, reconhecimento de padrões, correlação de imagens e outras.

A produtividade da Fotogrametria Digital pode ser triplicada quando são utilizados todos os recursos otimizados e automatizados, mantendo a qualidade similar à dos sistemas analíticos. Na Tabela 2.1 são mostradas as características que distinguem a Fotogrametria Digital da Fotogrametria Analítica.

Tabela 2.1: Comparação entre as características da Fotogrametria Digital e Analítica.

Características	Fotogrametria Digital	Fotogrametria Analítica
Qualidade de Visualização	Depende dos seguintes parâmetros: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema ótico; ▪ Resolução geométrica e radiométrica do sensor (CCD); ▪ Conjunto de dispositivos da câmara CCD; ▪ Rigidez geométrica do CCD; ▪ Monitor de visualização; ▪ Dispositivos de visualização estéreos, ▪ Performance da placa de vídeo gráfica. 	Depende dos seguintes parâmetros: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistema ótico; ▪ Sensibilidade, resolução geométrica e radiométrica do filme; ▪ Conjunto de mecanismos e dispositivos do sistema da câmara; Vantagens: Permite um melhor reconhecimento de detalhes pormenores que 10 cm no solo.
Mobilidade das Imagens	O desempenho depende da capacidade da placa de vídeo, do processador gráfico e da capacidade do monitor de atualização da tela (taxa de frequência vertical e horizontal).	O desempenho depende dos mecanismos de movimentação do aparelho restituidor (manivela pedal) e da precisão dos mesmos.
Ampliação e Redução Visual da Imagem	Capacidade de ampliação visual da imagem superior à analítica, embora dependa da resolução da imagem e do monitor. Sendo que a área útil do limite no campo de visão.	Capacidade de ampliação e redução visual inferior ao sistema digital.
Precisão das Medidas fotogramétricas	Depende da resolução do monitor e da qualidade das imagens.	Depende da qualidade das imagens e da precisão do equipamento.
Desempenho do Equipamento	Depende da capacidade de processamento que está relacionada ao processador, à memória, ao vídeo e à capacidade de armazenamento do computador.	Depende uma parte da capacidade do computador, mas também da parte ótico-mecânica e das engrenagens mecânicas para os movimentos XYZ e de rotações do restituidor.
Funcionalidade	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Multitarefa, permite: o processamento digital de imagens, a aerotriangulação automática, a geração automática do MDT, a geração de ortofotos, a integração em ambientes SIGs e outros. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tarefas limitadas, permitindo apenas: a orientação interna e externa, a coleta de pontos para a aerotriangulação e, a restituição. A geração de MDT é efetuada manualmente através da perfilagem do modelo e da coleta dos pontos.
Manutenção do Sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atualizações de softwares; ▪ Atualizações de "Hardwares" e outros dispositivos (monitores, placas gráficas para visualização estereoscópica, mouse, etc); ▪ Organizações dos diretórios; ▪ "Backups". Obs: reduz a necessita de especialistas altamente qualificados devido à automatização dos processos.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparos e substituição de parafusos ou "encoders", engrenagens, etc.; ▪ Alinhamentos dos componentes óticos e mecânicos; ▪ Reparos em outros problemas mecânicos; ▪ Calibração, limpeza e lubrificação. Obs: Exige a disponibilidade de pessoal altamente especializado.

2.3. Estação Fotogramétrica Digital

Uma Estação Fotogramétrica Digital é uma combinação de hardware e software, a qual permite que todas as operações fotogramétricas sejam desenvolvidas sobre a imagem digital. A partir da imagem digital, todas as tarefas (como a orientação, a medição de pontos, a aerotriangulação, a restituição, a geração de ortofoto e a geração de MDT) podem ser efetuadas num único computador (Silva, 1999).

A Figura 2.1 representa um diagrama simplificado de um ambiente fotogramétrico digital. A área interna compreende os componentes gerais de

funcionamento do hardware: monitores de alta resolução; unidade central de processamento (CPU); disco rígido com grande capacidade de armazenamento; interface usuário (mouse, teclado e sistema operacional).

Figura 2.1: Diagrama do ambiente fotogramétrico digital.

Quanto aos componentes principais da Estação Fotogramétrica Digital, pode-se destacar:

Dispositivos de visão estereoscópica, consistindo de placa gráfica de alta performance, preferencialmente, padrão "Open Graphics Library" – OpenGL;

Sistema de polarização passiva ou ativa capaz de separar as imagens temporariamente a uma frequência de 60Hz para a obtenção da visão estereoscópica, e monitores de alta resolução que suportam a frequência vertical de 120Hz;

Dispositivos de controle e medição 3D, usados para movimentação da marca flutuante e na medição tridimensional (X,Y e Z).

Os dispositivos de visualização disponíveis no mercado são baseados no método de polarização passivo ou ativo. O princípio deste método, descrito por Shenk (1999), é a separação temporal das imagens em conjunção com a luz polarizada, que, neste caso, é realizada através de um sistema que alterna a exibição da imagem esquerda e da direita, sincronizada pela polarização, cuja frequência é de 60 Hertz. Para isto, a frequência vertical do monitor de exibição deve ser de 120Hz. Duas soluções são disponíveis, como é apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2: Sistemas de visualização estereoscópica¹

Na primeira solução (Figuras 2.2a e 2.3), as imagens são separadas através de uma tela com dispositivos de polarização, montada na frente do monitor. As imagens são projetadas alternadamente no monitor a uma frequência de renovação de 1/120 do segundo (120Hz). Um dispositivo polariza a luz emitida da tela em sincronismo com o monitor. O observador deve enxergar, estereoscopicamente, as imagens com auxílio dos óculos, cujas lentes são polarizadas distintamente em 0° e 90°, o que permite a separação das duas imagens para cada um dos olhos. (Miller et al, 1992; Andrade, 1998).

Na segunda solução (Figuras 2.2.b e 2.4), as duas imagens são projetadas alternativamente no monitor com uma defasagem de 1/60 de segundo entre uma exposição e outra. Os óculos de cristal líquido (LCD) ativos são usados com a finalidade de vedar o campo visual do olho direito, enquanto a imagem da esquerda está sendo projetada, e vice-versa. A conexão e o comando de sincronização com a tela são realizados a partir de um emissor infravermelho, montado em cima do monitor.

Existem no mercado outros sistemas de óculos com cabos para ambas as soluções. Neste caso, a placa de vídeo que se encarregará de ativar e desativar a polarização das lentes dos óculos ou de controlar a sincronização das lentes em relação ao sincronismo do monitor.

¹ Figura adaptada de Shenk (1999)

Figura 2.3: Visualização com polarização passiva²

Figura 2.4: Visualização com polarização ativa³

Uma função, considerada importante nas estações fotogramétricas digitais, é o "roaming", movimento da imagem na tela em relação ao cursor ou marca flutuante. Os fotogrametristas preferem que o cursor fique fixo no centro da tela e que as imagens sejam re-exibidas, continuamente, no monitor, de forma similar ao sistema de visualização e de operação dos restituidores analíticos. Neste caso, a solução é a adoção de componentes de sistemas gráficos que incluem processadores gráficos e memória de vídeo. Isto significa o uso de placas de vídeo gráficas de alto desempenho, que asseguram a exibição da imagem na tela a uma taxa de 10mm/s ou a 200 pixels/s, segundo Graham et al (1997) *apud* Shenk (1999).

Para alcançar a mesma resolução ótica dos restituidores convencionais, considerando uma imagem tomada de um filme com a resolução de 70 pl/mm, a

² Figura adaptada de <http://www.gis.leica-geosystems.com>.

³ Figura adaptada de <http://www.intergraph.com>.

resolução dos monitores deve alcançar 1280x1024 pixel, para uma magnitude geométrica igual a 15µm, Shenk (1999).

Quanto ao dispositivo de controle e medição 3D, uma grande parte das estações fotogramétricas adota o uso de "mouses" especiais com funções de rolagem, "trackball" e sistemas de manivela e pedal adaptados à estação fotogramétrica. A Figura 2.5 apresenta alguns exemplos destes dispositivos encontrados no mercado.

Figura 2.5: Tipos de dispositivos de controle e medição tridimensional.

2.4. Integração da Fotogrametria Digital com o SIG

No Geoprocessamento, a Fotogrametria Digital se tornou o principal método de coleta e atualização de dados espaciais.

Os produtos significativos, no contexto SIG da Fotogrametria, são:

- a) **Modelo Digital do Terreno (MDT) ou Modelo Digital de Elevação (MDE)** – descreve a forma do terreno com a ajuda de uma estrutura de pontos e de linhas tridimensionais (linhas de quebra). Esta estrutura pode ser uma malha regular de pontos ou uma rede irregular de triângulos (TIN). As técnicas de geração de um MDT são descritas no item 2.8.1. Este produto possui múltiplas aplicações, como, por exemplo: geração de curvas de nível; geração de ortofotos; cálculo de declividade; cálculo de volumes; cálculo de visibilidade entre dois pontos ou de duas superfícies, representação do solo, etc.
- b) **Ortofoto** – imagem fotográfica, cujas feições são apresentadas em suas verdadeiras posições. A imagem é ortoretificada a partir da transformação da

projeção central (dada pelo centro de projeção da câmera) em ortogonal no plano definido pelo MDT. As vantagens deste produto são os custos (mais baixos), a rápida produção, a possibilidade de combinação com dados vetoriais, a riqueza de informações e a possibilidade de coleta de dados monoscópica.

- c) **Restituição ou Extração de Feições** – técnica fotogramétrica que utiliza estéreo-modelos para a coleta de feições em formato vetorial, a fim de gerar mapas de linhas representantes de feições, como rios, florestas, terrenos, malha viária, edificações, pontes, etc.
- d) **Cenas em perspectiva** – combinação da restituição 3D com modelos digitais de terrenos. Os objetos restituídos (como muros, telhados das edificações, pontes e outros de interesse) são coletados tridimensionalmente ou são convertidos em elementos volumétricos. Gera-se um modelo tridimensional, cujos elementos podem ser “renderizados” e vistos de diferentes ângulos. Pode-se, até mesmo, percorrer, virtualmente, qualquer trecho de uma rua ou visualizar a área por outro ângulo.

Para Tao (2002), os três primeiros produtos (MDT, ortofotos e restituição) são classificados como primários e, os dados derivados deles (tais como curvas de nível, ortofotocartas, mapas de linhas e cenas em perspectiva), como produtos secundários.

Todos estes produtos, quando relacionados a uma base de dados alfanumérica, produzem novos dados espaciais, mapas temáticos que, em muitos casos, são usados para a tomada de decisões em ações governamentais e setores privados.

Em geral, um projeto fotogramétrico moderno envolve dois estágios principais: a aquisição de imagens com apoio suplementar, e os processos de derivação de produtos vetoriais e matriciais. O primeiro estágio consiste nos processos de concepção do projeto, cobertura aerofotogramétrica e apoio de campo. O segundo envolve o uso de uma estação fotogramétrica digital e, a partir dela, são realizados todos os processos fotogramétricos correspondentes a orientações, aerotriangulação, geração de MDT, geração de ortofotos e restituição. Estes processos e suas implicações estão descritos no Item 2.5.

2.4.1 Operações do Sistema de Informação Geográfica

As operações dos SIGs, relacionadas a um ambiente fotogramétrico digital, são descritas em Stefanickis et al (1996). Dentre as operações descritas por esses autores, quatro operações são consideradas fundamentais nos SIGs:

- a) **Operações de programação:** consiste de um número de rotinas ao nível do sistema operacional, de modo que seja possível controlar a comunicação com dispositivos periféricos conectados ao computador.
- b) **Operações de preparação dos dados:** envolve uma variedade de métodos de captura, processamento e armazenamento de dados de diferentes fontes.
- c) **Operações de apresentação dos dados:** consiste numa variedade de métodos de apresentação dos dados, como mapas temáticos, gráficos, relatórios e outros.
- d) **Operações de interpretação dos dados:** é o coração do SIG; transforma os dados de entrada em informações. Para isto, são utilizadas as operações de localização pontual, relativa (considerando a vizinhança) e de áreas. Com estas operações, é possível calcular novos valores para uma dada localização geográfica sobre um "layer" (nível de informação de uma mapa digital) a partir de dados existentes, associados àquela localização. Por exemplo, sendo o nível de informação da malha viária urbana um determinado ponto de ônibus o local de interesse, é possível analisar a influência deste ponto de ônibus no ambiente local, na vizinhança e, mesmo, na cidade. As operações de localização incluem funções de busca, classificação e registro, generalização, combinações de níveis de informações, proximidade, interpolação, superfícies, conectividade e medição.

Pode-se considerar que as três últimas operações supracitadas dos SIG são altamente relacionadas aos produtos fotogramétricos (citados nos itens anteriores). Apesar de essas operações estarem integradas nos sistemas fotogramétricos digitais, existem obstáculos de custo e de funcionalidade no fluxo de produção dos dados espaciais. Para conectar os dados fotogramétricos produzidos diretamente a um SIG, são usados métodos de validação e conversão de dados (exemplos destes dois últimos processos são descritos em IBGE, 2000).

Alguns sistemas fotogramétricos digitais oferecem a possibilidade de restituição dentro dos ambientes SIG. Por exemplo: a restituição no ambiente Geographics (da Bentley), LAMPS2 (da Laser Scan) e MGE (da Intergraph). Contudo, é preciso cuidar para o não-acrécimo de mais tarefas ao processo de restituição fotogramétrica, para não o tornar inviável devido ao aumento de custos no processo de coleta de feições, um dos mais caros processos fotogramétricos.

Nos anos 90, com a crescente popularização dos dados espaciais em meio digital, a Suíça e outros países, como a Alemanha, França, Inglaterra, Turquia, Estados Unidos, Canadá e mesmo a Colômbia (único representante do continente sul americano) iniciaram o processo de normalização de dados geográficos para garantir a qualidade e a segurança do uso destes em produtos como a ortofoto digital, a restituição fotogramétrica e o MDT (todos dados oriundos dos processos fotogramétricos). O objetivo principal é permitir o intercâmbio de dados entre os diversos organismos e a satisfação dos usuários de modo que eles possam obter respostas concretas sobre a origem e as limitações dos dados.

2.5. Processos Fotogramétricos

Segundo Ackermann e Rad (1996), diferentes estratégias podem ser aplicadas para garantir a qualidade de um produto final. A estratégia sugerida por estes autores é a "estratégia de defeito zero", cujo princípio é o controle de todos os processos da linha de produção. Para a aplicação desta estratégia, deve-se, primeiramente, conhecer todos os processos aplicados na produção de dados espaciais, descritos nos itens a seguir.

2.5.1 Concepção do Projeto

No Brasil, este processo é traduzido pelas especificações técnicas, que são emitidas na forma de carta-convite ou de processos de licitação pública, dos quais as empresas especializadas em serviços aerofotogramétricos podem participar.

As especificações técnicas devem traduzir as expectativas do cliente quanto ao produto solicitado, ou seja, é através delas que deverão ser expressas, claramente, as idéias, as necessidades e as exigências do produto, as quais deverão satisfazer as necessidades dos usuários.

Segundo Gawaspari (1996), apud Silva e Dalmolin (2000), o objetivo das especificações é evitar as falhas de comunicação que possam prejudicar o

desenvolvimento do produto. Os autores sugerem o uso de especificações-padrão, levando-se em consideração o atendimento às finalidades do usuário.

Geralmente, as especificações de serviços/produtos aerofotogramétricos citam as técnicas e os procedimentos a serem realizados, bem como as exigências de qualidade e de entrega do produto.

A especificação vale como um instrumento legal. É parte integrante dos contratos. Em Silva e Dalmolin (2000), são abordados os problemas condizentes com as especificações técnicas.

Considera-se que as especificações estejam em conformidade com o produto desejado, e que sejam adequadas às expectativas dos solicitantes e exeqüíveis para o executor. Em conformidade com as especificações técnicas, as empresas devem cumprir todas os itens especificados.

Para seguir os conceitos citados acima, o processo de concepção do projeto deve respeitar a aplicação do usuário e ser dirigido por normas vigentes. Em segundo lugar, é importante estabelecer uma interface entre o usuário e o executor do produto para ser definido o modelo conceitual que deve ser compatível com as ferramentas disponíveis do usuário. O modelo conceitual para uma tarefa deve apresentar interfaces e compatibilidades adequadas ao usuário. O sucesso da modelagem evita desperdícios de tempo na produção, necessidade de correção de erros e surgimento de problemas de incompatibilidade com a utilização imediata dos dados.

Em Pouliot (2000), encontram-se discussões sobre a modelagem de dados e sua importância em projetos que usam a abstração do mundo real como parâmetro principal. Segundo essa autora, a exatidão do projeto depende de quão próximos os dados medidos e observados se aproximam da medida real ou do mundo real.

2.5.2 Normas e Regulamentações

As regulamentações, normas, regras ou, simplesmente, as diretrizes concernentes aos processos de produção podem conduzir, de forma rápida, os usuários e os produtores ao produto esperado.

No Brasil, para a execução do voo aerofotogramétrico, é necessário que o executor atenda as instruções regulamentadas pelo Estado Maior das Forças Armadas (EMFA), conforme Portaria n.º 637-SC-6/FA-61 de 5 de março de 1998, atual Ministério da Defesa. Estando inscrita no EMFA, a empresa deve estar categorizada como "A", o que permite a operação aérea. Nesta categoria, o inscrito deve possuir

aeronave específica para as operações aerofotogramétricas e capacidade para a execução de todos os processos do aerolevantamento. Deve, ainda, possuir laboratórios aerofotográficos e local adequado para o armazenamento de filmes. Cumprindo estas exigências, é possível a expedição do número de autorização para o voo (EMFA, 1998, *apud* Costa, 2001).

Embora as normas do EMFA tenham como objetivo evitar que empresas não habilitadas tecnicamente possam exercer os serviços de aerofotogrametria, elas, por vezes, protegem, apenas, empresas específicas. O mercado cartográfico passa a ser não-competitivo devido à dificuldade financeira de manter ou adquirir aviões, câmeras aéreas, laboratórios, GPS, estações fotogramétricas, sustentação de pessoal técnico, etc. Isto dificulta a inovação tecnológica e a manutenção periódica de equipamentos, propiciando, assim, a formação de cartéis e monopólios de empresas.

O decreto-lei nº 243/1967 e 1.177/1971 (que trata da regulamentação das atividades de aerolevantamentos) e 84.557/1980 foram implementados para a padronização do mapeamento sistemático no Brasil e tratam das seguintes atividades:

- I. Recobrimento aéreo e espacial;
- II. 2ª Fase – operação relativa à interpretação ou tradução dos dados obtidos em operação aérea ou espacial:
 - a. Processamento fotográfico de filme aéreo ou espacial e respectiva obtenção de diafilme, diapositivo, fotografia, fotoíndice e mosaico-não-controlado.
 - b. Confecção de mosaico-controlado e fotocarta;
 - c. Confecção de ortofotografia, ortomosaico e ortofotocarta;
 - d. Interpretação e tradução cartográfica, mediante restituição estereofotogramétrica ou de imagens obtidas com outro sensor remoto;
 - e. Preparo para a impressão de original de restituição estereofotogramétrica ou elaborado a partir de imagens obtidas com outro sensor remoto.
 - f. Impressão do mapa.

O decreto-lei nº 243 estabelece o capítulo da infra-estrutura cartográfica, para que todos os levantamentos cartográficos sistemáticos sejam apoiados, obrigatoriamente, em sistemas planialtimétricos únicos, de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno por meio de marcos, pilares e sinais, constituídos da seguinte forma:

- i. rede geodésica fundamental, interligada ao sistema continental;
- ii. redes secundárias, apoiadas na rede geodésica fundamental, de precisão compatível com as escalas das cartas a serem elaboradas.

Em Costa (2001), são encontradas revisões desses decretos que visam ao desenvolvimento cartográfico do país. Segundo o autor, a aprovação da Norma Brasileira nº 14.166, referente à Rede de Referência Cadastral Municipal, incentiva a implantação de um Sistema Cartográfico Municipal – definido como um conjunto de documentos cartográficos estruturados a partir da implantação da “Rede de Referência Cadastral” –, o qual deverá ser a base para todos os levantamentos de informações territoriais no âmbito municipal, elaborado de forma sistemática.

O conjunto de documentos cartográficos é constituído por folhas da Carta Topográfica do Município, Planta Cadastral Municipal, Planta de Referência Cadastral, Plantas Indicativas de Equipamentos Urbanos, Planta de Valores Genéricos de Terreno e Plantas de Quadra. Estas folhas devem possuir enquadramentos, desdobramentos e codificações realizadas a partir da Carta Topográfica do Município que, por sua vez, tem suas folhas enquadadas e desdobradas a partir das correspondentes folhas da carta do Sistema Cartográfico Nacional.

Como pode ser observado, o Sistema Cartográfico Municipal está inserido na Cartografia Sistemática Terrestre Básica (Mapeamento Sistemático), conforme o Decreto Lei nº 243/67. Os documentos cartográficos pertencentes ao Sistema Cartográfico Municipal são traduzidos na Tabela 2.2.

Embora a Norma da Rede de Referência Cadastral Municipal nº 14.166 conceitue cada documento cartográfico, ela não define nenhum modelo conceitual das informações a serem representadas. Os principais itens definidos por esta norma são: implantação dos marcos, sistema de referência originado do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e sistema de representação cartográfica.

Em caso da inexistência de normas ou de não incidência das mesmas para os propósitos de mapeamento ou dos seus procedimentos, como é o caso dos projetos de escalas maiores que 1:25.000 no Brasil, as organizações governamentais e privadas devem seguir normas, padrões e especificações próprias, convenientes ao solicitante e às organizações. Entretanto, dificuldades são geradas para o contratante e executor do mapeamento, principalmente devido a multifinalidade do produto cartográfico, obrigando o executor a alterar, a cada projeto, a forma de produzir o produto.

**Tabela 2.2: Documentos Cartográficos do Sistema Cartográfico Municipal,
segundo a Norma Brasileira nº 14.166.**

<i>Documento Cartográfico</i>	<i>Escala</i>	<i>Finalidades</i>
Planta Cadastral Municipal	1:1.000	<ul style="list-style-type: none"> - Estudos sobre alinhamentos, nivelamentos, emplacamento de edificações; - Base aos cadastros de infra-estrutura urbana (água, esgoto, drenagem, pavimentação, força e luz, telefone, gás, etc.); - Base para construção das plantas de quadras do cadastro imobiliário fiscal; - Cadastro fundiário para registros públicos; - Cadastro de equipamentos comunitários ou sociais destinados a atividades de saúde, educação, cultura, lazer, esportes, promoção e assistência social, ou similares; - Base para projetos na área de Transportes, - Hidrografia e outros.
Planta Genérica de Valores	1:5000 1:10000	<ul style="list-style-type: none"> - Parte integrada ao cadastro fiscal contém registros dos valores de terreno diferenciados pela sua posição nas quadras e nos segmentos de logradouros e pelos equipamentos urbanos a sua disposição; - Base para a geração dos Mapa de Valores (lei).
Planta Geral do Município	1:5000 1:10000	<ul style="list-style-type: none"> - Levantamento dos aspectos físicos; - Levantamento dos aspectos sócio-econômicos; - Levantamentos dos aspectos político-administrativos; - Elaboração e acompanhamento do Plano Diretor Municipal e de todas as ações dele decorrentes.
Planta indicativa de sistemas e infra-estrutura urbana	1:5000 1:1.000	<ul style="list-style-type: none"> - Obtida a partir da Planta de Referência Cadastral do Município; - Meio auxiliar às atividades de planejamento, programação e coordenação dos serviços de implantação de obras em vias públicas; - Implantação de obras no sistema viário: elaboração dos projetos básicos e executivos, como, por exemplo, corredores de transportes, passagens inferiores e outros que envolvam a sub-superfície.
Planta de referência cadastral	1:5000 1:10000	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborada a partir da planta geral do município; - Gestão municipal integrante dos cadastros técnicos municipais; - Mapas temáticos, como zoneamento, uso e ocupação do solo, sentido de circulação dos fluxos de tráfego, entre outras aplicações.

Para Kölbl (1992), não há dúvidas sobre a necessidade de profundas mudanças nas exigências direcionadas à produção dos dados cartográficos, principalmente, quando os dados forem destinados ao uso em ambientes SIG. Para evitar que haja inadequação da produção destes dados espaciais, as normas são criadas, sobretudo, para minimizar ou evitar os problemas de intercâmbio de dados entre os diversos SIGs e aplicações. Estas normas devem garantir o intercâmbio e a qualidade dos dados espaciais.

2.5.3 Cobertura Aerofotogramétrica

Uma das primeiras etapas a ser realizada após a comprovação técnica das empresas participantes é o planejamento da cobertura aerofotogramétrica. Nesta etapa são considerados:

- a. O local e a área a ser mapeada;
- b. A escala do recobrimento aerofotogramétrico, que é calculada em função da escala do produto final. Em geral, esta escala é exigida nas especificações técnicas;
- c. Os procedimentos operacionais e equipamentos, tais como tipo da aeronave, sentido do voo, recobrimento longitudinal, lateral e sistema da câmera com a objetiva adequada, entre outros.

Na América do Norte e na maioria dos países europeus, o planejamento do voo é realizado juntamente com a etapa de apoio terrestre, usando pontos-de-controle pré-sinalizados. No Brasil, historicamente, há poucos registros da utilização de apoios terrestres com estas características.

Nas especificações técnicas da instituição Paraná Cidade (1998) e nas citadas em Costa (2001), os seguintes procedimentos operacionais têm sido exigidos:

- a. Características do material fotográfico e de processamento dos mesmos (validade, resolução, uso de filtros adequados, cor e qualidade da revelação);
- b. Características das exposições - informações marginais registradas no filme como número da faixa, número da foto, local, data e escala aproximada;
- c. Características de recobrimento lateral e longitudinal entre as imagens não devem ultrapassar +/- 3% dos limites estabelecidos;
- d. Inclinação do eixo ótico da câmera inferior a 3° (três graus sexagesimais) por foto e inferior a 2° (dois graus sexagesimais) na média por faixa;
- e. Escala de voo nominal;
- f. Continuidade das faixas e, caso haja interrupção, a garantia da superposição exigida pelos modelos;
- g. Altura de voo com limite de variação inferior a 10% em relação à escala planejada e exigida;

- h. Condições de velocidade e luminosidade que garantam uma perfeita nitidez das imagens;
- i. Condições atmosféricas favoráveis, ausência de nebulosidade, com o posicionamento do sol a uma altura superior a 30° em casos normais, e superior a 45° em casos especiais;
- j. Tolerância de rotação horizontal (deriva) por faixa menor que 3°;
- k. Características da câmera (certificado de calibração válido, inclinação do eixo ótico, etc.);
- l. Utilização de aeronaves especialmente adaptadas para a tomada de fotografias aéreas, equipadas com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR-GPS para a orientação do voo. A autonomia deve ser suficiente para fotografar, no mínimo, dois rolos completos de filme (152 metros) e retornar à base sem problema de abastecimento.

2.5.3.1 Materiais e Procedimentos

A tomada das fotos requer filmes aéreos e cuidados específicos, podendo ser consideradas as diretrizes das normas da ASPRS⁴ (1995), que exigem:

Emulsões coloridas e pancromáticas sensíveis a todos os espectros visíveis, estendidos ao vermelho para o caso de uso de filmes infravermelhos que, neste caso, devem ser sensíveis aos comprimentos de onda de 400 a 900nm. A escolha das emulsões do filme deve ser feita de acordo com as especificações técnicas ou as aplicações (por exemplo, para aplicações que exigem alta precisão, recomenda-se o uso de filme preto e branco; para ortofotos, o colorido, e, para florestas e estudos de impacto ambiental, o filme infravermelho);

- a. Cuidados extremos na exposição, com o uso de filtros apropriados, os quais possam evitar, por exemplo, o efeito vinhete;
- b. Validade do prazo do filme e a estabilidade dimensional;
- c. Estocagem dos filmes em condições apropriadas de temperatura e umidade relativa do ar, de acordo com as especificações do fabricante;

⁴ American Society Photogrammetry and Remote Sensing

- d. Armazenamentos de filmes em recipientes apropriados, preferencialmente, com o fim de evitar manchas, fissuras e a descoloração. Algumas especificações sugerem o armazenado em recipientes originais;
- e. Alto poder de resolução do filme com, no mínimo, 100 linhas por milímetro;
- f. Densidade do filme em conformidade com os níveis de densidade definidos pelo fabricante;
- g. Cuidados no processamento do filme e na secagem, e
- h. Isenção de cortes.

“A fotografia aérea é o dado básico do fotogrametrista”. Lamboit, 1958. Para ele, todas as imperfeições contidas afetam, diretamente, o trabalho do operador. No meio computacional, o princípio é o mesmo. Neste caso, as características do filmes e os cuidados na preservação e manuseio, acima descritos, são parâmetros preventivos da má qualidade da imagem. Em Kölbl (1985), Kraus (1993), ASPRS (1995), Dalmolin e Silva (1999), são vistos maiores detalhes sobre as características dos filmes.

2.5.4 Câmera Aérea

A câmara aerofotogramétrica instalada na aeronave deve dispor de objetivas, exigidas nas especificações ou requeridas pela área a ser sobrevoada. Geralmente, os projetos aerofotogramétricos são executados com câmeras aéreas de objetivas 153mm, com formato útil de 23x23 centímetros. Em áreas de alta densidade de edifícios, é recomendado o uso de objetivas de 300mm, principalmente em projetos de ortofotos. Essa objetiva reduz o deslocamento radial nas ortofotos, e a precisão altimétrica conseguida é suficiente para a geração do MDT.

Os filtros de 420nm (bruma), 525nm (amarelo), 400nm (filtros gelatina para filmes coloridos), 520nm (filtros gelatina para infravermelho), 600nm (vermelho) são os acessórios utilizados nas eventuais correções de intervalo espectral não desejado, absorção de contraste para a redução da iluminação do céu e compensação de iluminação, evitando o efeito de vinhete e o efeito da bruma.

Atualmente, a resolução da objetiva é de no mínimo, 100 linhas por milímetro, com distorção geométrica das lentes máxima menor que 3 μ m. Uma melhor resolução

e geometria das lentes, combinada com a alta resolução do filme, podem contribuir para a qualidade ótima da imagem. A Figura 2.6 mostra o poder de resolução das lentes com 120 linhas por milímetro (Gallo, 1999).

Figura 2.6: Resolução de uma lente da câmera RC30 da Leica Geosystems.

A qualidade geométrica de obtenção da imagem é aumentada quando a câmera é dotada de dispositivos de compensação do movimento angular de torção transversal (roll), de torção longitudinal (pitch) e de deriva. A Figura 2.7 apresenta um esquema desse tipo de compensação para casos de vôos turbulentos. O mecanismo FMC (Forward Motion Compensation – compensação do movimento de avanço) evita o arrastamento da imagem durante a sua exposição.

Figura 2.7: Compensação "giro-estabilizadora"

Atualmente, esse mecanismo é considerado indispensável ao vôo aerofotogramétrico. A Figura 2.8a apresenta os efeitos de arrastamento na imagem

esquerda. A Figura 2.8.b, com o FMC, apresenta a imagem sem o efeito de arrastamento.

(a) sem FMC

(b) com FMC

Figura 2.8: Efeito do mecanismo FMC.

Adaptada de GALLO (1999)

Vôos turbulentos, com movimentos menores que $10^\circ/\text{s}$, podem sofrer correções dos movimentos de rotação da câmera (pitch e roll) e de deriva com as plataformas giro-estabilizadoras. Por exemplo, a plataforma giro-estabilizadora PAV 30, da Leica Geosystems, pode compensar as rotações de "pitch e roll" dentro do limite $\pm 5^\circ$; o ângulo de rotação pode ser corrigido para $\pm 0,5^\circ$. O PAV 30 consegue estabilizar a deriva de, até, $\pm 30^\circ$. A deriva compensada chega a $\pm 1,2''$. Os dados do fabricante desse tipo de plataforma comprovam o melhoramento das imagens quanto aos valores de arrastamento, de acordo com o mostrado na Tabela 2.3. Nessa tabela, são comparados os valores de arrastamento medidos sobre imagens com e sem o mecanismo de compensação giro-estabilizadora.

Atualmente, os sistemas das câmeras aéreas podem ser compostos com sistemas GPS de navegação e mecanismos de Unidade de Medição Inercial (IMU), que permitem o registro automático das coordenadas do centro da foto, inclusive dos dados de rotação da aeronave ("roll", "pitch" e deriva).

Tabela 2.3: Comparação dos valores de arrastamento medidos.

Fonte: LH Systems, LLC (2001).

Câmeras	Sem Compensação		Com compensação	
	Centro	Margem	Centro	Margem
$f = 88 \text{ mm}$	$77\mu\text{m}$	$222\mu\text{m}$	$2\mu\text{m}$	$7\mu\text{m}$
$f = 153 \text{ mm}$	$134\mu\text{m}$	$209\mu\text{m}$	$4\mu\text{m}$	$6\mu\text{m}$
$f = 303 \text{ mm}$	$264\mu\text{m}$	$299\mu\text{m}$	$8\mu\text{m}$	$9\mu\text{m}$
Todos os cones de lentes ⁵	$0\mu\text{m}$	$132\mu\text{m}$	$0\mu\text{m}$	$8\mu\text{m}$

Um dos mecanismos de Unidade de Medida Inercial (IMU), freqüentemente encontrado no mercado da tecnologia, é o Sistema de Posicionamento e Orientação de Aeronaves e Veículos (POS AV) da Applanix Corporation (vide Figura 2.9) composto de IMU, Unidade de Processamento com receptor GPS acoplado e antena GPS. Este sistema foi desenvolvido, especialmente, para o georreferenciamento direto de sensores aerotransportáveis.

Figura 2.9: Sistema POS AV da Applanix Corporation.

Fonte: <http://www.applanix.com>

O sistema integra a precisão do GPS à tecnologia inercial e fornece, em tempo-real ou pós-processadas, as medidas das posições "roll", "pitch" e deriva dos sensores aerotransportáveis (vide Tabela 2.4). Este sistema foi desenvolvido para o uso em câmeras aéreas, laser scanners (scanners de varredura do terreno, conhecidos como Lidar) e radares (Synthetic Aperture Radar – SAR).

O uso deste tipo do sistema, GPS/IMU, aumenta, significativamente, a produtividade, reduz a densidade de pontos-de-controle, bem como as tarefas de ajustamento da aerotriangulação. Em alguns casos, a etapa de aerotriangulação pode ser completamente eliminada. Os dados da orientação exterior, diretamente fornecidos pelo GPS/IMU, podem alcançar precisões de 10 a 20cm para X e Y, e de 15 a 50cm

⁵ Considerando os movimentos de deriva.

para Z (Cramer, 2000). As precisões do sistema POS AV (da Applanix), segundo o fabricante, foram mostradas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Precisões obtidas do POS AV da Applanix.

Fonte: <http://www.applanix.com>

Observações	Precisão (pós-processado)
"roll", "pitch"	0.005 (grado)
Deriva	0.008 (grado)
Posicionamento do sensor	5-10 cm

As medidas em tempo real permitem desenvolver, em menos de 24 horas, os projetos de aerolevantamentos, citados abaixo:

- Mapeamento de áreas de textura uniforme (água, deserto, florestas) em escalas menores que 1:5.000;
- Levantamento costeiro (auto-estradas, linhas de tensão e gasodutos) com laser scanners, e
- Mapeamentos de enchentes.

Avaliações empíricas, baseadas em dados coletados com o POS AV e demonstradas em Bruton et al (2001), confirmaram os resultados obtidos por Cramer (2000), descritos anteriormente. O autor constatou, ainda, que é possível a precisão de 15cm nas coordenadas XY e 25cm em Z, com resíduos máximos de 42cm com bases de apoio distanciadas (entre si) de 160 a 420km, e, quanto menor essa distância, melhor será a precisão. Por exemplo, bases com distâncias entre si de 100km resultarão em precisão média de XYZ de 15cm e resíduos máximos 30cm.

Nos diversos cenários testados, observou-se que as diferenças máximas em "roll" e "pitch" não ultrapassam 3 arcos de segundos e a máxima diferença da deriva ficou abaixo de 10 arcos de segundos. Sob algumas condições, os testes apresentaram precisões absolutas de 10cm. Os resultados dos testes empíricos, firmados por Cramer (1999) e Bruton et al (2001), encorajam serviços de mapeamento com georreferenciamento direto (vôo apoiado com GPS combinado com sistema IMU, com receptores de bases remote-master de, até, 30km), sem a necessidade de pontos-de-controle no bloco. Porém, por segurança, são usados quatro pontos-de-controle, localizados um em cada extremo do bloco. Isto beneficia, de imediato, a aerotriangulação e a geração de parâmetros da orientação exterior.

2.5.5 Câmeras Aéreas Digitais

A câmera digital utiliza o sensor CCD (Charged Couple Devices – Dispositivo de Cargas Acopladas) para a captação da imagem na forma digital. O princípio básico é que todo elemento exposto a uma energia incidente acumula uma carga elétrica proporcional à incidência da luz. Essa carga elétrica é amplificada e convertida na forma digital.

Na Fotogrametria, os sensores com CCD são predominantemente utilizados em duas principais fontes de captura de imagens (a câmara digital e o scanner). Para Shenk (1999), os sensores CCD são adequados às aplicações fotogramétricas porque fornecem excelente estabilidade e uniformidade.

As funções do CCD são, em linhas gerais; a conversão analógica para digital (A/D), a transferência de dados e o armazenamento da carga de pixels. Maiores detalhes sobre estes dispositivos podem ser vistos em Shenk (1999) e Galo (1993).

Na câmera digital, a imagem é diretamente capturada na forma digital com uma exatidão que depende, consideravelmente, da estabilidade (nivelamento do arranjo CCD) e da exatidão dos elementos do sensor (uniformidade do espaçamento). Atualmente, pode-se chegar à exatidão de 1/10 (um décimo) de micrômetro (Shenk, 1999).

Contudo, segundo ainda Shenk (1999), para que uma câmera digital tenha resolução comparável à da câmara clássica são necessários cerca de 20.000x20.000 elementos sensoriais, com dimensões não maiores que 5 μ m. As câmeras digitais aerofotogramétricas existentes usam de recursos tecnológicos distintos para se aproximar da resolução das câmeras de filme, contudo, ainda não se substitui, completamente, a câmera aerofotogramétrica convencional. Entre as câmeras digitais desenvolvidas e em funcionamento atualmente, encontram-se:

- a) HRSC, da DLR.
- b) ADS40, da LH Systems;
- c) DMC, da Z/I Imaging

A câmera digital HRSC (High Resolution Stereo Camera) foi desenvolvida em 1996 para uma missão Russa em Marte e foi, posteriormente, modificada para aplicações de sensoriamento remoto aerotransportável. O princípio do arranjo CCD

linear é o mesmo da ADS40, porém a HRSC usa 9 CCDs lineares, sendo que cada linha possui 5.184 pixels. Os CCDs são montados em paralelo, no plano focal, de modo que possam "varrer", simultaneamente, o terreno. Cinco dos nove CCDs lineares da HRSC-A são estruturados com ângulos específicos, de maneira que possam fornecer exibições das imagens em modo estereoscópico e fotométrico. Os outros quatro arranjos CCDs são dispostos com diferentes filtros para a varredura do terreno multi-espectral (vide Figura 2.10) (Ress e Langfeld, 2002).

A resolução geométrica do CCD da HRSC é de $7\mu\text{m}$. O tamanho mínimo do pixel, no solo, é de 10cm e depende da altura de voo. Contudo, a resolução geométrica das imagens e a cobertura do terreno pode variar de acordo com os modelos de sensores HRSC-UM, HRSC-MACHADE, HRSC-AXW, disponíveis. Conforme o modelo do sensor usado durante o voo, a variação da resolução geométrica será de 7 a 100cm e a cobertura do terreno poderá variar de 1 a 14km (largura de faixa). Para uma altura de voo de 6.000m, o tamanho de pixel, no solo, será de 24cm e a precisão (erro médio quadrático realizável) será de $\pm 20\text{cm}$ em X e Y e $\pm 30\text{cm}$ em Z. Os dados são armazenados em alta velocidade com um registrador de fita digital. Cada fita armazena 50Gb de dados e corresponde a duas horas de aquisição. Maiores detalhes podem ser vistos em Neukum e Lehmann (2000).

Figura 2.10: Princípio de aquisição de imagem da HRSC.

Fonte: Lehmann (2001)

A ADS40 (Airborne Digital Sensor) é baseada em três arranjos lineares de sensores CCD, distribuídos sobre o plano focal da imagem em forma transversal à direção do voo (Eckart et al, 2000; Jahn e Reulke, 2000). Cada linha do sensor captura 2x12.000 pixels no modo pancromático e 12.000 pixels no modo multiespectral, colorido (RGB) e infravermelho próximo (IR). A resolução geométrica deste sensor corresponde a 6,5 μ m; isto equivale, no terreno, a 16cm, numa cobertura aérea a 3.000m de altura. Evidentemente, quanto menor a altura de voo, menor será o pixel no solo, podendo chegar a 10cm.

A vantagem desta câmara é a resolução espectral de 465nm a 900nm, do visível ao infravermelho, e a possibilidade de aquisição simultânea das imagens pancromáticas, coloridas e infravermelhas (Sandau et al, 2000). Uma das linhas de varreduras do CCD se encontra centrada sobre o eixo ótico e as restantes são paralelas à primeira. Esta distribuição cria uma geometria adequada para a varredura da imagem de tal forma que cada uma das linhas varridas registra uma perspectiva diferente do terreno (vide Figura 2.11). Neste conceito, todos os objetos do terreno são registrados três vezes na vista posterior, central e frontal, garantindo 100% de recobrimento.

Figura 2.11: Princípio do registro das três cenas do terreno.

(Adaptada de Fricker et al, 2002)

As imagens pancromáticas obtidas são apresentadas em forma contínua (faixa), contendo informações geométricas de alta precisão e incluindo informações de posição e de orientação, que são registradas pela unidade de navegação inercial/GPS, incorporada ao sensor. O modelo estereoscópico é contínuo ao longo da linha de voo

e pode ser apresentado no modo pancromático, colorido (RGB) e infravermelho próximo (falsa cor).

A ótica do sensor ADS40 é projetada de forma a preservar (sem deformação) as laterais da imagem. O desenho telecêntrico da lente mantém a posição e a amplitude de todas as bordas dos filtros em toda a extensão do campo visual. Deste modo, evita-se a alteração da resposta espectral da área. Uma característica única da ótica da ADS40 é o separador de cores "tricóide". Este dispositivo ótico duplo, separador dicróico de bandas espectrais em cascata, separa os pixels RGB (apresentado na Figura 2.12). Os filtros das cores são localizados entre a ótica e o CCD.

Figura 2.12: Esquema do tricóide - bandas espectrais em cascata.
(Adaptada de Fricker & Zuberbühler, 2000).

O campo visual de 64° de ângulo de cobertura, juntamente com a solução do CCD montada no plano focal de distância de 62,77mm, permite uma cobertura aérea do terreno maior do que a das câmeras digitais convencionais, de 4.000x4.000 pixel, conforme ilustrado na Figura 2.13. Os valores adotados para o ângulo de cobertura do campo visual e da distância focal (de 62,77mm) são correspondentes a distância focal de 153mm da câmera convencional.

Figura 2.13: Cobertura da ADS40 comparada as outras câmeras com o mesmo GSD⁶

Fonte: Fricker et al (2002)

Com o uso de câmeras digitais, algumas tarefas habituais de linhas de produção fotogramétrica convencional são reduzidas ou removidas do fluxograma produtivo. Como por exemplo, têm-se os processos de manipulação e de manutenção de filmes, os processos de numerização (scanner) e outros. A Figura 2.14 mostra o fluxograma de trabalho da ADS40 comparado ao de uma câmera aérea convencional.

O processo de produção com a ADS40, após o voo e o processamento dos dados, é dividido em três níveis de trabalho: nível 0, nível 1 e nível 2.

- **Nível 0:** consiste no processamento dos dados brutos de GPS e do sistema inercial (IMU), na conversão do sistema de coordenadas e na orientação dos dados das imagens brutas.
- **Nível 1:** refere-se à retificação dos dados. As imagens pancromáticas e multi-espectrais são corrigidas e podem ser visualizadas estereoscopicamente.
- **Nível 2:** refere-se ao refinamento e geocodificação dos dados. Consiste na correção dos dados a partir da triangulação e na geração de ortofotos pancromáticas e multi-espectrais.

⁶ Ground Sample Distance – tamanho do pixel do terreno

Figura 2.14: Fluxograma de trabalho da ADS40.

Adaptado de Fricker et al (2002)

A DMC (Digital Mapping Camera) usa CCD matricial. O imageamento é feito "frame" a "frame", similar ao processo de filme convencional, e usa o mesmo princípio de centro de perspectiva da câmera convencional. Para solucionar o problema de limitação de tamanho do CCD, em geral 4000x4000 e 9000x9000 pixels, a DMC usa oito estruturas individuais de CCD matriciais na composição do sistema da câmera, quatro CCDs pancromáticos de 7.000 x 4.000 pixels e quatro CCDs multi-espectrais de 3.000 x 4.000 pixels. A Figura 2.15 mostra um esquema de estruturação dos quatro CCDs pancromáticos. Esta estrutura deve garantir o alinhamento preciso do eixo ótico, um em relação ao outro.

Na DMC, os CCDs estão diretamente integrados dentro de módulos da câmera. Cada CCD possui seu próprio cone de lentes. Os canais de cores são montados no aro externo da estrutura ótica. Até quatro canais podem ser montados, e isso permite que aquisições de imagens em vermelho, verde e azul (RGB) e infravermelho sejam tomadas simultaneamente. A resolução geométrica da DMC é igual a 12µmx12µm.

Figura 2.15: Composição ótica da câmera DMC - 4 canais pancromáticos e 4 canais multiespectrais.

Adaptado de Heier e Hinz (2000).

A câmera DMC possui um campo visual de 74° e resolução de 13.500 x 8.000 pixels, com distância focal de 120mm e sistema de resolução das lentes de 1:4.0 no modo pancromático. Para evitar a redução da resolução do pixel no modo multiespectral, as lentes do tipo grande angular, com abertura f/4 e comprimento focal de 25mm, são usadas em combinação com um CCD multi-espectral de 3.000 x 4.000 pixels. Deste modo, tem-se a mesma cobertura do terreno e resolução idêntica à dos canais multi-espectrais e pancromáticos.

A capacidade de aquisição da imagem é de 840GB. Isto significa que até 3.000 imagens de escala 1:10.000 podem ser registradas com uma resolução geométrica de 12cm no nível do terreno. O fluxograma de trabalho da DMC é diferente do fluxograma de trabalho das câmeras aéreas convencionais. Na Tabela 2.5, são apresentadas as etapas de trabalho que distinguem Os procedimentos de produção com DMC, após o voo e o processamento dos dados, são divididos em quatro níveis de trabalho:

- **Nível 1:** consiste na normalização da imagem original, com correção radiométrica e geométrica, incluindo a eliminação dos pixels defeituosos.
- **Nível 1a:** as imagens individuais, captadas pelos oito sensores, são convertidas para uma só imagem com perspectiva central, através de um processo de mosaicagem das imagens.
- **Nível 1b:** composição colorida das imagens (R + G + B): vermelho + verde + azul.
- **Nível 2:** georreferenciamento das imagens. Dados gerados do nível 1a ou 1b pelas medidas GPS/IMU.

Tabela 2.5: Etapas de trabalho da DMC.

Etapas	Detalhes
Cobertura aérea	Sistema de gerenciamento de voo e navegação; Programa de controle da câmera; "Quickview" – ferramenta de visualização das imagens e controle de qualidade de aquisição, Armazenamento das imagens – registro de dados.
Pós-processamento	Troca de armazenamento de dados através do uso do sistema RAID; Pós-processamento: correções radiométrica e geométrica, "mosaicagem" e composição de cores das imagens, Arquivamento e distribuição.
Aquisição dos dados	Avaliação dos dados – uso do sistema fotogramétrico digital.

2.5.6 Scanners Fotogramétricos

O processo de numerização dos filmes ou diapositivos, a partir de scanner fotogramétricos, é ainda muito utilizado na Fotogrametria Digital, visto que as câmeras digitais não preenchem todos os campos da Fotogrametria, como mostra a Figura 2.16. O gráfico apresentado mostra as aplicações em função das resoluções geométrica e espectral. Como pode ser observado, o campo de abrangência da câmera convencional é ainda superior ao das câmeras digitais e, portanto, cobre grande parte das aplicações de mapeamento topográfico urbano e de áreas de transportes.

Para Shenk (1999) e Baltavias e Waegli (1996), a numerização de imagens aerofotogramétricas deve ser feita por scanners fotogramétricos, cujas características essenciais sejam de:

- a. Formato mínimo de 25x25cm;
- b. Resolução geométrica menor que 15 μ m;
- c. Precisão geométrica de captura de "2 μ m" – este parâmetro afeta diretamente o resultado da aerotriangulação e deve ter a mesma ordem de precisão dos restituidores analíticos, que é de 2 μ m.
- d. Resolução radiométrica de 12bits, com capacidade de variar a densidade de 0,1 a 2,0 para as imagens pancromáticas e 0,2 a 3,5 para imagens coloridas.

Figura 2.16: Funcionalidade em função da aplicação.

Adaptado de Fricker et al (2002)

A mudança de contraste da imagem numerizada tem como referência de medida a densidade do filme. A Densidade "D" é definida como o logaritmo do quociente da transmitância, ou $D = \log (1/\tau)$, sendo D a densidade e τ a transmitância, que é definida como a relação entre os fluxos transmitido e incidente.

A densidade da imagem pode ser medida com densitômetros ópticos. A variação da densidade, representada por " γ ", é de 0 a 4, sendo 0 a cor branca e 4 a cor preta. Como foi visto anteriormente, os valores da densidade podem ser conhecidos por medidas em escala logarítmica. Um " γ " de intensidade de 100:1 tem valor de densidade 2,0, e o γ igual a 1000:1, densidade 3,0. Este último valor de "contraste do objeto" é encontrado em filmes aéreos (como o KODAK Aerochromo MS2448), usados no recobrimento aerofotogramétrico de áreas arenosas, como deserto e dunas.

Os valores mínimos e máximos de densidade, capazes de serem captados por um scanner específico, são chamados D Min e D Max. Se o D Min do scanner for 0,2 e D Max 3,1, o " γ " dinâmico (Dynamic Range) é 2,9. No D Max, os valores de tons de cinza da imagem são distintos e, portanto, devem ser distinguíveis na imagem, não devendo ser alterado ou escondido por ruídos eletrônicos. Quando o γ dinâmico é maior, é possível descobrir detalhes da imagem em áreas escuras ou de sombra, pois

a variação de tons de cinza é maior e se estende até o preto. Para as imagens de negativos, este efeito é invertido. Isto significa que é possível realçar detalhes em áreas de sombras e de muito contraste (esbranquiçadas).

A variação dinâmica eletrônica se refere à capacidade do sensor em detectar as mudanças do nível de cinza e, assim, acomodá-las à imagem com alto contraste. Se isto não for possível, os valores de cinza serão saturados.

Os negativos de filmes aéreos possuem valores de 0,1 a 1,5 D para as fotografias branco-e-preto e, 0,2 a 3,5 D para as fotografias coloridas. Isso significa que o scanner deve atender a esses mesmos valores ou estar bem próximo deles.

A resolução radiométrica de 12bits diz respeito ao número de níveis de cinza discerníveis numa escala preto-e-branca. Quando quantificada, é igual a 4096 (2^{12}) tons de cinza. Para as imagens coloridas, esta escala de números de cinza é dividida em canais de cores vermelho, verde e azul (RGB). A dinâmica depende da capacidade máxima dos pixels e do ruído do sensor. Uma boa dinâmica permite conservar dezenas de níveis de cinza em áreas de muita sombra ou muito claras e pouco contrastadas. Isto significa que detalhes podem ser identificados em áreas de sombra.

Características importantes dos scanners, descritas acima, podem ser encontradas em scanners "Desktop" (não-fotogramétrico), conforme Baltavias (1996b). Estes scanners podem, ainda, ser usados em aplicações fotogramétricas, como:

- a. Ortofotos com resolução geométrica de 1 metro, e
- b. Mapas topográficos digitais para aplicações com erros planimétricos de 4 metros, em meio digital, e 0,17mm e 0,34mm nas escalas 1:24.000 e 1:12.000, em papel e não no meio digital, considerando que a impressão é fator limitante da precisão e da resolução.

Considerando os erros planimétricos acima, estes produtos podem ser aceitáveis para diversos usuários. Os scanners do tipo Desktop devem possuir as seguintes características: formato 25 x 25cm, resolução geométrica de 20 μ m (1200 dpi), movimento mecânico do tipo estacionário, valor máximo de densidade de 3,5, resolução radiométrica variando de 8 a 12 bits (preferencialmente, 12bits) e precisão geométrica menor que 100 μ m. Em geral, o preço destes scanners varia de 10.000 a 30.000 dólares americanos.

Os scanners fotogramétricos são projetados para manter as mesmas características radiométricas e geométricas das fotografias áreas processadas. Para isto, são usados mecanismos e sistemas especiais, discutidos em Shenk (1999), cujo preço difere dos scanners Desktop. Em Baltavias (2000), são mostrados os principais scanners fotogramétricos e a avaliação técnica de cada um deles.

2.5.7 Numerização das Imagens

Conforme Kölbl (2000), nos últimos anos, um dos grandes avanços dos scanners foi a incorporação do suporte para o rolo do filme, melhorando a logística produtiva. Com a adição desse mecanismo, as operações de numerização passaram a ser quase que totalmente automáticas.

A calibração do scanner e a configuração de parâmetros (como iluminação, contraste e tonalidade), realizadas através das ferramentas disponíveis nos softwares de gerenciamento do scanner, são essenciais no processo de numerização.

2.5.8 Imagem Digital

A imagem digital é definida por Kraus (1993) como uma matriz bidimensional de elementos g_{ij} , denominados pixels. As linhas desta matriz têm índice i , que variam até I linhas. As colunas, com índice j , variam de 1 até J (vide Figura 2.18). Cada pixel g_{ij} possui dimensões Δx e Δy , denominados de valor geométrico. Cada g_{ij} possui um tom de cinza, podendo variar de 0 a 255, no caso de 8bits, ou de 0 a 4095 tons de cinza para 12-bit. A posição do pixel é referenciada a um sistema de coordenadas $\xi\eta$, sistema de imagem, apresentada na Figura 2.17. H representa o centro do pixel. Quando o índice i for multiplicado por Δx , a coordenada imagem ξ , é obtida do centro do pixel g_{ij} . O mesmo procedimento é repetido para o índice j para obter a coordenada η . Desta forma, são obtidas as tradicionais medidas de coordenadas-imagens, as quais são substituídas pela identificação dos pixels. A partir deste princípio, são realizadas as medidas automáticas nos processos de orientação interior e aerotriangulação (Kraus, 1993).

Figura 2.17: Esquema mostrando a imagem como um sistema matricial.

2.5.9 Produtos Primários da Cobertura Aerofotogramétrica

Em geral, os produtos primários mais solicitados nas especificações brasileiras do processo de cobertura aerofotogramétrica são:

- **Fotoíndice** – apresenta a superposição das fotos e das faixas do voo e o sentido de cada faixa. É elaborado numa escala predefinida, orientado ao norte, apresentando informações, como nomes de contratante e executante; escala do fotoíndice, referência do norte geográfico, coordenadas geográficas e UTM dos cantos, acidentes geográficos naturais ou artificiais importantes (que possam servir de orientação), número de cada fotografia exposta e número de cada faixa.
- **Cópias fotográficas ou cópias de contato** – utilizadas no planejamento do apoio suplementar e na reambulação. Atualmente, estas cópias estão sendo substituídas por ortofotos digitais impressas.

2.5.10 Apoio de Campo

A finalidade desta atividade é fornecer pontos suplementares à aerotriangulação, com suficiente precisão para o controle fotogramétrico.

O controle fotogramétrico, segundo Wolf (1983), consiste na identificação de alguns pontos na foto, cujas posições sejam conhecidas no terreno e referenciadas a

um sistema de coordenadas, também chamado de sistema de coordenadas do espaço-objeto. Estes pontos são conhecidos como “foto-identificáveis”. O sistema de coordenadas do espaço-objeto usado é, geralmente, referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro.

O controle terrestre é dividido em controle horizontal e vertical, e consiste de pontos suplementares, como pontos-de-controle planimétrico – ou horizontal (H) – e altimétrico – ou vertical (V). Na prática, estes pontos são planialtimétricos, também chamados de pontos de duplo apoio (HV).

Conforme Castanho et al (1992) e o Ministério do Exército (1975), estes pontos devem ser distribuídos pelo perímetro do bloco e devem ser adequadamente espaçados entre as bases dos pares de imagens. É indispensável a existência de um ponto de apoio em cada canto do bloco de fotos. Os pontos-de-apoio altimétricos devem ser distribuídos ao longo das faixas de voo, porém perpendiculares às mesmas, preferencialmente, entre as zonas de superposição lateral.

O número de pontos-de-controle depende da finalidade do trabalho, do método e do sistema utilizados na cobertura aerofotogramétrica. Por exemplo, para a produção de mosaicos, uma rede esparsa de pontos horizontais já é suficiente. Em caso de voo apoiado com GPS, há uma necessidade mínima de pontos-de-controle, pois os dados fornecidos pelo GPS e pelo sistema IMU (a bordo na aeronave) serão suficientes para reduzir a quatro o número de pontos-de-controle por blocos de imagens (esses detalhes poderão ser observados no capítulo seguinte). Para as aplicações de mapeamento com maiores exigências de precisão, as atividades de campo são divididas em duas etapas: apoio básico e apoio suplementar.

2.5.10.1 Apoio Básico

O apoio básico, conforme descrito anteriormente, freqüentemente é referenciado ao “Sistema Geodésico Brasileiro”. Em alguns casos, é necessária a implantação de uma rede de pontos de apoio planialtimétrico, obtida a partir da rede geodésica nacional.

A rede de apoio é densificada conforme as especificações técnicas ou de acordo com a precisão requerida. De acordo com Costa (2001), por exemplo, para fins cadastrais, pode-se exigir uma configuração de uma rede básica planialtimétrica cujos pontos materializados sejam distanciados entre si por 3 (três) quilômetros quadrados.

Para obter sucesso nesse processo, o planejamento do apoio básico de campo é essencial. Com um bom planejamento, pode-se evitar o desperdício de trabalho e conseguir, sem muito esforço, a precisão exigida do levantamento. Para isto, deve ser levado em consideração o número de vértices, os quais serão medidos, implantados e materializados, bem como o roteiro do levantamento, considerando-se a acessibilidade e a viabilidade dos locais da implantação dos pontos.

Segundo Costa (2001), "essa rede básica planialtimétrica deverá ser planejada, de tal maneira que assegure uma densidade mínima de pontos que satisfaça as exigências de precisão do mapeamento". Para isso, a precisão deve assegurar a fidelidade posicional do produto final, considerando os processos de aerotriangulação e de extração de feições.

Determinada a rede de apoio fotogramétrico, é comum a materialização dos pontos da rede, efetuada através de marcos de concreto ou outro tipo de material estável e durável. A finalidade da rede de apoio é fornecer o apoio base para projetos posteriores e para os ciclos de atualizações. Para tanto, é fundamental que esse "apoio base" seja confiável em nível de precisão e de exatidão posicional.

2.5.10.2 Apoio Suplementar

Com a rede de apoio básica implantada, o apoio suplementar pode ser definido. No escritório, é planejada a distribuição dos pontos-de-controle sobre o bloco de imagens a partir de cópias fotográficas. Para isto, geralmente, utilizam-se cópias fotográficas como material de preparação e planejamento de campo.

Os pontos-de-controle foto-identificáveis ou naturais devem ser bem definidos e claramente visíveis na imagem. Além disso, a posição dos pontos deve ser bem planejada para assegurar uma distribuição otimizada sobre o bloco de fotos. Rotineiramente, as empresas utilizam "pontos planialtimétricos (HVs) na periferia do bloco, a cada 3 ou 4 modelos, e pontos verticais (H) no interior do bloco, a cada 3 ou 4 modelos e nos extremos de cada faixa " (Silva & Dalmolin, 2000).

Conforme Kraus (1997), em escalas grandes, os pontos naturais podem ser pequenas rochas em áreas campestres, ou detalhes semelhantes, que tenham um bom contraste em relação aos outros elementos em torno da área. Estes pontos devem ser selecionados com o emprego de estereoscópios de espelhos.

As posições dos pontos sobre as imagens devem ser assinaladas nas fotografias. Cada fotografia assinalada é levada para campo. Cada "foto de controle" deve ser cuidadosamente examinada no campo para assegurar que o objeto descrito e assinalado na fotografia seja, de fato, o correspondente no campo.

Para facilitar a identificação dos pontos na foto durante etapa de aerotriangulação, os pontos determinados são marcados nas cópias de contato e, em alguns casos, nos foto-índices, assinalados com número identificadores e acompanhados de croquis elucidativos de suas posições e das características de seu entorno (Wolf, 1989; e Kraus, 1997).

Em Kraus (1993) são vistos os detalhes das características cartográficas levadas em consideração para a escolha dos pontos-de-controle a serem levantados em campo.

2.5.10.3 Pré-Sinalização

Segundo os estudos realizados, foi observado que um grande número de especificações técnicas norte-americanas e européias referentes ao uso de pontos-de-controle sinalizados. Esta sinalização dos pontos é efetivada por meio de alvos, num processo integrado com a cobertura aérea. Alguns tipos de alvos utilizados no apoio terrestre são mostrados na Figura 2.18.

Figura 2.18: Exemplos de tipos de alvos para o apoio pré-sinalizado.

Adaptado de BDC98PR-009 (2001)

No Brasil, esta prática não é usualmente adotada. Em seu lugar, utilizam-se pontos-de-controle naturais. Para Kraus (1997), os pontos-de-controle sinalizados representam maior exatidão que os pontos naturais. Os pontos sinalizados podem ser

facilmente reconhecidos pelo operador e, assim, podem ser rapidamente medidos, e com muito mais exatidão.

Grande parte da literatura consultada durante a realização deste trabalho mostrou que uso de pontos-de-controle naturais foto-identificáveis é utilizado com restrições. Por exemplo, nas especificações de Nova Jersey BDC98PR-009 (2001), é autorizado o uso destes pontos se existirem fotografias aéreas disponíveis e se a área do projeto for urbana, de modo que estes pontos possam existir em superabundância e com boas definições. Contudo, estes pontos devem ser materializados ou medidos em objetos permanentes, suficientemente claros, bem definidos e bem contrastados, de forma que possam fornecer a mesma qualidade e confiabilidade que os pontos pré-sinalizados. Pontos indefinidos e não permanentes (como arbustos, troncos, intersecções incertas, linhas centrais de rodovias e cantos de edificações) não são aceitáveis em grandes escalas.

2.5.11 Vão com Apoio GPS

A determinação do posicionamento geográfico de objetos é, atualmente, conseguida com a utilização de sistemas GPS (Global Positioning Systems). Estes sistemas oferecem grandes vantagens no complemento dos processos aerofotogramétricos. Em Kraus (1997), Cramer (1995) e Wolf (1999), estão descritas as principais vantagens de funcionamento do GPS na fotogrametria.

Os problemas inerentes ao posicionamento GPS cinemático em câmaras aéreas são citados por Ackermann (1992). Dentre eles, destacam-se as descontinuidades dos sinais, as perdas de ciclos, os erros de deriva e as transformações de datum. Segundo o autor, o conhecimento destes problemas torna mais seguras as aplicações do GPS nas operações de aerotriangulação.

Utilizando o GPS cinemático diferencial e/ou o sistema RTK (Real Time Kinematic), a localização da câmara (X_0 , Y_0 , Z_0) pode ser determinada de forma precisa, como foi visto no item 2.5.4. Deste modo, num estéreo-modelo, dos 12 elementos de orientação exterior, seis podem ser determinados pelos dados GPS e, os demais, através das medições dos sistemas inerciais (IMU). Uma das dificuldades deste processo no sistema RTK é a necessidade da contínua manutenção da comunicação de rádio entre os dois receptores (navegação e de referência). No caso de uso do método cinemático diferencial, faz-se necessário obter registros de posicionamento nas frequências L1 e L2 para garantir, no pós-processamento, a qualidade das medidas.

Para a determinação dos centros de perspectivas das fotos, no momento da abertura do diafragma, um sinal deve ser registrado pelo receptor GPS. A partir daí, pode-se conhecer o instante da tomada da foto. Com esta informação, é possível calcular as coordenadas GPS. Como as coordenadas GPS são referidas à antena, é preciso, ainda, levar em consideração o vetor de excentricidade entre a antena e a câmara para, finalmente, obter as coordenadas dos centros de projeção. Maiores detalhes técnicos podem ser vistos no trabalho realizado por Cramer (1997).

A integração das medidas de fase no processamento dos dados GPS cinemático, utilizado por Concard (1993), permitiu reconstruir a trajetória de um avião, com precisão de alguns centímetros. Com isso, pode-se reduzir o número de pontos-de-controle para a aerotriangulação. Com apenas quatro pontos de referência planialtimétricos, distribuídos nos quatro cantos do bloco, o autor obteve um resultado de qualidade comparável aos de aerolevantamentos com 17 pontos-de-controle planialtimétricos e 12 pontos-de-controle altimétricos. Isso demonstra, claramente, o potencial do sistema GPS para a aerotriangulação.

O voo aerofotogramétrico apoiado por GPS tem a navegação monitorada e, deste modo, o ângulo de deriva pode ser corrigido instantaneamente. Além dessa correção, esse tipo de monitoramento permite o controle da estabilidade da câmera na direção vertical do eixo óptico. A condição de verticalidade das imagens pode ser satisfeita com o uso de plataformas giro-estabilizadoras (vide Item 2.6.4). Com estes dispositivos, dificilmente, é ultrapassada a inclinação de 30" de eixo da câmera em relação ao nadir.

Combinando o GPS com os dados do sistema inercial (de acordo com o Item 2.5.4), é possível o georreferenciamento direto da imagem. Para Cramer (1999), o nível de precisão depende da aproximação do processamento (absoluta e diferencial), do tipo de observações (código, fase, Doppler) e da geometria dos satélites. Para se obter nesta combinação uma alta precisão, por exemplo, de até 10cm, recomenda-se o uso de GPS de dupla frequência (L1 e L2) e receptores de base "remoto-master" a uma distância não maior que 30km da aeronave.

2.5.12 Laser Scanner Aerotransportável

De acordo com Hansen e Jonas (2002), os três componentes fundamentais de um sistema Laser Scanner Aerotransportável (Figura 2.19), também conhecido como LIDAR (Light Detection and Ranging) pelos norte-americanos, são:

- A posição da aeronave – é determinada através de GPS de dupla frequência no modo cinemático, tipicamente configurado em épocas de 1 segundo;
- A orientação da aeronave – dados de rotações da aeronave (κ , φ e ω). Este movimento da aeronave é chamado, em inglês, de "attitude" e é monitorado, continuamente, por um Sistema de Referência Inercial sensível ou por uma Unidade de Medida Inercial (IMU), tipicamente a uma frequência de 50 vezes por segundo;
- Emissor do laser – dispositivo de medição do terreno, o qual emite um número de raios lasers para, em seguida, medir o tempo de retorno dos raios do terreno à aeronave.

Figura 2.19: Componentes fundamentais do Laser Scanner.
Hansen e Jonas (2002).

Os pontos altimétricos coletados são selecionados através de programas de filtragem. Conforme Wever e Lindenberger (1999), os pontos adquiridos pelo Laser são classificados, basicamente, em dois grupos:

- Pontos refletidos da superfície do terreno, e
- Pontos refletidos sobre os objetos ou vegetação.

Dependendo da aplicação e da qualidade desejada, a classificação automática pode ser otimizada usando-se uma função de edição gráfica interativa. Em pequenos

projetos, isto pode ser facilmente executado. Contudo, em grandes projetos, há uma necessidade maior de monitoramento manual, cuja meta é garantir a qualidade desta classificação. A Figura 2.20 ilustra na primeira cena (a) os retornos não filtrados do laser, porém coloridos. A segunda cena (b) ilustra o retorno do laser, classificado em feições de superfície, edificações, rodovias e vegetação.

Figura 2.20: Retornos do Laser Scanner: (a) retornos não filtrados
(b) retornos classificados por feições.

Adaptado de <http://www.enerquest.com/silc2.htm>

Uma das grandes vantagens do Laser Scanner é a possibilidade de cobertura aérea, realizável em todas as estações do ano, dia e noite. As restrições são nuvens densas e chuvas. Este sistema é apropriado para levantamento altimétrico de áreas florestais, bem como daquelas que não oferecem contrastes e texturas adequadas às fotografias aéreas, como, por exemplo, regiões costeiras, de geleiras e de desertos. (Flood, 2002).

Outras possíveis aplicações são: o mapeamento de áreas de inundações, margens de rio, modelagem hidrológica, detecção de erosões e prevenção de avalanches, modelagem tridimensional de cidades, controle volumétrico (como abertura de minas e despejos de resíduos sólidos), galerias, rodovias, ferrovias, oleodutos, gasodutos, linhas de forças e telefonia, etc.

As desvantagens consistem no alto custo dos projetos para pequenas áreas e na carência de informações espectrais e de imagem. Além disso, faltam padrões comuns e profissionais técnicos experientes.

A fusão de dados derivados do Laser Scanner com dados de imagem dos sensores digitais, adquiridos, simultaneamente, no processo de cobertura aérea, proporcionam informações adicionais e precisas, com desvio-padrão dos dados do Laser de aproximadamente 15cm e com imagens digitais com resoluções geométricas no solo de, até, 10cm. Fica ao encargo do produtor de dados espaciais analisar cuidadosamente o custo e benefício desta fusão.

2.6. Processos Fotogramétricos do Segundo Estágio

Os processos gerais para a produção aerofotogramétrica são divididos em: preparação do projeto, importação das imagens, orientação interior e aerotriangulação, conforme ilustra o fluxograma da Figura 2.21.

Figura 2.21: Fluxograma de trabalho a partir de estações fotogramétricas digitais.

2.6.1 Preparação do Projeto

Neste processo, cumpre-se a etapa de preparação dos dados para a entrada no ambiente de trabalho digital. Por exemplo, antes de se criar um projeto numa estação fotogramétrica digital, faz-se necessária a preparação de algumas informações, como a escala média das imagens (altitude média do terreno e altura de vôo), os parâmetros de calibração da câmara, os parâmetros do sistema de referência, o sistema de projeção, o arquivo dos pontos-de-controle, e outros dados necessários ao sistema fotogramétrico.

Considerando que os dados estejam preparados, a próxima operação é a criação do projeto, ou seja, a configuração de entrada dos dados. Esta, por sua vez, consiste no endereçamento ou importação das imagens ao sistema, na criação das pirâmides de imagens (também conhecidas como "overviews"), em operações de melhoria das imagens, na entrada dos dados da câmara, do arquivo de pontos-de-controle ou de outros dados complementares, como a informação da posição inicial da imagem em relação ao sistema da câmara.

2.6.2 Orientações

A finalidade das orientações é a reconstituição da posição da câmara no momento da tomada da fotografia, visando a obtenção do modelo estereoscópico e a relação deste com as coordenadas do terreno. O processo de orientações é dividido em orientação interior e exterior, conforme descrito a seguir.

a) Orientação Interior

A finalidade da orientação interior é a reconstrução da geometria que existia na câmara quando o filme foi exposto. No meio digital, a orientação interior consiste em relacionar as coordenadas "pixels" às marcas fiduciais. Isto pode ser feito a partir da leitura das marcas fiduciais da câmara, registradas na imagem, e da transformação do sistema de pixel para o sistema fotogramétrico da câmara, que leva em consideração os parâmetros conhecidos da câmara, que são:

- A distância focal calibrada " c " – constante da câmara fornecida a partir da calibração da câmara.
- A localização do ponto principal PP da imagem (coordenadas ξ_0, η_0), e
- Os parâmetros de distorções radial-simétrica e descentrada.

Como as imagens são diapositivos ou filmes digitalizados e, portanto, são matrizes de pixel (vide Item 2.5.8), é necessário conhecer as relações entre a posição do pixel ξ, η e o sistema fotogramétrico x, y , ilustrado, esquematicamente, na Figura 2.22. As coordenadas das marcas fiduciais medidas no sistema pixel são transformadas para o sistema fotogramétrico a partir das coordenadas fiduciais, que são fornecidas pelo certificado de calibração. Normalmente, a Transformação Afim no Plano, Equação 2.1, é utilizada para este cálculo.

$$\begin{pmatrix} \xi \\ \eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{01} \\ a_{02} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Onde:

a_{01} e a_{02} são as translações para coincidirem as origens dos sistemas;

a_{11}, a_{12}, a_{21} e a_{22} são os parâmetros de transformação;

ξ, η são as coordenadas das marcas fiduciais, no sistema pixel, e

x, y são as coordenadas calibradas das marcas fiduciais.

A orientação interior deve absorver os componentes lineares da deformação do filme e imperfeições devidos aos erros do scanner. Podem-se também tratar os erros devido às distorções das lentes (radial simétrica e descentrada) e da refração fotogramétrica total (atmosférica e a provocada pelo deslocamento da aeronave). Este procedimento é referido como refinamento das coordenadas. Maiores detalhes sobre o refinamento de coordenadas podem ser vistos no trabalho de Amorim (2000).

O processo de orientação interior, nos sistemas fotogramétricos digitais, funciona automaticamente ou, se desejado, semi-automaticamente (com interferência dos operadores). Em qualquer caso, os parâmetros de calibração da câmara devem ser fornecidos ao sistema. No caso da orientação automática, o sistema posiciona e mede, automaticamente, o centro das marcas fiduciais da imagem através de algoritmos de correlação e de modelos de reconhecimento de padrões. O sistema processa e apresenta os resultados. Em caso de insucesso nas medidas, o sistema informa ao operador qual medida deve ser repetida em modo manual.

Figura 2.22: Sistema de coordenadas em Pixels em relação ao sistema fotogramétrico da câmera.

Adaptada de Shenk (1999)

No modo semi-automático, o operador mede manualmente duas marcas fiduciais e, em seguida, comanda a medida automática das marcas fiduciais restantes. O monitoramento visual da medida de cada marca fiducial pode ser efetuado e interferido pelo operador em caso de dúvidas. As medidas duvidosas podem ser refeitas.

b) Orientação Exterior

A solução fotogramétrica convencional para a reconstrução da geometria espacial da câmera, no momento da exposição, é a determinação da posição e da orientação do feixe de raios luminosos em relação ao sistema de coordenadas de referência. Mais especificamente, trata-se da determinação da posição do centro de projeção (X_0, Y_0, Z_0) de cada foto e dos ângulos (ω, φ, κ), que definem os movimentos de rotação da câmara no momento da exposição do filme em torno dos eixos de coordenadas (x, y e z) do sistema fotogramétrico. Para a determinação das orientações do modelo, a solução é chamada de orientação exterior, que é dividida em duas etapas de orientação: relativa e absoluta. No meio digital, a orientação relativa e a absoluta, na grande maioria das vezes, são realizadas simultaneamente.

c) Orientação Relativa

"Quando cinco pares de raios homólogos se cruzam, todos os demais se cruzarão". Este é o princípio da orientação relativa. Admitindo-se que as imagens sejam próximas da posição vertical, é possível encontrar os valores aproximados da orientação de uma imagem em relação à outra e, portanto, conhecer os parâmetros de orientação. Para a Fotogrametria Analítica, a determinação destes parâmetros é obtida através das equações projetivas de colinearidade (2.3) e de suas derivadas, conforme a Figura 2.23.

$$\begin{aligned} X &= c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ Y &= c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Onde:

x, y representam as foto-coordenadas refinadas de um ponto P (espaço imagem) e no sistema fotogramétrico;

c é a distância focal calibrada do centro de projeção;

X_0, Y_0, Z_0 são as coordenadas do centro perspectivo no referencial do espaço-objeto;

m_{ij} são os parâmetros de rotação.

Figura 2.23: Condição de colinearidade.

As equações mostram que, para cada ponto objeto no terreno, existe apenas um ponto-imagem correspondente e, para cada ponto-imagem, existem infinitos pontos-objeto no terreno. "Isso mostra que é impossível reconstruir o espaço-objeto a partir de uma única imagem. Necessita-se de uma segunda imagem ou de informações adicionais sobre o valor de Z " (Silva, 1999).

Na orientação relativa da Fotogrametria Digital, os pontos fotogramétricos apresentam-se configurados conforme padrão de posicionamento e distribuição de Von Gruber sobre a área superposta. Contudo há uma superabundância de pontos.

Os pontos fotogramétricos são automaticamente localizados e medidos no modelo. Entretanto, o operador pode posicionar e ajustar, manualmente, os pontos fotogramétricos, bem como remover as paralaxes de cada um deles do estéreo-modelo. No ajuste e na medição do sexto ponto, o sistema calcula os parâmetros de orientação relativa do modelo e apresenta os resultados: coordenadas fotogramétricas calculadas, desvios-padrões e os resíduos de paralaxes. Os pontos que apresentarem resíduos acima da tolerância exigida podem ser removidos ou medidos novamente. O sistema recalcula e informa, de imediato, o novo resultado.

O operador pode optar por medir os pontos conjugados (pontos homólogos das imagens) automaticamente. A posição exata do ponto conjugado é calculada através de algoritmos de correlação e operadores matemáticos, como aqueles desenvolvidos por Moravec e Förstner, citados em Schenk (1999). Desta forma, pode-se medir, também de forma automática, os pontos fotogramétricos de todas as imagens do projeto com uma única operação.

No processo digital, as orientações são realizadas somente uma vez, sem necessidade do processo de retirada, recolocação de fotografias no porta-clichê e reorientação (Murthy, 2000).

d) Orientação Absoluta

Nesta etapa de trabalho, é estabelecida a relação entre as coordenadas do modelo (fotogramétricas) e o espaço-objeto (sistema de coordenadas no terreno). Os pontos-de-controle, cujas coordenadas foram determinados na etapa de apoio suplementar, são identificados e medidos no modelo. Em seguida, são submetidos à transformação dos sistemas do modelo para o sistema espaço-objeto. É assumido um fator de escala, uma matriz de rotação ajustada e uma transformação tridimensional. O

modelo mais utilizado é a transformação de Helmert no espaço, segundo a Equação 2.3.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_u \\ Y_u \\ Z_u \end{pmatrix} + \lambda * R * \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Onde,

X_u, Y_u, Z_u : Parâmetros de translação

λ : Fator de escala

R : Rotação

Detalhes sobre a modelagem matemática e funcionalidade desta operação são discutidos no trabalho de Kraus (1992).

Neste processo, são determinadas a escala do modelo e suas respectivas rotações e translações. "O processo consiste, basicamente, em ajustar o modelo às coordenadas de apoio, medidas no campo" (Silva, 1999).

2.6.3 Aerotriangulação Digital

Para trabalhos com grande quantidade de imagens, a aerotriangulação é mais indicada no processo fotogramétrico. Em geral, nos sistemas fotogramétricos digitais, as etapas das orientações relativa e absoluta estão incluídas no processo de aerotriangulação, cujos procedimentos são ilustrados na Figura 2.24.

A finalidade da aerotriangulação é determinar as orientações de todas as imagens simultaneamente, produzindo resultados próximos à orientação de cada estéreo-modelo. Como foi visto anteriormente, sem esta ferramenta, cada estéreo-modelo necessitaria ser orientado com a ajuda de coordenadas tridimensionais de, no mínimo, três pontos de apoio (medidos no campo).

O processo de aerotriangulação reduz a quantidade de pontos-de-controle para as orientações das imagens. Ao invés dos três pontos por modelo, pode-se usar quatro pontos-de-controle em um bloco de dezenas de imagens, como mostra a Figura

2.25. O número de pontos-de-controle é reduzido, principalmente, quando for utilizado o apoio de GPS na etapa de tomada das fotos, como foi visto anteriormente.

Figura 2.24: Fluxograma de trabalho do processo de aerotriangulação digital

Figura 2.25: Posicionamento dos pontos de apoio em um bloco de imagens.

O fluxograma de trabalho do processo de aerotriangulação, ilustrado na Figura 2.25, mostra a necessidade da disposição dos seguintes dados e atividades:

- a) Etapa de preparação – compreende: entrada das características e dos dados da câmera, disponíveis no seu certificado de calibração; dados GPS e IMU (opcional); arquivo das coordenadas dos pontos-de-controle; arquivos das imagens em formato de leitura compatível; indicador da direção de voo de cada faixa de imagens; orientação interior; disposição aproximada das imagens, com a formação das faixas e dos modelos; e altitude ou altura máxima e mínima da área sobrevoada.
- b) Etapa de Medição – compreende o padrão de disposição e o número de pontos fotogramétricos a serem medidos; e croquis ou outros meios que auxiliem a identificação e o correto posicionamento dos pontos-de-controle sobre as imagens.
- c) Etapa de ajustamento – coordenadas de pontos fotogramétricos (da imagem), que foram identificados e medidos de forma interativa ou automática; coordenadas das imagens e do terreno de um certo número de pontos conhecidos, que foram levantados preliminarmente pelo serviço de apoio de campo; e, pontos de conferência para controle de qualidade do processo

Muitas operações na aerotriangulação digital são facilitadas devido às seguintes propriedades destes sistemas:

- a) Capacidade de transferência de pontos e de medição diretamente da imagem digital;
- b) Capacidade para unir e “aerotriangular” grandes blocos de imagens e faixas numa única operação;
- c) Possibilidade de efetuar a medição automática com o uso de técnicas de correlação;
- d) Possibilidade de efetuar a medição manual nos modos mono, estéreo, ou ambos, e
- e) Capacidade de calcular a orientação inicial exterior através da orientação interior e dados de altura média do voo e altura média do terreno.

A aerotriangulação digital permite triangular e ajustar pontos fotogramétricos de imagens advindas de diferentes sensores ou câmeras. Ou seja, é possível a

triangulação de um bloco a partir de imagens de satélites junto às imagens aerofotogramétricas. Além disso, o sistema permite a identificação e medição automática dos pontos fotogramétricos. Deste modo, o procedimento cansativo de selecionar e medir as coordenadas da imagem dos pontos fotogramétricos é reduzido. Outra operação bastante vantajosa da aerotriangulação digital é a detecção automática dos erros crassos.

Segundo Kölbl (1996), alguns sistemas de aerotriangulação digital permitem a reexibição de pontos que excedem os erros permissíveis sobre as imagens. A partir desta operação, os pontos, que excederam os limites permissíveis, podem ser revisados ou removidos do conjunto de pontos aerotriangulados.

Uma das grandes vantagens da aerotriangulação digital é a automação de diversas operações. O operador pode escolher um padrão de disposição e quantidade de pontos por imagem que deseja para que o sistema os meça automaticamente, conforme é ilustrado na Figura 2.26. O sistema deve medir os pontos sem a interferência do operador.

Figura 2.26: Exemplo de um padrão de distribuição de pontos fotogramétricos do Sistema Fotogramétrico SOCET SET.

Em caso de o operador não estar satisfeito com os resultados, ele pode adicionar ou remover pontos a partir de uma janela de visualização, que exibe os pontos medidos e aqueles que deseja remedir. Clicando sobre o ponto com o cursor do mouse, é possível visualizar o ponto sobre o modelo. Este processo de busca automática de pontos é conhecido como "medição interativa de pontos".

Em muitas estações fotogramétricas, o processo de aerotriangulação é automático. Por exemplo, no "Multi Sensor Triangulation" (MST), desenvolvido pela BAE Systems, a medição dos pontos fotogramétricos e a transferência destes para os modelos subsequentes são realizadas pelo computador, com mínima intervenção humana. No Anexo 1 é mostrado um roteiro das etapas de aerotriangulação realizado no MST, exemplificando, na prática, o processo automático

A identificação dos pontos-de-controle na imagem não é uma tarefa muito fácil. Os alvos podem ser visíveis parcialmente ou podem desaparecer na imagem devido ao baixo contraste com o fundo da imagem. O sistema fotogramétrico procura tratar a dificuldade de identificação dos pontos-de-controle com a busca automática destes na imagem. Para isso, é necessário, primeiramente, definir e medir três pontos-de-controle do bloco de imagens e, em seguida, o sistema se encarregará da busca dos pontos-de-controle restantes. Entretanto, ainda restará ao operador a tarefa de refinar o posicionamento dos pontos, da forma mais exata possível.

Estudos para a identificação e medição automática dos pontos-de-controle estão sendo desenvolvidos. O método de correspondência "Template" (matching) é abordado por Fritsh (1995). Contudo, a medição automática de pontos-de-controle pré-sinalizados é ainda limitada. Uma das causas é a limitação da resolução geométrica das imagens, que deve ser menor que $3\mu\text{m}$ para esta finalidade.

Gülch (1995) testou diferentes métodos de correlação para a medição dos pontos sinalizados como, correlação cruzada (cross correlation), correspondência a partir dos mínimos quadrados (Least Squares Matching) e segmentação (Region Segmentation). Porém, os resultados foram insatisfatórios. As equações e princípios dos métodos de correlação e "matching" citados são abordados em Kölbl (1999) e Shenk (1999).

2.6.3.1 Ajustamento

Os dois métodos mais famosos de ajustamento em bloco e, ainda hoje, utilizados são o ajustamento de bloco por modelos independentes e o ajustamento de blocos por feixes. Em Jacobsen (2002), pode-se encontrar a descrição e comparação desses dois métodos.

Nos métodos analíticos e digitais, o ajustamento por modelo independente não é usual, como observado em todas as especificações técnicas e normas estudadas neste trabalho. Por isto, aborda-se, aqui, somente o ajustamento de blocos por feixes,

baseado nas coordenadas do estéreo modelo (fotogramétrico) e nas coordenadas dos centros de perspectivas, conforme ilustrado na Figura 2.27.

Figura 2.27: Ilustração do princípio de ajustamento de feixes.

Fonte: Jacobsen (2002)

Ainda segundo Jacobsen (2000), o ajustamento por feixes é um método mais rigoroso e mais preciso que os demais. Uma das vantagens é a possibilidade de combinar o ajustamento do bloco com as coordenadas do centro de projeção das imagens determinadas pelo posicionamento GPS cinemático e a inclusão de parâmetros adicionais (dados da câmera, dados GPS, etc.).

O modelo matemático do ajustamento por feixes é baseado na equação de colinearidade (Equação 2.3, vista no Subitem 2.6.2). O princípio do ajustamento de feixes vem do fato de que os raios do centro de projeção para os pontos da foto formam um feixe de raios. Cada bloco é formado pelos feixes de raios, que partem da câmera em direção ao solo (vide Figura 2.27). Estes feixes são reconstituídos com a ajuda dos pontos fotogramétricos, identificados e medidos sobre as imagens. Esses pontos ligam os modelos e, portanto, são passados de um modelo a outro e, também, fazem a ligação entre as faixas, chamados pontos de ligação. Quanto maior o número de pontos, maior a rigidez geométrica do bloco, maior a superabundância de dados e, conseqüentemente, melhor a qualidade dos resultados (Jacobsen, 2000).

Os centros de perspectivas de cada foto, referenciados ao sistema de coordenadas do terreno, são determinados. Conseqüentemente, o estéreo-modelo é formado com um mínimo de paralaxe e, partir deste processo, pode-se acionar o processo de coleta das feições do terreno, seja para a geração do MDT, seja para a restituição, e, assim, por diante.

Atualmente, os programas de aerotriangulação digital utilizam o ajustamento de bloco por feixes. Contudo, cada sistema trata os parâmetros adicionais distintamente. Alguns sistemas podem se “auto-calibrar”, levando ou não em consideração os parâmetros da câmera e das condições do voo. Parâmetros não conhecidos podem ser incluídos no ajustamento, que é capaz de auto-ajustar a diferença entre a geometria real da foto e o modelo matemático da perspectiva. Esta propriedade do programa de ajustamento é chamada de autocalibração ou “self-calibration”, disponível na maioria dos sistemas de aerotriangulação digital.

Usando os centros de projeções, determinados pelo posicionamento GPS, mesmo que relativos (como observação adicional no ajustamento do bloco de imagens), pode-se formar uma geometria aproximada do bloco. Se usados pontos fotogramétricos no bloco, essa geometria passa a ser estável. O uso de pontos-de-controle no ajustamento é necessário para a calibração, transformação de datum, garantia da redundância de dados e detecção e eliminação de erros do GPS, causados pela perda de ciclos.

O modelo funcional de aerotriangulação com GPS consiste no uso de parâmetros adicionais, que modelam as observações de posicionamento sistemático do deslocamento e de direção (deriva), chamados de “shift e “drift”, combinada com os dados GPS. A qualidade do ajustamento, neste caso, depende da correção da deriva e do deslocamento e dos cuidados em relação à permanência de erros sistemáticos nas posições dos centros de projeções, determinadas através do GPS.

2.7. Coleta de Dados Espaciais

Na coleta de dados espaciais deste trabalho, examinam-se todos os processos que, direta ou indiretamente, derivam produtos contendo as feições do terreno, as quais podem estar representadas na forma de malhas regulares de pontos altimétricos (MDT), de imagens ortoretificadas (ortofoto), e, de conjuntos de pontos, de vetores e de arcos (mapas de linhas).

A partir dos processos vistos anteriormente, pode-se dar início à coleta de dados. Esta pode ser dividida em tarefas manuais, como a estéreo-restituição, e em tarefas automáticas, como, por exemplo, a geração do MDT, de ortofotos, de mosaicos, etc. O MDT, a restituição, as ortofotos e os demais produtos são considerados, neste trabalho, como processos finais de coleta de dados (vide Figura 2.28).

Figura 2.28: Produtos derivados da Fotogrametria Digital

2.7.1 Geração do Modelo Digital do Terreno

A geração do MDT, quando realizada manualmente, exige um trabalho intensivo do operador. Atualmente, os sistemas fotogramétricos digitais, como o SOCET SET, da Leica Geostystems, podem gerar, automaticamente e em uma única operação, o MDT de um bloco de imagens orientadas.

A determinação automática do MDT, a partir de fotografias aéreas, tem sido pesquisada desde a década de 50. Atualmente, os principais métodos de correlação automática são baseados em algoritmos de "matching" (correspondência). As principais técnicas utilizadas são: "area-based matching" e a "feature-based matching". Segundo Kölbl (1997), a "area-based matching" é mais eficaz, pois corresponde ao processo de medição visual. Após a formação da visão estereoscópica, o operador compara e funde as duas seções de imagens homólogas através dos tons de cinza. A vantagem desta técnica é que os efeitos de bordas são reduzidos. Contudo, ele é sensível a mudanças de tons de cinza. Distintamente, isto não ocorre com técnica "feature-based matching".

Entretanto, para melhorar a eficiência da técnica de "area-based matching" em relação à sensibilidade de mudanças de tons de cinza, utilizam-se diferentes princípios entre elas: correlação cruzada, correlação pelos mínimos quadrados, programação

dinâmica e “matching multi-templet”. Detalhes de cada um destes princípios e seus respectivos algoritmos podem ser visto em Kölbl (1997).

Na técnica de “feature-based matching”, entende-se que cada feição candidata (ponto, linha, etc.) da imagem esquerda é atribuída a elementos correspondentes à imagem direita. Para reduzir o grande número de correspondências, o algoritmo, que determina os elementos característicos, escolhe somente os candidatos mais prováveis à correlação. Em geral, procura-se obter um elemento característico somente a cada dezena ou vintena de pixels. Conseqüentemente, a correspondência dos elementos homólogos pode ser limitada às linhas nodais (linhas epipolares), o que significa que o processo de busca destes elementos é reduzido a uma só dimensão. De acordo com Kölbl (1997), outras condições geométricas podem ser utilizadas para a correlação dos pixels, destacando-se a determinação de operadores, como os de Movarec, Dreschler e Förstener.

O grande impacto da geração automática do MDT é sentido na produtividade, que tem sido expressa em termos de aumento do número de pontos medidos e coletados por segundo. Atualmente, o sistema fotogramétrico, citado acima, pode medir cerca de 19.000 a 25.000 pontos por segundo, dependendo do espaçamento entre os pontos e do nível de precisão requerido.

A qualidade do MDT gerado automaticamente, em alguns casos, supera o padrão de precisão dos processos manuais. Para os casos de áreas de alta densidade urbana, com corpos d’água e vegetação densa, o processo automático não é ainda eficiente. Após o processamento automático, edições interativas semi-automáticas ou manuais são, ainda, exigidas.

No MDT, o processo de extração de feições trata da coleta das feições características do terreno, tais como:

- a. Linhas de talwegues (representam fundo de vales);
- b. Linhas de mudança brusca de declividade (breaklines);
- c. Pontos de altitudes culminantes e pontos de depressões;
- d. Áreas planas, que representam lagos, rios, represas, ruas ou outros elementos construtivos, e
- e. Áreas mortas (denominação dada àquelas de difícil representação, como áreas urbanas densas e florestas fechadas).

Todas as feições específicas do terreno podem ser coletadas anteriormente, interativamente (durante) e após o processo de geração do MDT. Quando estas

feições forem coletadas separadamente, seja anterior ou posteriormente à geração do MDT, elas podem ser combinadas ao MDT gerado. Esta operação trata de juntar os dados num único arquivo e reajustar os pontos de acordo com as feições manualmente coletadas. Este tipo de procedimento viabiliza maior exatidão ao produto.

2.7.2 Geração de Ortofotos

Como foi visto anteriormente, a ortofoto digital pode ser usada como mapa e pode ser considerada como um nível de informação de base de dados espacial (como é ilustrado na Figura 2.29). A grande vantagem deste produto reside na facilidade e na rapidez de produção e, por conseguinte, na diminuição do custo.

(a) ortofoto com o sistema viário geocodificado, utilizada para sistemas de navegação de veículos. (b) ortofoto utilizada para mapeamento turístico.

Figura 2.29: Exemplos de uso da ortofoto digital

Para o demandante deste tipo de produto, os maiores benefícios são: o acesso rápido aos dados, a disponibilidade em pouco tempo, com menor custo, e a possibilidade de vários usos.

Para produzir uma ortofoto digital, é necessário realizar todos os processos anteriores, para, em seguida, retificar as imagens diferencialmente, processando-se cada pixel da imagem por meio das equações de retificação espacial. Portanto, para o cálculo de geração da ortofoto, são utilizados os arquivos que contêm as informações das orientações (foto-coordenadas conjugadas dos pontos-de-controle e parâmetros de orientação da câmera) e os arquivos dos MDTs correspondentes. A geração das ortofotos utiliza algoritmos de retificação, tais como: o vizinho mais próximo,

interpolação "bilinear", "splines" cúbicas e o polinômio de Lagrange. Detalhes destes algoritmos são discutidos por Andrade (1998) e Kraus (1993).

O processo de produção das ortofotos, numa estação fotogramétrica digital, é bastante funcional e rápido, com poucos segundos por megabyte. Alguns sistemas fotogramétricos, como o SOCET SET (da Leica Geosystems) e o SSK (da Z/I Imaging), podem gerar ortofotos "verdadeiras". O efeito de inclinação de edifícios ou de outros objetos é removido pelo sistema. A Figura 2.30 ilustra a diferença entre uma ortofoto normal e uma "ortofoto verdadeira".

Figura 2.30: Comparação de Ortofoto vs. Ortofoto Verdadeira.

Adaptada de Eastern Topographics (2002)

2.7.3 Restituição

Após o processo de orientação das imagens, "todos os objetos visualizados no par de imagens estereoscópicas são representados em suas posições planimétricas e altimétricas exatas, de forma que possam ser restituídos" – Kölbl (2000).

A restituição é o processo que permite a coleta de dados (feições geográficas) em estéreo-modelos. Os dados a serem adquiridos devem obedecer a um conjunto de procedimentos (com padrões de representação), a um modelo conceitual e à precisão desejada.

A vantagem da restituição digital é a possibilidade de visualizar as feições cartográficas sobre o estéreo-modelo, além da interface direta com sistemas CADs ou SIGs, permitindo agilizar a coleta das feições cartográficas. Os sistemas fotogramétricos armazenam a posição e a forma dos dados das feições em

coordenadas tridimensionais do espaço-objeto. Quando uma feição, visualizada estereoscopicamente, for delineada com o auxílio de um mouse ou de um trackball (Z), a feição é traçada no estéreo-modelo (sobre a imagem). As feições, neste caso, são categorizadas, basicamente, em seis tipos de geometria: pontos, textos, linhas, polígonos, multi-linhas e poliedros. Atribuindo códigos e atributos a estes elementos, podem ser representadas antenas, reservatórios d'água (com pontos), nome de ruas e praças (com textos), utilitários e córregos (com linhas), lagos e limites de lotes (com polígonos), estradas principais e rios (com multi-linhas) e edificações (com poliedros). As feições poliédricas podem ter mais de um polígono e, cada polígono pode ter o seu próprio atributo. As feições poligonais não permitem mais do que um atributo. O mesmo acontece com as feições multi-lineares e lineares.

O processo de restituição requer o uso de normas ou especificações técnicas que estabeleçam a representação dos acidentes naturais e artificiais (feições), destinados à confecção de cartas, mapas e bancos de dados espaciais.

Segundo Sá (2001), o uso do modelo de dados conceitual no processo de restituição permite a otimização da restituição, de forma que a representação do conjunto dos objetos do mundo real seja adequada à aplicação.

Após a obtenção de um modelo de dados bem definido, ou seja, íntegro e consistente com a realidade de interesse, o passo seguinte será, efetivamente, a coleta dos dados a partir do modelo estereoscópico. Na etapa de coleta, exige-se, do operador, acuidade visual excepcional e boa percepção, para dar seguimento à coleta de informação das imagens. Neste caso, todos os elementos de interesse da imagem deverão ser interpretados, medidos e restituídos corretamente, de acordo com a cena real.

Após a fase de modelagem, são definidos os padrões de representação dos objetos, tais como símbolos, espessuras dos traçados, cores, classes de representação, padrões de textos, etc. O planejamento e o desenvolvimento da estrutura dos dados são também importantes nesta fase.

O resultado da restituição, para o uso num SIG de base de dados relacional, deve apresentar níveis separados de informações ou de classes temáticas, podendo ser, por exemplo, transportes, hidrografia, hipsografia (referentes a dados altimétricos), culturas agrícolas, cobertura vegetal e infra-estruturas (serviços públicos).

Esta etapa de trabalho implica na definição e na composição dos atributos gráficos e descritivos das feições do terreno, que serão restituídos. Em geral, são adotadas, neste processo, "convenções cartográficas" pré-existentes. Em alguns

países, como a Suíça, Bélgica e França, as convenções cartográficas são regulamentadas. Isto facilita a padronização dos dados.

No Brasil, há alguns estados que adotaram padrões de convenção cartográfica. Por exemplo, no Estado do Paraná, todos os dados, provenientes da restituição digital em meio digital, deverão estar separados por níveis distintos, e possuir padrões de traços e símbolos, conforme a Recomendação Técnica CTCG-002/96 do Conselho Estadual de Informática e Informações – CEI: Padronização dos Níveis das Entidades e das Convenções Cartográficas.

Alguns organismos adotam normas que definem, preliminarmente, um modelo de dados conceitual com a estrutura dos dados a serem restituídos, como é o caso da Diretoria do Serviço Geográfico – DSG, do Exército Brasileiro, da Direction Fédérale des Mesurations Cadastrales, do Office Fédéral de la Mensuration Officielle da Suíça, e do German Institute for Standardisation – DIN, da Alemanha.

Apesar dos esforços de inúmeros centros de pesquisas para a automatização da extração de feições, esta técnica continua sendo tradicionalmente manual, apesar de incluir algumas operações semi-automáticas, como é o caso da coleta de tridimensionais volumétricas. O operador pode contornar, de forma aproximada e com a marca flutuante, uma edificação no estéreo-modelo e o sistema é encarregado de registrar e ajustar cada vértice da edificação, construindo o poliedro tridimensional.

2.7.4 Restituição Digital com Sistemas CAD

Geralmente, os sistemas fotogramétricos digitais trabalham em conexão on-line com um programa CAD. O Microstation é o líder neste mercado. A opção de conexão on-line é, normalmente, um programa modular. Por exemplo, o pacote de software PRO600, da Leica Geosystems, para a restituição é constituído de funções específicas de desenho cartográfico, que são disponíveis dentro do ambiente genérico Microstation. O CADMAP, da Z/I Imaging, Feature Extraction, da Leica Geosystems, e Vectorization, da DVP GS, são softwares similares ao PRO600, específicos para restituição.

Esta conexão on-line entre o sistema fotogramétrico digital e o CAD ou SIG permite que a marca flutuante do sistema fotogramétrico seja manipulada no modelo (imagem) e no CAD num mesmo instante e, principalmente, que seja possível a visualização das feições restituídas no CAD e no modelo. Esta última condição “a superposição gráfica dos elementos sobre o modelo estereoscópico digital”, é uma das

mais vantajosas no processo de restituição fotogramétrica digital. Dentre suas vantagens, destacam-se: a facilidade de localização e retorno na área de trabalho, a impossibilidade de erros de omissão e duplicidade dos elementos restituídos e a redução de erros de atributos gráficos.

As ferramentas do sistema CAD, no processo de restituição, auxiliam na edição de dados espaciais em caso de erros. A partir delas, o operador poderá conferir e editar os vértices das feições restituídas, visualizar os nós, para conferência de interseções, utilizar aproximações automáticas, para conexão com os vértices e arestas de polígonos, contabilizar as feições restituídas e modelar feições poliédricas. Contudo, estas não possuem ferramentas adequadas para a verificação da estrutura e consistência topológica dos dados. Como por exemplo, destacar polígonos ou poliedros menores que uma dada dimensão, verificar elementos compartilhados, etc.

A performance da restituição digital, através do Sistema CAD, pode ser avaliada através da análise de eficiência dessa ferramenta no fluxo de trabalho, isto é, a facilidade de coleta das feições com todos os seus atributos definidos (cor, tipo e espessura, classe, denominação, símbolos, etc.), considerando, ainda, a integridade, a consistência e a precisão dos dados, bem como o tempo de coleta. Por exemplo, quando uma rua for restituída a partir do estéreo-modelo, o operador deverá acionar uma única função para iniciar o traçado da rua, sem a necessidade de configurar o nível temático e os seus atributos.

2.7.5 Restituição Digital com Sistema Orientado a Objetos

A produção de um mapa com uma estação fotogramétrica digital integrada a uma base de dados espacial orientada a objetos têm-se apresentado como uma solução adequada para mapeamentos sistemáticos e cadastrais e, a produção de dados espaciais. Pacotes comerciais, como a combinação do sistema de mapeamento orientado a objetos GHOTIC LAMPS2, da Laser-Scan e a conexão em tempo real com SOCET SET, da Leica Geostystems, estão disponíveis no mercado.

O sistema fotogramétrico digital (DPW), associado a uma base de dados orientada a objetos (BDOO), permite uma integração entre a coleta de dados cartográficos e o SIG eliminado ou reduzindo ao mínimo os processos de edição e de validação (etapa usada para a validar ou re-estruturar a base de dados cartográfica, formato "espaguete" para a estrutura SIG). A Figura 2.31 apresenta (à direita) o fluxo

de dados dos procedimentos tradicionais, ressaltando a falta de integração no fluxo de trabalho, como a necessidade de exportar e importar os dados, redefinir os temas e os símbolos, construir a topologia e assim por diante. À esquerda, mostra o fluxo de dados de um sistema fotogramétrico combinado com um BDOO cujas regras e restrições topológicas e a representação cartográfica dos elementos do terreno a serem mapeados já foram anteriormente definidas e programadas no modelo de dados conceitual. A coleta de dados é feita integralmente a partir do modelo de dados conceitual. Esta modelagem pode ser realizada num sistema próprio de modelagem, como mostra o Anexo 2. Conforme descrito anteriormente, o operador de restituição não se preocupa com a atualização e complementação dos atributos das feições, pois estes devem estar definidos no modelo conceitual. Cabe ao operador clicar sobre o botão referente à feição cartográfica e traça-la sobre o modelo estereoscópico sem a necessidade de interceptar nós, fechar polígonos e outros. Os relacionamentos topológico e geométrico dos objetos são, automaticamente, modificados ou proibidos (por exemplo, em caso de infração de regras de duplicidade de elementos) de acordo com as regras definidas no modelo conceitual.

Figura 2.31: Fluxo de dados DPW relacional versus Fluxo de dados DPW orientado ao objeto

Os principais benefícios da restituição fotogramétrica integrada a um sistema de mapeamento orientado ao objeto são:

- a. Eliminação ou redução da etapa de validação, isto ocorrerá quando o modelo de dados representar todos os comportamentos do mundo real, necessários às aplicações exigidas, e quando todas as regras, relacionadas a esses objetivos, forem implantadas;
- b. As análises espaciais podem ser realizadas durante a restituição;
- c. A manutenção otimizada dos dados pode ser obtida, pois os métodos de validação são implementados na própria base de dados orientada a objetos, impedindo que dados inválidos sejam coletados e, em caso da ocorrência de coleta inadequada, o próprio sistema pode retificar, de modo imediato, o erro do operador. Esta condição é possível desde que a ocorrência do fato esteja prevista e conceituada no modelo de dados;
- d. A atualização automática dos atributos dos dados é possível;
- e. O acesso de múltiplos usuários é permitido. Isto significa que um conjunto de dados pode ser manipulado por vários usuários ao mesmo tempo. O sistema não permite que os usuários manipulem o mesmo objeto ou a mesma classe, mas pode permitir que eles interajam entre si;
- f. A redução de tempo de trabalho, devido ao grande número de tarefas automatizadas, e
- g. Um considerável aumento na consistência e integridade dos dados é possível.

3 QUALIDADE DOS PROCESSOS FOTOGRAMÉTRICOS

Este capítulo trata dos principais fatores que podem afetar a qualidade dos processos fotogramétricos e, conseqüentemente, do seu produto. Para monitorar estes fatores, foram pesquisadas especificações técnicas e normas vigentes de vários países, as quais tratam de amenizar os erros e as condições que possam interferir na qualidade final do produto aerofotogramétrico adequado ao cliente. O capítulo é estruturado de acordo com a seqüência dos processos fotogramétricos, introduzidos no capítulo anterior.

3.1. Qualidade na Obtenção de Imagens

Para Eidenben (1994), a intenção primordial da Fotogrametria é a de obter ótimas tomadas de voo e, para isso, são necessárias qualidades geométrica e radiométrica.

A qualidade da imagem, seja ela geométrica ou radiométrica, está vinculada à precisão cartográfica e isto significa que, quando forem exigidas altas precisões cartográficas, o projeto aerofotogramétrico deverá garantir a ótima qualidade da imagem, sendo ela fotográfica ou digital. Os aspectos mais importantes para esta garantia são:

- a. Voo em condições favoráveis;
- b. Câmeras calibradas e com boa resolução ótica;
- c. Uso de filtros adequados no momento da exposição do filme;
- d. Filmes adequados, com especial atenção à sensibilidade e à resolução deste. Deve-se, também, atentar para seu correto manuseio. Isto inclui, o processamento do filme de acordo com as especificações do fabricante, o

uso de uma química adequada, destacando-se os cuidados com a limpeza, e, por fim, os controles de contraste e nitidez das imagens, e

- e. Processo de numerização apropriado, em caso de uso de câmeras não digitais.

A Figura 3.1a apresenta um exemplo de imagem obtida em condições desfavoráveis de vôo e sem filtros adequados. A imagem apresenta excesso de cor amarela, bruma, apesar do vôo ser na escala 1:8.000, e efeito "hot-spot" (pequenas regiões com brilho excessivo). A Figura 3.1.b já apresenta um exemplo de uma imagem obtida em condições favoráveis de vôo, com câmera e filtros adequados. A imagem é nítida e bem contrastada. Esta imagem pode ser considerada como padrão de qualidade no processo de obtenção das imagens.

O aspecto da imagem, sem o uso de filtros adequados e apresentando o efeito de "hot-spot", na Figura 3.1.a, implica em dificuldades e incertezas no processo de medição de pontos sobre as imagens, que acabam por se estender às orientações, ao traçado e à interpretação das feições. A aceitação de imagens com essas características dificilmente resultará em boas ortofotos.

Figura 3.1: (a) Fotografia com escala aproximada 1: 8.000, Curitiba-PR.
(b) Fotografia 1:10.000. Nova Escócia – Canadá

Fonte: <http://www.nsgc.gov.ns.ca>

3.1.1. Qualidade na Cobertura Aerofotogramétrica

O sucesso do processo de cobertura aerofotogramétrica pode ser notado na elaboração do foto-índice. Nesta etapa de trabalho, pode-se verificar a deriva, a superposição das fotos, o sentido de cada faixa e as qualidades geométrica e radiométrica das imagens.

Para o controle de qualidade deste processo, as especificações técnicas americanas modernas exigem:

- a. Diagrama apresentando a superposição das fotos e das faixas do vôo e o sentido de cada faixa;
- b. Cópia, em meio digital, do projeto da missão fotográfica, com todos os dados do planejamento de vôo, e
- c. Altímetro e informações de bordo registradas e bem visíveis no filme e nas cópias por contato. Com estes dados, são verificadas as variações da altura de vôo de acordo com o planejamento.

Esse limite de variação de altura do vôo deve ser “inferior a 5% em relação à escala planejada e preestabelecida”. Contudo, a especificação de Massachusetts, publicada em 1982 pela Commonwealth of Massachusetts, destaca que este limite varia em função da média das alturas do terreno, tornando a especificação mais coerente. Contudo, devem ser mantidos os limites de 5% para a variação da altura de vôo.

Nas especificações técnicas e nas normas suíças (em aprovação), são exigidas as seguintes características para o controle de qualidade da cobertura aérea:

- a. Relatório do vôo, contendo as informações de linha de vôo;
- b. Mínimo recobrimento longitudinal e lateral e eventuais intervalos;
- c. Intervalos devido à cobertura de nuvens, névoa e outros fatores que afetam a qualidade de imagem;
- d. Controle da densidade das fotografias aéreas;

- e. Visibilidade dos pontos pré-sinalizados, se disponíveis;
- f. Relatório técnico geral, incluindo a ocorrência de problemas e soluções estabelecidas para atender as especificações solicitadas de cobertura aérea;
- g. Relatório técnico, em caso de voo apoiado, informando a distribuição definitiva dos pontos-de-controle e as ocorrências e explicações do desvio-padrão em relação ao plano inicial do voo; também deve apresentar a análise dos números médios e máximos de base de modelos longitudinais entre os pontos-de-controle, bem como o número de pontos-de-controle altimétricos entre as transversais, e
- h. Conferência dos recobrimentos lateral e longitudinal sobre os pares de imagens.

3.1.2. Qualidade do Material Fotográfico

A qualidade do material fotográfico ainda é fundamental para projetos de mapeamentos executados com câmeras aéreas convencionais, como foi visto no capítulo anterior. No Brasil, o controle de qualidade do material fotográfico é, normalmente, realizado a partir da montagem das cópias fotográficas ou dos diapositivos sobre uma mesa. Contudo, para grandes quantidades de imagens, este tipo de monitoramento é incomodo e de difícil avaliação.

Nas normas da ASPRS, *ASPRS Draft Aerial Photography Standard*, a importância do filme é destacada juntamente com a qualidade da imagem. Nesta norma, são destacadas características do filme, como: validade, sensibilidade, densidade, estocagem, processamento, qualidade métrica, qualidade radiométrica e qualidade de entrega das imagens.

Sobre a qualidade métrica do filme e a qualidade do filme processado, a norma da ASPRS exige imagens nítidas, claras e igualmente expostas, "estando elas livres de nuvens, sombras, fumaça, névoa, arranhões, sujeiras e quaisquer defeitos que interfiram nos propósitos de mapeamento". São tolerados sombras inevitáveis e reflexos de corpos d'água. A seguir, são transcritos os principais itens retirados das normas editadas pela ASPRS (1995).

- a. O filme deve ser processado com controle sensitométrico, usando o sistema de monitoramento recomendado pelo fabricante. Antes do processamento do filme, deverá ser exposta, em uma das extremidades do rolo do filme, uma escala sensitométrica de 21 níveis de cinza (com incremento de densidade nominal de 0,15), tornando-se parte permanente do mesmo;
- b. Os filmes, depois de utilizados, deverão ser armazenados por inteiro (sem cortes), incluindo as exposições rejeitadas, em ambiente com temperatura e umidade controladas, segundo as recomendações do fabricante;
- c. O filme revelado deverá estar livre de quaisquer tipos de marcas químicas ou outras, como arranhões, fiapos, sujeira, listras luminosas, ou outro defeito que possa interferir na qualidade da imagem;
- d. As cópias fotográficas deverão ser executadas em copiadoras eletrônicas, respeitando-se as especificações do fabricante, "utilizando papel fotográfico resinado, semi-mate e de graduação tal que se obtenha um bom contraste;
- e. Para os casos de dúvidas sobre a nitidez (resolução) das cópias obtidas, são exigidos métodos de comparação de linhas ou bordas bem definidas nas imagens com os negativos, para a conferência da resolução. No caso de imagens claramente degradadas, o negativo original será rejeitado.

O controle de qualidade da imagem, exigido da norma americana supracitada, referencia a execução de medições de densidades realizadas no negativo revelado. Exigem-se densidades para filmes em preto-e-branco, de acordo com as variáveis mostradas a seguir:

- a. Máxima base + fog: $0,20 \pm 0,10$;
- b. D mínima: $0,14 \pm 0,10$;
- c. D máximo: 1,50.

A base + fog é medida entre as bordas do quadro do negativo e deve concordar com as densidades preditas pelo fabricante. A densidade mínima utilizável não deverá ser menor que 0,30 e, a máxima, maior que 1,50 após subtrair a densidade base + fog. O intervalo de

densidades médias dos pontos medidos deverá ser de 1,0 e a mínima não inferior a 0,55 (ASPRS, 1995).

Os procedimentos de laboratório em equipamentos automatizados, segundo a ASPRS, reduzem os problemas de discrepâncias de tonalidade, nitidez e contraste das imagens. Com as processadoras de filme, os parâmetros (como intervalos de exposição, de temperatura, de lavagem, de secagem e de fixação) são preestabelecidos e padronizados. Contudo, é preciso conferir se esses parâmetros estão configurados de acordo com as especificações do fabricante e adequados às exigências de qualidade da imagem a ser mapeada.

No Brasil, as especificações técnicas quanto ao filme não são enfáticas. Conforme descrito em Silva e Dalmolin (2000), nem sempre, as especificações são apropriadas. As condições de laboratório, o poder resolutivo do filme, a densidade do negativo, etc., muitas vezes, não são apropriados às finalidades desejadas ou, nem sempre, é possível medir e controlar as exigências estabelecidas.

Na Suíça, a escolha do filme fica a cargo da empresa responsável pela cobertura aerofotogramétrica. Os critérios de seleção compreendem:

- a. A estabilidade dimensional;
- b. O uso de filmes de mesmo fabricante, especialmente, para projetos com imagens coloridas ou em casos particulares, cujos vôos são efetuados em diferentes períodos;
- c. O uso de filmes em preto-e-branco em projetos com exigências geométricas elevadas;
- d. O uso de escala de cores expostas no início do filme colorido ou uma escala de cinza para filmes em preto-e-branco, com o objetivo de controlar os valores de densidade do mesmo e de outros possíveis elementos para projetos com exigências de qualidade mais elevadas.
- e. O processamento do filme, com as exigências a serem satisfeitas (em termos de laboratórios especializados, ausência de objetos estranhos nos negativos originais ou nos diapositivos, etc).

Para o controle de qualidade das imagens, as normas suíças recomendam a fiscalização através do exame visual qualitativo sobre uma mesa de luz, com

dispositivos de ampliação (lupas ou outros). A finalidade é detectar a presença de riscos, manchas e outros elementos.

Nestas normas, também são descritas as exigências quanto ao local de armazenagem do filme processado. Este local deve estar limpo, ter temperatura ambiente entre 10 e 21 graus Celsius e umidade relativa do ar controlada, entre 30 e 50%. Os valores da temperatura e da umidade relativa do ar são, normalmente, recomendados pelo fabricante do filme.

Para os canadenses da província de British Columbia, exige-se que todos os equipamentos do laboratório estejam limpos, regularmente revisados e calibrados. Cópias mais recentes dos relatórios de calibração também devem ser exigidas para a garantia da manutenção dos equipamentos. Uma atenção especial deve ser dada à nitidez das marcas fiduciais e dos relógios de navegação. Para o caso da não conformidade, a British Columbia penaliza com multas, que variam de 25 a 100 dólares americanos, por quadro deteriorado de filme.

3.1.3. Qualidade do Material Impresso

As normas da ASPRS (1995) exigem que as cópias fotográficas sejam cortadas conforme definido pelo usuário. Quando cortadas, deve-se sempre deixar as marcas fiduciais, dados GPS e outros gravados nas bordas de cada imagem. As cópias com falta de nitidez e omissão destas informações devem ser rejeitadas.

As cópias e os diapositivos devem concordar na superposição das imagens correspondentes ao longo da faixa de vôo. As cópias, de cada faixa de vôo adjacente, devem se sobrepor na mesma direção.

3.1.4. Qualidade dos Equipamentos Aerofotogramétricos

Equipamentos antigos são, muitas vezes, não são muito eficientes para a tecnologia digital e, por vezes se tornam improdutivos no esforço do cumprimento às exigências de qualidade e materiais atuais. Por exemplo, as câmeras de 20 anos atrás podem não suportar as novas resoluções e sensibilidades dos novos filmes, como é visto no Anexo 3.

A redução do tempo de produção é um parâmetro importante de qualidade na modernidade. Este parâmetro é um dos principais medidores da qualidade do processo em muitas áreas da produção. Neste caso, os executores dos projetos aerofotogramétricos devem avaliar freqüentemente os custos e benefícios dos novos lançamentos de equipamentos do mercado. Este tipo de comportamento é encontrado em empresas européias e americanas, que buscam, com freqüência, novas soluções de produção.

O conceito de qualidade independe dos novos equipamentos. Entretanto, é extremamente dependente de procedimentos e de processos ótimos. Para conseguir isso, é preciso manter, em perfeito estado, equipamentos e instrumentos usados no processo produtivo e, sempre que possível, renová-los. Alguns procedimentos fundamentais, referentes à manutenção e a novas opções de equipamentos, são descritos nos subitens a seguir.

3.1.4.1. Calibração da Câmera

A calibração da câmera fornece parâmetros para minimizar os efeitos e erros devidos às distorções das lentes, bem como à planicidade do filme, minimizando os erros nos processos de orientações e aerotriangulações. Em casos de grandes distorções das lentes, uma linha reta (no terreno) aparece curva (na imagem).

Conforme as normas da ASPRS (1995), a câmera aerofotogramétrica deve ser calibrada, testada e certificada pelo fabricante ou por um centro de calibração reconhecido internacionalmente ou, no mínimo, especializado. O certificado deve comprovar que a câmera foi calibrada dentro de um período não maior que 3 anos, e dentro do período de validade de execução do projeto. Este certificado de calibração deverá fornecer:

- a. Nome e endereço das instalações da entidade responsável;
- b. Data de calibração;
- c. Número de série da lente;
- d. Distância focal calibrada (distância principal);
- e. Distorção radial (em micrometros);

- f. Distâncias entre as marcas fiduciais, em lados ou diagonais, ou suas coordenadas retangulares;
- g. Posição do ponto principal de autocolimação ou do ponto de melhor simetria ao centro fiducial;
- h. Resolução radial e tangencial das lentes, emitidas pelo fabricante ou após o reajuste ótico da unidade da lente;
- i. Coordenadas do "reseau", se for o caso, medidas num sistema de coordenadas retangulares, e
- j. Medidas de distorções da lente dentro do limite, definido pelo fabricante da lente. Por exemplo, a câmera RC30, da Leica, define que as distorções das lentes são de $3\mu\text{m}$. Portanto, a distorção da lente não deve ser maior que este valor.

A câmera deverá ser recalibrada se houver indícios de que as relações dimensionais das lentes, marcas fiduciais e o plano do filme sofreram algum distúrbio por desmontagem parcial ou por choque mecânico acidental.

Quanto à geometria da ótica, os autores, comentam que poucas especificações em uso fornecem as tolerâncias permitidas. Segundo suas pesquisas, o PP (ponto principal), o PBS (ponto de melhor simetria) e o CF (centro fiducial) devem estar dentro de um círculo de raio $20\mu\text{m}$, e a distorção radial máxima permitida é de $15\mu\text{m}$ a uma distância de 100mm do PP.

Para a USGS (2002), as exigências óticas variam de acordo com a distância focal da câmera, como é mostrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Tolerâncias da USGS para as distorções de lentes.

Distância Focal	88 mm	153 mm	210 mm	305 mm
Tolerâncias da Distorção Radial	$\pm 15\mu\text{m}$	$\pm 10\mu\text{m}$	$\pm 20\mu\text{m}$	$\pm 20\mu\text{m}$
O CF deve estar dentro do círculo de raio de $30\mu\text{m}$ do PPA (ponto principal de autocolimação)				
O PPS (ponto principal de simetria ou calibrado) deve estar dentro do círculo de raio de $15\mu\text{m}$ do PPA para a distância focal de 153mm e de $30\mu\text{m}$ para outras focais.				

Nas especificações técnicas nacionais, o número mínimo de marcas fiduciais é quatro. As câmeras aéreas mais novas possuem oito marcas, um número expressivo, que pode melhorar a eficiência nos processos de orientações das imagens.

O USGS (2003), em suas especificações de câmera área em 2003, exige oito marcas fiduciais. As marcas fiduciais dos cantos devem formar um quadrilátero com lados iguais e dentro de uma margem de erro de 0,50mm. As marcas fiduciais do meio devem ser equidistantes às marcas fiduciais dos cantos adjacentes, e devem estar dentro de uma margem de erro de $\pm 0,50$ mm. Todas as marcas fiduciais devem estar bem claras e definidas no filme aéreo, seja na forma ou no contraste, de modo que o desvio-padrão das leituras das coordenadas das fiduciais, feitas num comparador de precisão, não exceda 0,02mm.

3.1.4.2. Mecanismos de Compensação da Câmera

O movimento da câmera, durante o intervalo da exposição, afeta sensivelmente a resolução geométrica e o contraste da imagem. O efeito de arrastamento da imagem, como exposto no capítulo anterior, é derivado desse movimento de câmera.

O arrastamento da imagem é mínimo e não afeta significativamente a qualidade da imagem quando for menor que 20 μ m de comprimento. Em escalas maiores, os cuidados com o arrastamento devem ser dobrados. Exigem-se condições favoráveis de iluminação, velocidade adequada da aeronave, resolução e sensibilidade do filme, e tempo de exposição adequado (por exemplo, 1/440 ou 1/500s) (BURNSIDE, 1985; e KRAUS, 1987).

Para evitar que os efeitos de vibração da aeronave afetem a qualidade da imagem, as normas da ASPRS exigem a adoção de dispositivos para a câmera aérea, de forma a atenuar essas vibrações. Isto significa o uso de dispositivos FMC (para a compensação do movimento do avanço do filme – este mecanismo controla, eletronicamente, o deslocamento da pressão da chapa e do filme) e do mecanismo giro-estabilizador.

O movimento do avanço da imagem é dado através da Equação 3.1, sendo a velocidade $v' = c \cdot \frac{v}{h}$ durante a exposição.

$$u = v \cdot t \cdot \frac{c}{h} = \frac{v \cdot t}{m_b} \quad (3.1)$$

Onde,

u = arrasto da imagem,

v = velocidade da aeronave,

c = distância focal,

h = altura da aeronave,

t = tempo de exposição,

m_b = escala da foto.

A compensação de movimento elimina ou reduz o efeito “borrado” da imagem, mas não elimina os efeitos das três rotações da aeronave, das diferenças de altitude do solo e das variações de velocidade do voo. Para isto, são usados mecanismos de compensação dos movimentos angular e longitudinal da aeronave e plataformas giro-estabilizadoras, projetadas com a finalidade de minimizar os efeitos de turbulência e de provável desnivelamento da aeronave. Com a estabilização da câmera, é possível melhorar o alinhamento vertical da mesma, de modo a obter, mais facilmente, vãos verticais, melhorando, inclusive, a qualidade geométrica do processo. Deste modo, o atendimento às especificações técnicas, que dizem respeito à deriva, à inclinação, e à qualidade da imagem, poderá ser facilitado com o efetivo uso destes mecanismos. A Figura 3.1 apresenta dois dos mecanismos mais utilizados no mercado.

Outros dispositivos de controle de câmeras, que ajudam na obtenção de imagens com qualidade, são, por exemplo:

- Os intervalômetros – são dispositivos que controlam e ativam, automaticamente, o ciclo de intervalo e o funcionamento dos diafragmas. Atualmente, estes dispositivos fazem parte integrada da unidade da câmera e se apresentam conectados a um GPS;

- O dispositivo “viewfinder” – com ele, pode-se visualizar o terreno de acordo com a cobertura de cada foto;
- O controlador de exposição – responsável pela medição de claridade do terreno.

Figura 3.2: Plataformas giro-estabilizadoras – modelos: (a) T-AS, da Z/I imaging; e (b).PAV30, da Leica Geosystems

3.1.4.3. Sistemas de Navegação GPS e Inerciais

Como visto no item 2.5.4, é possível obter os parâmetros da orientação exterior de forma direta e com uma precisão razoável. As normas estudadas não têm exigido o uso de voo apoiado por GPS, porém descrevem o número de pontos-de-controle requeridos quando de sua utilização (este assunto será discutido no item 3.4.3).

3.2. Qualidade da Imagem Digital

O aspecto mais importante para preservar a qualidade da imagem, após o processamento do filme, é o controle de qualidade no processo de numerização da imagem. Assim, deve-se tratar de conhecer as principais fontes de erros dos scanners fotogramétricos, aqui divididas em dois grandes grupos:

- Geometria, posição e resolução – os erros de ordem geométrica causam distorções na imagem, como, por exemplo, erros de escala ao longo de uma direção, que resultam em pixels de dimensões irregulares, ao invés de quadrados regulares.

- Representação radiométrica – os problemas de ordem radiométrica podem deturpar as cores da imagem. Por exemplo, o azul com uma baixa sensibilidade em relação ao verde e vermelho.

Segundo Baltavias (2000), no processo de numerização das imagens, os erros mais freqüentes são:

- a. Variação de iluminação nas imagens;
- b. Anéis de Newton;
- c. Sujeiras eletrônica ou real, como arranhões, fiapos, fios de cabelo, manchas pontuais (similares aos anéis de Newton), etc.;
- d. Ruídos eletrônicos, como ruídos térmicos, faixas verticais, sujeiras, atraso de sinal, entrelaçamento de ruídos, etc.;
- e. Diferenças radiométricas das porções ou de faixas da imagem;
- f. Saturação devido à pequena variação dinâmica (pode ser causado pela configuração errada da variação de densidade);
- g. Erros oriundos de erros de calibração;
- h. Vinhete devido à ótica do sistema, e
- i. Resposta espectral inadequada, concentrada na banda azul.

Pesquisas que tratam detalhadamente as fontes de erros e suas características são vistas nos trabalhos de Baltavias (1994 e 2000), Baltavias e Waegli (1996), Kölbl (1994) e em Kölbl e Bach (1996).

3.2.1. Precisão e Resolução Geométrica da Imagem Digital

A precisão geométrica da imagem digital pode ser analisada a partir de testes com gabaritos com grade de espaçamento conhecido. Este gabarito pode ser usado na análise de scanner e mesmo do filme.

Na imagem digital, uma das características da resolução geométrica é a dimensão do pixel, cuja unidade é em micrômetros. A qualidade da resolução geométrica da

imagem pode ser tomada pelo menor elemento identificável na imagem. Conseqüentemente, quanto menor o tamanho do pixel da imagem, melhor é sua resolução geométrica (vide Figura 3.3).

Figura 3.3: Diferentes resoluções geométricas indicadas no terreno

Mesmo atualmente, ainda restam no Brasil dúvidas sobre o padrão de resolução a ser adotado. Difundiu-se a resolução de 20 a 28 μ m devido à comodidade do tamanho do arquivo das imagens. A decisão do melhor tamanho do pixel no projeto é distinta. Algumas considerações, que podem auxiliar na escolha da resolução da imagem, podem ser:

- Precisão necessária – a exatidão geométrica, na medição fotogramétrica digital, equivale a 1/10 a 1/3 de pixel (RMS). Por exemplo, para obter uma precisão geométrica de 5 μ m na aerotriangulação, supondo-se uma precisão de 1/3 do pixel na medição através da correlação automática, a numerização deverá ser de, no mínimo, 15 μ m. (Mayfield, 2002).
- Performance do dispositivo de visualização – uma imagem de alta resolução deve ser visualizada em telas de monitores com resoluções similares (que correspondam à mesma da imagem, ou a uma mais próxima).

Para testar o nível de significância da resolução geométrica no projeto de aerofotogrametria, a OEEPE obteve a proporção dos erros de coleta de feições de áreas e de linhas na mudança de três resoluções, a saber: 50, 25 e 12,5 μ m. Esta pesquisa envolveu oito agências de mapeamento que restituiram a mesma área-piloto. Em cada agência, um único operador foi designado para executar esta restituição. A análise dos resultados foi realizada através da comparação entre dois pares de variáveis. O primeiro par se reportou à comparação entre as restituições

realizadas com fotografias digitalizadas com 50 e 25 μ m de resolução. O outro par, ao uso e testes de imagens com resoluções de 25 e 12,5 μ m. No primeiro par de resoluções (50 e 25 μ m), os erros de feições de áreas foram diminuídos em, até, 67% quando a resolução foi aumentada de 50 para 25 μ m. Para o caso das feições lineares, os erros foram reduzidos em 61%. A redução total dos erros (feições de áreas + feições lineares) chegou a 65%. No segundo par (25 e 12,5 μ m), houve redução de erros nas feições de áreas de 57%, e de 60% nas lineares (Kirby, 1999).

O Instituto de Cartografia da Catalunya (ICC) realizou testes práticos, apresentadas por Colomer (1993), usando resolução geométrica de 7,5 e 15 μ m e constatou que as imagens numerizadas com 15 μ m não apresentaram resultados suficientemente adequados no mapeamento topográfico na escala 1:5.000. Para a resolução 7,5 μ m, houve maior aceitabilidade, mesmo para áreas urbanas, consideradas mais complexas. Os testes, com fins comparativos, usando os mapas compilados com as diferentes resoluções e suas superposições, mostraram diferenças mínimas de precisões em áreas abertas. Porém, em áreas de maior densidade urbana, as diferenças foram notáveis no desenho das edificações. Contudo, ambas as resoluções geométricas (de 7,5 e 15 μ m) atendem à exigência de exatidão geométrica (de 0,2mm na escala da carta).

A resolução de numerização é, portanto, uma decisão que dependerá da exigência de precisão. A Tabela 3.2 apresenta alguns exemplos dos valores de resolução da imagem, encontrados nas especificações e normas da Bélgica, Canadá, Suíça, Inglaterra, Espanha e Estados Unidos.

Tabela 3.2: Resolução Geométrica adotada por alguns países

País	Organismo de Mapeamento	Escala da Foto	Resolução da Imagem
Bélgica	Institut Géographique Nacional - Belgique (IGN-B)	1: 21.000	Restituição: 15 μ m Ortofotos: 22 μ m
Canadá	Base Mapping and Geomatic Service Branch (BMGSB) British Columbia	1:20.000 1:5.000	(P/B): 14 μ m (C): 21 μ m
Suíça	Office Fédéral de Topographie	Todas	14 μ m
Inglaterra	Ordnance Survey	10.000	Ortofotos: 21 μ m
Estados Unidos	Oakland County Department of Information Technology	1:31.600	Ortofotos: 15 μ m
Espanha	Instituto Cartográfico de Cataluña, ICC	1:22.000	Ortofotos: 15 μ m Restituição: 7.5 μ m

As especificações americanas, suíças e canadenses exigem uma resolução geométrica menor que 15 μ m para imagens em preto-e-branco (BMGSB, 2002). Contudo, Kölbl e Bach (1996) recomendam o uso de resoluções geométricas de 10 μ m para imagens pancromáticas e, de 15 a 20 μ m para imagens coloridas, principalmente, quando são usados filmes com resoluções de 60 pl/mm.

3.2.2. Controle de Qualidade do Processo de Numerização Suíço

Segundo o Guia de Garantia de Qualidade da Fotogrametria e da Geração do MDT Suíço, para a garantia da qualidade no processo de numerização da imagem, primeiramente, é preciso condicionar a execução do projeto com as seguintes premissas:

- Características do scanner a ser utilizado – tipo e dados de precisão geométrica, bem como, a resolução geométrica e a radiométrica;
- Procedimentos para a gestão da qualidade – relatórios da calibração do scanner, ordenamento do trabalho e procedimentos documentados;
- Testes eventuais de numerização – exigências de testes de conformidade dos scanners, que podem ser realizados antes do início das operações de numerização e, em seguida, examinados e comparados após a numerização das imagens. O objetivo é verificar a inexistência de defeitos nos elementos CCD e de sujeiras no scanner e, também, conferir se a precisão geométrica do scanner atende às precisões geométrica e radiométrica (limite de níveis de cinza e contraste);
- Aprovação dos testes de numerização – submissão de amostras de imagens numerizadas à aprovação do contratante antes de se iniciar, efetivamente, este processo. Isto é feito através da seleção aleatória de imagens numerizadas, com diferentes parâmetros e regulagens de radiometria (cor e da tonalidade); e,
- Documentação – a entrega e/ou a definição do armazenamento dos dados digitais deve ser formalizada. Dentro desta ótica, devem ser definidos os arquivos de suporte, formatos de dados, mídia de entrega dos arquivos e forma de arquivamento.

3.2.3. Métodos de Monitoramento da Resolução Geométrica

O monitoramento da resolução da imagem é, geralmente, realizado por métodos de medição que possam quantificar o reconhecimento do menor objeto sobre a imagem. A Figura 3.4 mostra um exemplo do tipo de alvo padrão, o qual é formado por linhas brancas e pretas de mesma espessura, com dimensões que vão diminuindo. A medida da espessura da linha, para cada série, indica o número de linhas por milímetros. A resolução geométrica da imagem pode ser medida através da contagem do número dos pares de linhas por mm (pl/mm). Contudo, este critério de medição é subjetivo, pois depende do contraste do objeto.

Figura 3.4: Exemplo de alvos para testes de resolução de Imagens.

Segundo Kölbl (1987), um método mais eficiente para a medição da resolução é o monitoramento da reprodução de toda uma série de freqüências do objeto e a medição da redução de contraste em relação ao aumento da freqüência. Esta função de transferência de contraste é também conhecida como Função de Transferência de Modulação (FTM).

A FTM, segundo Williams (1998), é um dos meios eficientes para a avaliação da resolução geométrica da imagem ou de seus componentes de captura. A partir da FTM, pode-se medir um detalhe espacial através da freqüência e da forma como este detalhe é preservado na imagem. Cada grupo de linhas corresponde a um ciclo. Quanto mais alta a freqüência, maior o número de detalhes, maior o número de ciclos por unidade de distância (menos espaçadas as linhas se tornam). Esta função indica a perda de contraste através de uma ondulação senoidal, numa dada freqüência (linhas por milímetro). A FTM é obtida com auxílio de um alvo de barras, com intervalos decrescentes (freqüências) e a transformada de Fourier. A possibilidade de relacionar a FTM com a resolução do pixel é detalhada nos trabalhos de Jaakkola (1985), Kölbl(1996A), Kölbl e Hawawini (1986), Kölbl e Bach (1996) e Blitzkow (1973).

3.2.4. Monitoramento da Resolução Radiométrica

A qualidade radiométrica da imagem digital pode ser parametrizada através de análises do nível de ruído, linearidade, densidade (variação dinâmica), tonalidade e balanço de cores. A determinação destes parâmetros e suas análises são mostradas por Baltavias e Kaeser (1999), e Kölbl (1999).

Dos parâmetros, indicadores de qualidade da imagem, destacam-se, neste trabalho, as análises de densidade e tonalidade da imagem. Isto se deu graças à facilidade de seu monitoramento e, também, à sua popularidade nas especificações e normas internacionais.

3.2.4.1. Monitoramento da Variação da Densidade

A variação da densidade, já conceituada, pode ser medida através de uma "escala densitométrica", cuja variação dos tons de cinza foi medida com densitômetros, sendo, portanto, conhecida. Esta escala deve possuir 21 densidades, com um passo aproximado de 0,15D, cobrindo de 0,05 a 3,05D, como mostra a Figura 3.5. Nesta figura, é mostrada a escala de cinza utilizada nos testes experimentais de Baltavias et al (2000).

Figura 3.5: Escala de cinza da Kodak, variando a densidade de 0,05D a 3,05D, 21 níveis com intervalo de variação de 0.15D.

Com esta escala, podem-se detectar as regiões de cinza que não existem fisicamente e, desta forma, prevenir ou evitar a perda de dados na transferência de analógico para digital. A qualidade do contraste e da tonalidade da imagem pode ser monitorada a partir dos resultados das medidas das diferenças radiométricas, distinguíveis na escala de cinzas, principalmente, em faixas vizinhas.

Nas especificações canadenses, definidas pela província de British Columbia, esta escala é numerizada em cinco posições diferentes, conforme mostra a Figura 3.6.

Figura 3.6: Esquema de posicionamento da "escala densitométrica".

Fonte: BMCB,(2000)

3.2.4.2. Monitoramento da Tonalidade

O monitoramento dos tons de cores da imagem digital é, geralmente, feito com o gabarito de cores da Q60 Ektachrome, da Kodak, conforme ilustrado na Figura 3.7. Este gabarito tem sido uma ferramenta bastante utilizada por profissionais de designers, publicitários, profissionais de artes gráficas e por todos aqueles que usam operações em scanner. O gabarito Q60 é usado para calibração da tonalidade das cores, através de comparação visual com dados colorimétricos, medidos em combinação com ferramentas de alguns softwares específicos.

Os valores colorimétricos do gabarito Q-60 são definidos pelas normas ANSI e ISO. Outros gabaritos de cores podem ser criados e utilizados desde que sejam conhecidos os valores colorimétricos. Esses valores podem ser medidos com microdensitômetros.

Além das qualidades das resoluções geométrica e radiométrica, citadas por Kölbl e Bach (1996) – já apresentadas –, outros aspectos importantes devem ser analisados e considerados para a obtenção da qualidade da imagem. Estes parâmetros são:

- A reprodução de cores, na impressão final, deve permanecer o mais fiel possível às cores do original fotogramétrico (diapositivo);

- A compressão dos dados deve ser feita sem perdas de informações e deve permitir uma manipulação adequada; e,
- A operação do scanner deve ser simples, permitindo o ajuste da imagem e seu processamento digital.

Figura 3.7: Gabarito de cores Q-60 da Kodak.

Alguns scanners podem produzir o "efeito fantasma" nas imagens devido à má iluminação e, portanto, devem ser detectados antes da conclusão de todo o processo da numerização. Este efeito é causado por erros devido a reflexões secundárias (como é mostrado na Figura 3.8a) e por erros ocorridos quando o brilho do objeto recai sobre o brilho de fundo (Figura 3.8b).

Figura 3.8: "Efeito fantasma" da imagem, produzido na numerização inadequada.

3.3. Correções Radiométricas

Algumas correções radiométricas de imagens podem ser realizadas através da manipulação do histograma da imagem (a correção de contraste, por exemplo). A manipulação do histograma da imagem altera os parâmetros de brilho e contraste. Segundo Novo (1992)¹, os histogramas se apresentam em forma de distribuição gaussiana, com um maior alongamento da curva na direção dos níveis de cinza de radiância mais elevados. Por exemplo, para imagens de baixo contraste, o histograma apresenta uma forma mais estreita, com menor variância dos níveis de cinza (vide Figura 3.9a), enquanto que, nas imagens de alto contraste, a apresentação é inversa, ou seja, com maior variância dos níveis de cinza (vide Figura 3.9b).

Para o INPE (2002), a manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança. O realce desejado consiste em manipular os valores de brilho e de contraste do histograma.

(a) Imagem com baixo contraste (b) Imagem com contraste equalizado

Figura 3.9: Exemplo de equalização de histograma.

¹ apud Nóbrega (2002)

No IGN da Bélgica (IGN-B), criou-se uma unidade de tratamento de imagens, encarregada de “homogeneizar” (ou balancear) as diferentes versões de imagens digitais e, principalmente, de criar um padrão de imagem. Segundo o IGN Belga (2002), a vantagem do uso da padronização das imagens é a de gerar um produto cujas características são estáveis e conhecidas.

O processo de tratamento das imagens, após a sua numerização, é opcional. Porém, esta opção se torna obrigatória em caso de insucesso dos processos anteriores. No tratamento de imagens, são utilizadas operações de equalização das imagens quanto à tonalidade, contraste e brilho, cujo principal objetivo é a melhoria da qualidade da imagem. Este processo é muito útil, principalmente, em casos de “hot-spot” e vinhete, além de auxiliar no balanceamento radiométrico das imagens para o propósito de geração de ortofotos. Em Nóbrega (2002), são encontradas várias discussões de tratamento de imagens.

A Figura 3.10 apresenta duas imagens da mesma cena, uma delas, (b), melhorada com o programa Image Equalizer (da Leica Geosystems), de balanceamento de imagens. Contudo, a qualidade da imagem original (a) é má, o que dificulta o sucesso do processo de tratamento da imagem computacional. Esta imagem deveria ser rejeitada no processo anterior (referente ao processamento do filme).

(a)

(b)

Figura 3.10: Exemplo de tratamento radiométrico
 (a) imagem original, (b) imagem submetida ao tratamento

3.4. Qualidade do Apoio Terrestre

A exatidão do apoio terrestre é função da escala da fotografia e da exatidão dos pontos medidos (no apoio terrestre). Contudo, depende também da precisão da rede geodésica disponível. Como descrito no Capítulo 2, esta etapa é dividida em fases de apoio, básico e suplementar, e o fluxo deste processo depende da técnica de cobertura aérea (com ou sem apoio GPS/IMU) e do uso ou não de controle terrestre pré-sinalizado.

3.4.1. Exigências de Qualidade do Apoio Básico

Na América do Norte, na Suíça e na maioria dos países europeus, é freqüente o uso do controle terrestre pré-sinalizado. A etapa de apoio básico consiste, em sua maior parte, no levantamento de informações e na localização dos pontos da rede geodésica para planejamento. Como a rede geodésica, nestes países, costuma ser densa em número de pontos, dificilmente é necessário implantar novos pontos. Isto significa que há um mínimo de apoio suplementar. Os pontos-de-controle são levantados diretamente da rede geodésica. A precisão dos pontos da rede geodésica é geralmente dividida em classes ou níveis. Por exemplo, a norma Suíça 211.432.21, de 1995, publicada pela Ordonnance Technique sur la Mensuration Officielle (OTEMO), disciplina a precisão do programa de mensuração nacional, dada pelos parâmetros apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Precisão dos pontos geodésicos - Norma Suíça 211.432.21.

Fonte: OTEMO (1995)

Pontos	Precisão planimétrica (semi-eixo maior da elipse de erro, em cm)				
	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2	$0,7 + S$	$1,7 + 2S$	$1,7 + 2S$	$3,3 + 2S$	$3,3 + 2S$
PFP3	3	$1,8 + 5,7\sqrt{s'}^2$	$1,8 + 5,7\sqrt{s'}$	$3,5 + 10,6\sqrt{s'}$	$3,5 + 10,6\sqrt{s'}$
Precisão altimétrica (erro médio altimétrico, em cm)					
PFA2	-	$0,03 + 0,3s$	$0,03 + 0,3s$	-	-
PFA3	-	2s	-	-	-

Sendo:

- NT1 - nível de tolerância para regiões urbanas;
- NT2 - nível de tolerância para regiões construídas ou propícias à construção;

- NT3 - nível de tolerância para regiões agrícolas e florestais de uso intenso;
- NT4 - nível de tolerância para regiões de uso extensivo;
- NT5 - nível de tolerância para regiões improdutivas;
- PFP2 - ponto fixo planimétrico, bem definido no terreno;
- PFP3 - ponto fixo planimétrico de definição duvidosa no terreno;
- PFPA - pontos fixos planialtimétricos;
- PFA - pontos fixos altimétricos;
- s - distância em km entre dois pontos; e,
- s' - distância, em km, entre o ponto considerado e os pontos de conexões mais próximos.

As exigências de precisão, levando em consideração a tabela anterior, são resumidas nos valores práticos, mostrados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Valores práticos segundo as exigências de precisão dos pontos fixos (PFP2 e 3, PFA2 e 3), das Normas Suíças MO (30/05/2002).

.Precisão planimétrica (semi-eixo maior da elipse de erro médio em cm)					
Pontos	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2, PFP3 (Rede Fundamental)	2	3	3	5	5
PFP3 (detalhe)	3	5	5	10	10
PFP3 (recalculado)	5	8	8	15	15
PFA2/3	No máximo 10				
Precisão altimétrica (erro médio altimétrico em cm)					
PFP2, PFP3 (Rede Fundamental)	2	4	4	5	5
PFP3 (detalhe)	4	8	8	15	15
PFA2	3				
PEA3	7				

Segundo as diretrizes suíças para levantamentos fotogramétricos, o apoio fotogramétrico deve partir dos pontos de PFP2 NT1 (Tabela 3.3) e finalizar com as precisões dos pontos do tipo PFP3 (recalculado) e PFPA3. Isto significa que o erro planimétrico máximo admissível para os pontos-de-controle deve ser menor que 10cm, para regiões regulares e, no máximo 15cm, para regiões de difícil uso, como

por exemplo, regiões alpinas. A escala da fotografia aérea é o fator decisivo para estimar a precisão final do mapeamento fotogramétrico.

Os métodos de medição GPS suíços, regulamentados para a determinação destes pontos, são estático, rápido estático, "stop and go" e RTK. Na literatura do SIT² (2002) –, encontram-se descritos a organização destas medidas, seus cálculos, parâmetros de transformações e ajustamento.

Na Alemanha e na Áustria, a precisão da rede geodésica é de 2cm e, para a rede de apoio básico, esta não deve ser menor que 3cm ($D+F/S+T^3$, 1995).

No Brasil, geralmente, as especificações técnicas exigem que a rede para apoio fotogramétrico tenha, como referência, o Sistema Geodésico Brasileiro ou outro que tenha origem nesse. O valor máximo para o erro padrão do fechamento de coordenadas planimétricas, no ajustamento da rede de apoio fotogramétrico, não deve ultrapassar $40\text{ mm}\sqrt{K}$, sendo K o comprimento total da poligonal (em km). O erro máximo de fechamento, após o ajustamento, não deve ser maior que 1:100.000. O leitor deve lembrar que esta exigência de precisão é direcionada para fins de mapeamento, a partir de escalas menores do que 1:25.000.

Atualmente, o apoio de campo é realizado com o auxílio do GPS (Global Positioning Systems), o que permite uma precisão de, até, 3mm + 0,5ppm (RMS) em modo estático. Com o método diferencial rápido estático e rastreamento suficiente para resolver as ambigüidades, pode-se obter uma precisão de, até, 5mm + 1ppm (RMS). Já com os sistemas GPS RTK (tempo real), podem-se medir pontos de apoio básico e de controle com precisões de, até 10mm + 2ppm. Isto permite que os apoios básico e suplementar sejam definidos mais rapidamente que nos métodos de trilateração e triangulação, utilizados até o século passado.

No Brasil, para mapeamento nas escalas maiores, conforme descrito no capítulo anterior, não existem normas regulamentadas que definam a precisão do apoio básico, nem o suplementar na Fotogrametria. Contudo, no Estado do Paraná, todo o mapeamento cartográfico, com escalas maiores que 1:25.000, segue as convenções cartográficas da Câmara Técnica. Nela, estão descritas as precisões exigidas para os apoios básicos horizontal e vertical, os limites de comprimentos máximo e mínimo das poligonais, o modo de implantação e materialização dos

² Service de l'Information sur le Territoire

³ Direction Fédérale des Mesures Cadastreuses (D+M) e Office Fédéral de l'Aménagement du Territoire (S+T).

marcos, assim como o procedimento na determinação por rastreamento de satélites no sistema GPS.

Na pesquisa de doutorado de Costa (2001), foram descritos os procedimentos de trabalho de apoio terrestre para escalas cadastrais urbanas e suas exigências de qualidade. Dentre eles, destacam-se, por exemplo, que:

- a) O apoio deverá ser feito por linhas fechadas, ou seja, entre, pelo menos, dois pontos de coordenadas conhecidas (1ª ordem) da rede fundamental existente nas proximidades da área. No caso do GPS, é necessário o fechamento através de figuras geométricas, interligando estações; a distância entre as estações-base e as itinerantes não deverá ultrapassar 15 (quinze) quilômetros para GPS e 6 (seis) quilômetros nas poligonais, sendo que a extensão de cada poligonal não deverá exceder a 60 (sessenta) quilômetros; não serão admitidos irradiamentos. Caso sejam utilizados receptores GPS de duas frequências, poderão ser admitidos lados maiores;
- b) As coordenadas finais não deverão apresentar erros superiores a 10 (dez) centímetros por ponto. As poligonais ou figuras fechadas com GPS deverão ter precisão superior a 1: 100.000 (um para cem mil);
- c) As coordenadas altimétricas deverão estar amarradas a referências de nível (RN), obtidas por nivelamento geométrico, através de linhas ou redes com fechamento 10mm ou com GPS, desde que ocupem, pelo menos, 3 RNs e se ajustem, de forma a permitirem correções da altura do geóide. As altitudes finais não deverão apresentar erros superiores a 10 (dez) centímetros;
- d) Para o adensamento da rede de RN, deverão ser planejadas implantações de novos marcos, com o posterior nivelamento geométrico destes, de forma a obter suas altitudes ortométricas com uma densidade, na área urbana, de 01 (uma) RN a cada 2Km² de área do município;
- e) Na monografia, deverá ser especificado o itinerário de acesso, partindo-se de um ponto conhecido, croquis de localização e a identificação aproximada na fotografia de apoio de campo;

- f) Todos os registros de medições no campo deverão ser feitos de forma clara e precisa, em tinta azul ou preta, de modo a não deixarem dúvidas nas anotações. Deverão ser anotados em cadernetas ou formulários, apropriados e padronizados, onde deverão constar os nomes do operador, tipo e marca do instrumento, a data e a hora das observações (ABNT, 1994);
- g) Os cálculos das coordenadas plano-retangulares deverão ser efetuados no sistema topográfico local (do município), com origem em ponto de coordenadas geodésicas conhecidas no sistema UTM, datum SAD-69. Os cálculos das altitudes deverão ser efetuados com origem em altitudes da rede altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. Além das coordenadas plano-topográficas locais, serão calculadas as coordenadas plano-retangulares no Sistema UTM-SAD-69.

3.4.2. Exigências de Qualidade do Apoio Suplementar

Os pontos importantes do apoio terrestre correspondem aos elementos, precisão e confiabilidade da configuração dos pontos-de-controle altimétricos (verticais). Estes pontos devem ser abordados no planejamento da sinalização e do voo, principalmente, nas exigências de precisão dos pontos e na escolha da dimensão dos sinais e da densidade e distribuição dos pontos-de-controle.

A exigência de precisão dos pontos-de-controle depende da aplicação. Por exemplo, no Estado de "New Jersey", EUA, a qualidade do apoio suplementar para aplicações de transportes, usando controle pré-sinalizado, deve cumprir as exigências da Tabela 3.5, Especificações Técnicas Oficiais BDC98PR-009 (2001).

Tabela 3.5: Recomendações do erro padrão admissível no Estado de "New Jersey", EUA.

ESCALA DE MAPEAMENTO	HORIZONTAL	VERTICAL
1: 500	9 cm	2 cm
1: 1 000	15 cm	3 cm
1: 2 000	30 cm	9 cm
Nota: O Erro Padrão é definido como a soma da raiz quadrada dos erros (de "n" medidas) dividida pelo número de medidas. A posição e a elevação de cada ponto de controle não deverão exceder aos valores de precisão mostrados nesta tabela.		

O ITC (Holanda) propõe, como padrão de qualidade, um erro médio quadrático para os pontos-de-controle planimétricos, $\sigma_{x,y}$, e altimétricos, σ_z , de 10cm sobre o terreno, bem acima do valor proposto pela Suíça. Contudo, o leitor deve lembrar que a Holanda é um país relativamente plano, o oposto da Suíça.

No Brasil, como já mencionado, raramente se utiliza a pré-sinalização. Neste caso, a etapa de apoio suplementar é realizada após a execução do vôo, sendo necessário o uso de cópias fotográficas para a escolha e o planejamento dos pontos-de-controle foto-identificáveis. Estes pontos, segundo a recomendação de Costa (2001), deverão ser assinalados nas fotografias aéreas por meio de um furo de agulha e por croquis de localização atrás das fotos; também deverão ter boa definição, de maneira a não deixarem dúvidas quanto à sua identificação. Os pontos serão escolhidos, de preferência, em locais isentos de sombras ou de árvores e em terreno de pouco declive”.

A tolerância brasileira das exatidões planimétrica e altimétrica (posicional), indicada pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) por Castanho et al (1992) para apoio suplementar, deverá obedecer aos valores da Tabela 3.6.

Tabela 3.6: Tolerâncias de precisão adotadas no Brasil

ESCALA	HORIZONTAL	VERTICAL	
	TOLERÂNCIA PLANIMÉTRICA (cm)	EQUIDISTÂNCIA (m)	TOLERÂNCIA ALTIMÉTRICA (cm)
1:500	3,13	0,50	2,5
1:1 000	6,25	1,0	5,0
1:2 000	12,50	2,0	10,0
1:5 000	31,25	5,0	25,0
1:10 000	62,50	10,0	50,0

No trabalho desenvolvido pelo IME, os autores sugerem classificar os levantamentos do apoio terrestre em função da qualidade das observações e do grau de confiabilidade dos resultados finais. A classificação sugerida está de acordo com o Boletim de Serviço 1602, do IBGE. Segundo essa definição, a classificação é dividida nos seguintes níveis:

- Fundamental (1ª ordem) – exatidão melhor que 1:100.000;
- Áreas mais desenvolvidas ou de 2ª ordem – exatidão melhor que 1:50.000;

- c. Áreas menos desenvolvidas ou de 3ª ordem – exatidão melhor que 1:20.000; e,
- d. Topográficos ou locais – exatidão melhor que 1:5.000.

3.4.3. Densidade e Distribuição dos Pontos-de-controle

A densidade e a configuração dos pontos-de-controle (especialmente a dos altimétricos) são fortemente dependentes do recobrimento lateral das imagens e da utilização ou não de GPS no voo. Contudo, nenhuma diretriz concreta deve ser imposta ao número de pontos-de-controle (a serem sinalizados) para não bloquear a liberdade de escolha sobre o método utilizado.

Com o uso do GPS no voo, o número de pontos-de-controle, necessários aos nivelamento e ajustamento do bloco, reduz-se consideravelmente. As câmeras aerofotogramétricas, dispondo de comandos de disparo de alta precisão, podem controlar o instante da tomada do voo e gerar um impulso eletrônico para cada foto, tornando possível, desta forma, a precisa determinação da posição (X, Y e Z) da antena GPS e, conseqüentemente, da câmera no momento da tomada da foto.

A Tabela 3.7 apresenta, sumariamente, as exigências e as influências do recobrimento lateral sobre a configuração dos pontos-de-controle, definidos, principalmente, a partir do Guia de Garantia de Qualidade de Fotogrametria e Geração do MDT (versão de julho de 2000) da Suíça. Estudos do Instituto de Fotogrametria de Hannover, realizados com o mesmo propósito, são adicionados à mesma tabela, mostrando as convergências e as divergências entre as exigências desses países.

Tabela 3.7: Exigências sobre a configuração dos pontos-de-controle

Característica de Cobertura	Grandeza de Influências e Exigências	Autor e Instituição
Recobrimento Lateral < 50% Sem GPS	<ul style="list-style-type: none"> 20 a 30% de recobrimento lateral - os pontos altimétricos no interior do bloco devem ser apresentados em forma transversal aos pontos-de-controle planialtimétricos (HVs), ou seja, perpendiculares à direção da faixa, conforme exibido na Figura 3.11. A precisão altimétrica resultante no bloco é apresentada em função da distância i (sucessivos estéreo-modelos) entre duas divisões transversais de pontos-de-controle. As equações 3.3 e 3.4, conforme Kraus (1997) fornecem a estimativa de erros em ordem de grandeza média ($\sigma_{N,Z,médio}$) e máxima ($\sigma_{N,Z,max}$). $\sigma_{N,Z,médio} = (0,34 + 0,22 * i) * \sigma_{M,Z} \quad (3.3)$ $\sigma_{N,Z,max} = (0,27 + 0,31 * i) * \sigma_{M,Z} \quad (3.4)$ O erro médio altimétrico de um modelo isolado $\sigma_{M,Z}$, conforme definido nas Equações 3.3 e 3.4, é considerado como base de cálculo de acordo com os valores de $\sigma_{M,Z} = \pm 0,03\% \circ h_g$, sendo h_g a altura de vôo. <p>Exigências: os pontos-de-controle altimétricos devem ser preferencialmente, definidos em áreas de superposição de faixas.</p>	<p>Groupe de Travail sur l'Assurance de la Qualité (2000) Guide d'Assurance de la Qualité: Photogrammétrie et génération de MNT. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suíça.</p>
Recobrimento Lateral > 50% Sem GPS	<p>Exigências: os pontos-de-controle altimétricos devem ser distribuídos regularmente de forma quadriculada. A distância entre os pontos deve ser composta com mais modelos.</p>	
Com apoio GPS	<ul style="list-style-type: none"> Número de pontos-de-controle reduzido para 4 pontos. Nenhum ponto-de-controle altimétrico é exigido no meio do bloco. Recomenda-se a utilização de pontos-de-controle distribuídos no perímetro do bloco de imagens, de modo a evitar erros sistemáticos referentes aos parâmetros de transformações de coordenadas e, ainda, a permitir um controle independente de precisões. Dois tipos de configuração dos pontos-de-controle altimétricos e planimétricos têm sido utilizados, conforme mostra a Figura 3.12 - (a) mostra a configuração com faixa de vôo transversal nos dois lados extremos do bloco, e (b) sem a faixa de vôo transversal, exigindo pontos no perímetro do bloco. 	
Recobrimento Lateral > 50% Sem GPS	<ul style="list-style-type: none"> Similar à norma suíça, exceto no intervalo entre as distâncias de base que passa a ser de 4 a 6. Exige, principalmente, atenção redobrada na distribuição e posicionamento dos pontos-de-controle altimétricos dentro da área de superposição lateral. A faixa de vôo transversal nos extremos do bloco pode ser usada como uma alternativa para assegurar a redução dos pontos-de-controle entre faixas, passando a ser de 4 a 6 distâncias de base, de acordo com a Figura 3.13a. 	<p>JACOBSEN (2002) Institute for Photogrammetry and Surveying Engineering University of Hannover Alemanha</p>
Recobrimento. Lateral > 50% Sem GPS	<ul style="list-style-type: none"> O número de pontos altimétricos pode ser reduzido a uma equidistância de 4 bases em ambas as direções. A configuração dos pontos-de-controle é semelhante à da Figura 3.13b, entretanto, sem a faixa de vôo cruzada. 	
Com GPS (RTK)	<ul style="list-style-type: none"> Similar às exigências suíças. 	
Com GPS (Cinemático Relativo)	<ul style="list-style-type: none"> Os HVs devem cobrir os extremos do bloco e não devem exceder 30 distâncias de base. Os pontos altimétricos devem cobrir cada extremo do R. lateral, conforme mostra Figura 14.

Figura 3.11: Configuração recomendável para pontos-de-controle em bloco sem apoio GPS e com recobrimento lateral de 20%

Figura 3.12: Configuração para pontos-de-controle com apoio GPS
(a) com faixas laterais, (b) sem o recobrimento de faixas laterais.

Para as normas Suíças, as distâncias transversais dos pontos-de-controle altimétricos devem satisfazer as exigências previstas para o MDT, segundo as Equações 3.4 e 3.5.

A configuração dos pontos-de-controle leva em consideração a confiabilidade dos mesmos. Para garantir segurança na distribuição dos pontos-de-controle altimétricos, são previstos pontos suplementares.

Figura 3.13: (a).configuração dos pontos-de-controle num bloco com recobrimento cruzado de faixa sem apoio GPS. (b) distribuição de pontos-de-controle com recobrimento lateral > 50%.

Proposto por Jacobsen (2002).

Figura 3.14: Configuração de pontos-de-controle para voo apoiado por GPS, com posicionamento cinemático relativo.

Proposto por Jacobsen (2002)

3.4.4. Exigências de Sinalização

As normas suíças descrevem que, uma vez que os pontos fixos estejam materializados conforme as exigências, esses serão sinalizados para que sejam visíveis nas imagens aéreas. O tamanho mínimo dos sinais é fixado em função da escala da imagem. A sinalização deve ser central, com exceção de casos especiais, e completados por faixas de marcação perpendiculares, de forma a garantir uma

identificação inequívoca. Segundo a norma, é preciso garantir um contraste suficiente entre um ponto sinalizado e o seu ambiente. Preferencialmente, o ponto sinalizado deverá ser posicionado em rodovias, vias e caminhos. Esta sinalização deverá ser efetuada dias antes da aprovação, juntamente com sua revisão de sinalização.

Nas especificações de Nova Jersey (EUA), os alvos são dimensionados conforme a escala da foto, mostrados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8: Dimensões dos alvos usadas pelo Departamento de Transporte, Estado de Nova Jersey – EUA.

Escala do Mapeamento	1:1000	1:2000
Altura de Vão	1285 m	2570 m
Largura da Pema do Alvo "T"	0,20 m	0,20 m
Comprimento da Pema do Alvo "L"	1,50 m	3,00 m

Os testes de aerotriangulação digital da OEEPE, apresentados por Deutsch (1994), indicam o uso de pontos-de-controle pré-sinalizados com dimensões de $6\mu\text{m}$ na escala da foto. Os resultados mostraram que o uso da pré-sinalização é essencial para projetos de alta precisão e viável para outros projetos, uma vez que o tempo de medição na aerotriangulação é reduzido e a precisão é aumentada em, aproximadamente, 60%. A Tabela 3.9 mostra uma relação entre a resolução geométrica da imagem e a diferença entre o erro médio quadrático dos pontos pré-sinalizados e naturais. Nela (Tabela 3.9), os pontos naturais e sinalizados possuem precisões diferentes, sendo esta diferença significativa no processo de aerotriangulação.

Tabela 3.9: Relação entre a resolução, pontos medidos e erro médio quadrático das observações (a priori)

Resolução	$\sigma_0 \text{ sig } [\mu\text{m}]$	$\sigma_0 \text{ Nat } [\mu\text{m}]$
15 μm	5	10
30 μm	8	16

3.4.4.1. Precisão dos Pontos Pré-sinalizados

Em Kraus (1993), é mostrada a precisão dos pontos-de-controle sinalizados e "naturais", conforme mostra a Tabela 3.10. Segundo o autor, a incerteza da definição do ponto de controle natural é baseada em regras empíricas e, neste caso, são definidas restrições sobre a incerteza da definição do pontos, representadas pela variável $\sigma_{x,y(def)}$.

Tabela 3.10: Precisões dos pontos-de-controle pré-sinalizados e pontos naturais.

Adaptado de Kraus (1993).

Pontos Sinalizados	Pontos "Naturais"
$\sigma_{xy} = \pm 6 \mu m$ (na foto)	$\sigma_{xy_{nat}} = \sqrt{\sigma_{xy(sin)}^2 + \sigma_{xy(def)}^2}$
$\sigma_z = \pm 0,06\% \circ h$ (NA e GA) $\sigma_z = \pm 0,08\% \circ h$ (SGA)	$\sigma_{z_{nat}} = \sqrt{\sigma_{z(sin)}^2 + \sigma_{z(def)}^2}$

As incertezas definidas no uso de pontos naturais diferem de acordo com a característica dos pontos-de-controle escolhidos. Os valores destas incertezas foram tratados e descritos ainda por Kraus (1993), e são apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11: Incertezas de definição dos pontos-de-controle naturais

Tipo de Pontos	Planimetria $\sigma_{x,y(def)}$	Altimetria $\sigma_{z(def)}$
Cantos de edificações e cantos de muros e cercas	7 a 12 cm	8 a 15 cm
Tampas de poços de inspeção	4 a 6 cm	1 a 3 cm
Cantos de canteiros	20 a 100 cm	10 a 20 cm
Arbustos e árvores	20 a 100 cm	20 a 100 cm

Eslami Rad (1995) descreve que a influencia do uso de pontos pré-sinalizados nos resultados da aerotriangulação pode corresponder ao fator de variância, mostrado na Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Comparação do fator de variância e influências no processo de aerotriangulação usando pontos pré-sinalizados e pontos naturais.

Tipo de Pontos	Ajustamento por Feixes [μm]	Modelos Independentes [μm]
Sinalizado	$\sigma_0 \approx 3 \text{ a } 7$	$\sigma_{XY} \approx 4 \text{ a } 8$, $\sigma_z \approx 7 \text{ a } 10^4$ $\sigma_{XY} \approx 8 \text{ a } 10$, $\sigma_z \approx 8 \text{ a } 15^5$
Artificial	$\sigma_0 \approx 15 \text{ a } 30$	$\sigma_{XY} \approx 15 \text{ a } 30$ $\sigma_z \approx 10 \text{ a } 20$

Um fator importante para a definição dos pontos-de-controle pré-sinalizados é a definição da dimensão do alvo, que é função da escala e do contraste. Para garantir que os alvos sejam reconhecidos adequadamente nas imagens, Kraus (1997) sugere a Equação 3.5. A partir dela, calcula-se o diâmetro (d) do alvo em função da escala da foto (m_b). O denominador pode variar de 300 a 600 e a escolha entre o uso de um ou de outro depende do contraste da área.

$$d(\text{cm}) = \frac{m_b}{300 \text{ a } 600} \quad (3.5)$$

3.5. Qualidade da Aerotriangulação

Conforme descrito no Capítulo 2, no processo de aerotriangulação digital são incorporadas as etapas de orientação (relativa e absoluta), sendo elas, quase sempre, simultâneas. Para efetuar este processo, é necessário conhecer alguns fatores importantes, citados por Amer (1981), que causam impacto nos resultados de um processo de aerotriangulação. Estes são:

- A escala da fotografia, a altura de vôo e a cobertura fotográfica;
- A distribuição e a exatidão dos pontos-de-controle;
- A distribuição e a quantidade dos pontos fotogramétricos; e,
- O método de ajuste da triangulação.

O resultado da adição de todos estes fatores sobre o processo de aerotriangulação deve ser tolerável o suficiente para que não haja prejuízo na

⁴ medições com comparadores

⁵ medições com instrumentos análogos

qualidade do produto final. Neste trabalho, os principais fatores, que influenciam a qualidade do processo de aerotriangulação e a forma como são tratados, são descritos nos itens a seguir.

3.5.1. Precisão Fotogramétrica

A precisão planimétrica e altimétrica, conseguida pelos instrumentos analógicos, é inferior à das estações fotogramétricas digitais. Os valores para a precisão analógica planimétrica variam entre 5 e 20 μ m, de acordo com a ordem de precisão dos instrumentos e, para a precisão altimétrica, de 0,1 a 0,2% h_g (altura de vôo).

Burnside (1985) menciona que a precisão esperada no modelo das coordenadas de pontos bem sinalizados está na faixa de 3 a 4 μ m na planimetria. Para a altitude, os valores são inferiores (estima-se $\sigma_z = 0,004 \% h_g$). A ordem de precisão, citada por esse autor, refere-se a instrumentos analíticos. Em sistemas digitais, a precisão é equivalente, desde que a resolução geométrica da imagem seja de, no mínimo, 12 μ m.

Como foi descrita anteriormente, a exatidão das medidas, no método digital, depende da resolução da imagem. Contudo, quando se medem os pontos conjugados nas imagens digitais, a exatidão, segundo Schenk (1999), passa a ser pior que a da aproximação realizada no modo clássico de medição. Para se conseguir a mesma exatidão do modo clássico (analítico), a redundância do número de pontos fotogramétricos (medidos na Fotogrametria Digital) deve ser, no mínimo, duas vezes maior que a realizada na Fotogrametria Analítica. Por exemplo, em vez dos 6 pontos de Gruber, passa-se a 12 pontos fotogramétricos.

3.5.2. Erros e Tolerâncias da Orientação Interior

Na Fotogrametria Analógica, segundo Kraus (1993), as distorções de lentes e filmes, geralmente, causam uma distorção total de 20 μ m. Deste modo, o processo de orientação interior deve admitir esta mesma distorção. Contudo, na Fotogrametria Digital, essas distorções são eliminadas através de transformações e modelos matemáticos, que tratam de minimizar os erros causados por distorções quaisquer da câmera e do filme. Neste caso, prevalece a precisão de leitura e do posicionamento

do operador sobre os pontos ou marcas fiduciais, que podem variar de 1/10 a 1/5 do pixel. Esta variação depende do uso ou não de parâmetros adicionais da câmera e da qualidade do scanner.

Como parâmetro de referência de controle de qualidade na Fotogrametria Digital, são considerados os mesmos valores admissíveis na Fotogrametria Analítica que, segundo Ackerman e Eslami Rad (1996), devem obedecer às seguintes regras no processo de orientação interior analítico:

- Média residual menor ou igual a $\pm 6\mu\text{m}$; e,
- Erro residual máximo não superior a $\pm 10\mu\text{m}$.

As especificações técnicas canadenses, publicadas em GDBC (1998), são mais flexíveis. Os resíduos não devem ser maiores que $15\mu\text{m}$ e a média residual deve ser menor ou igual a $10\mu\text{m}$.

Em Rottensteiner (1993) e nos testes da OEEPE (1996), para a aerotriangulação digital, pode-se verificar que a precisão da orientação interior varia de $\pm 0,2$ a $\pm 0,3$ pixel. Esta faixa de variação é maior em FORLANI et al (2000), passando de $\pm 0,2$ a $\pm 0,5$ pixel.

Os experimentos de Kraus (1997) e Shenk (1999) confirmaram que, na prática, no lugar de $\pm 1/10$ do pixel, a precisão da orientação interior pode variar de $\pm 1/10$ a $\pm 1/5$ do pixel.

3.5.3. Erros e Tolerâncias da Aerotriangulação

Em geral, os métodos de aerotriangulação calculam a matriz variância co-variância das coordenadas ajustadas, obtendo, por exemplo, o desvio padrão máximo " $\sigma_{\text{máx}}$ " e o fator de variância ou de precisão " $\hat{\sigma}_0^2$ " do ajustamento (este último, obtido pela Equação 3.5). Onde, V corresponde aos resíduos, P à matriz-peso e S o número de observações superabundantes que é dado por $S = n - u$, sendo n o número de observações e u o número de parâmetros.

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{S} \quad (3.5)$$

Os valores de tolerância de erros do processo de aerotriangulação analítica e digital são apresentados de acordo com a Tabela 3.13. Os valores considerados foram compilados de acordo com a conceituação da instituição e renome dos autores.

Tabela 3.13: Valores de controle de qualidade da aerotriangulação analítica e digital adotados por diferentes instituições.

$\hat{\sigma}_0$ (μm)	$\sigma_{x,y}$ (μm)	σ_z (μm)	Sistema	Autor e Instituição
$\approx \pm 10$ a 20	$\approx \pm 2\sigma_0$	$\approx 2 \frac{c}{b} \sigma_0^6$	Analítico	Eslami Rad (1995) – ITC, Holanda
$\approx \pm 2$ a 7	$\approx \pm 1,5\sigma_0$	$\approx \leq \pm 2\sigma_0$	Analítico	Akcermann (1992), apud Kolbl (1985), EPFL, Suíça.
$\approx \pm 0,01\% h_g$	$\approx \pm 1\sigma_0$	$\approx \pm 1\sigma_0$	Analítico	Survey Services Unit (1998), Estados Unidos.
$\approx \pm 0,013\% h_g$	$\approx \pm 20$	$\approx \pm 20$	Analítico	Service Nova Scotia (2001), Canadá.
± 5	± 3	$\approx \pm 0,003\% h_g$	Analítico	Kraus (1997), Vienna University of Technology, Áustria.
± 4	± 5	± 8	Analítico	D+M / S+T ⁷ (1996), Directives des Points Fixes, Suíça
$\approx \pm 10$	$< \pm 20$	$< \pm 30$	Digital	GEOGRAPHIC DATA BC (1998), BMGS, Canada.
$\approx \pm 1/3$ a $1/2$ pixel	$\approx \pm 1/3$ pixel	$\approx \pm 1/2$ pixel	Digital	Kersen (1999), Swissphoto Vermessung AG e OEEPE, Suíça.
± 5	$\pm 0,2$ pixel	$\pm 0,8$ pixel	Digital	Kaczynski e Ziobro (1999) – Institute of Geodesy and Cartography Warazawa, Polônia.
$\approx \pm 0,3$ pixel	$\approx \pm 0,2$ a $0,3$ pixel	$\approx \pm 1/2$ pixel	Digital	Rottensteiner e Prinz (1996), Vienna University of Technology, Áustria.

O relatório da OEEPE, apresentado por Baltavias (2000) e Kersen (1999), mostra que os resultados de 1/3 do pixel, obtidos a partir da aerotriangulação digital, podem ser considerados equivalentes aos da aerotriangulação analítica.

Valores de estimativa da precisão para pontos-de-check triangulados são apresentados na Tabela 3.14. De acordo com os autores e instituições responsáveis pelos estudos, as variações estão entre $\pm 0,002\%$ a $\pm 0,003\%$ da altura do vôo (hg) para os pontos altimétricos.

⁶ c = distância focal e b= base aerofotogramétrica

⁷ D+M – Direction Fédérale des Mensurations Cadastrales, S+T – Office Fédérale de la Topographie. Organismos federais responsáveis pela cartografia da Suíça.

Tabela 3.14: Valores de controle de qualidade da aerotriangulação analítica e digital – escala da foto 1:8.000.

Sistema	I	S	C (H/V)	σ_0 (μm)	O	R	RMS X [cm]	RMS Y [cm]	RMS Z [cm]
AP DSR14	35	4	15/16	5.5	1256	521	3,3	3,2	6,2
Match-AT	34	4	16/16	5.3	7042	3314	4,1	3,7	6,1
Phodis-AT	34	4	15/15	5.6	15165	5292	5,3	4,5	6,7
HATS	34	4	16/16	6.6	4262	1775	2,2	3,8	5,0
I: Número de imagens				S Número de faixas			C: Pontos-de-controle		R: Redundância
O: Observações									

Para a Planimetria, tem-se, em média, 0,4 pixel de precisão. Contudo, a qualidade dos resultados e a eficiência da aerotriangulação são dependentes da qualidade da transferência automática de pontos e da correlação (algoritmo de medição), a qual depende principalmente dos seguintes aspectos:

- Qualidade da imagem, incluindo a numerização e as condições climáticas da tomada da foto (faixas com diferentes datas de vôo são susceptíveis a diferenças radiométricas e, às vezes, geométricas – por exemplo, mudanças na vegetação e sombras em diferentes posições); e,
- Características do terreno, isto é, cobertura do solo (como áreas florestais e regiões de lagos) e variações acentuadas de altura, as quais causam variações de escala no interior do bloco.

Os testes aplicados à aerotriangulação digital por Ackermann (1996), quanto à precisão do método de correlação ou junção, mostraram que o tamanho do pixel da numerização e a qualidade das imagens são essenciais para a garantia de bons resultados. Levando-se em consideração os resultados desses testes e de outros autores, como Shenk (1999) e Kraus (1997), podem-se assumir, por exemplo, os seguintes valores (considerando-se a isenção de erros sistemáticos e grosseiros):

- Precisão de posicionamento manual: 0,5 a 0,3 pixels;
- Precisão na medição automática de pontos fotogramétricos pelo método “feature based matching”: 0,2 a 0,4 pixels;

- Precisão na medição automática de pontos fotogramétricos pelo método “area cross correlation”: 0,1 a 0,4 pixels;
- Precisão na medição automática de pontos fotogramétricos pelo método “least squares matching”: 0,1 a 0,2 pixels; e
- Precisão da aerotriangulação automática: 0,3 a 0,4 pixels.

Neste caso, ao se considerar imagens numerizadas com $20\mu\text{m}$, tem-se uma estimativa de precisão média de $\pm 7\mu\text{m}$. Contudo, quando se considera a existência de erros fotogramétricos, o controle de qualidade desse processo releva as seguintes condições:

- i. O fator de variância varia de acordo com o método de ajustamento empregado na aerotriangulação analítica, como visto no Item 3.5.1. Para Eslami Rad (1995), Kraus (1993) e Jacobsen (2002), as diferenças entre um método e outro de ajustamento pode ser de $\pm 3\mu\text{m}$.
- ii. As especificações de aerotriangulação da Geographic Data BC (1998) ditam que os resíduos dos pontos fotogramétricos medidos não devem exceder, em EMQ, $\pm 20\mu\text{m}$. Deverão ser rejeitados os pontos fotogramétricos com erros residuais $\geq \pm 50\mu\text{m}$.
- iii. Para D+M e S+T (1996), são considerados erros grosseiros os resultados de medições maiores que $3\sigma_0$ e, devendo, portanto, ser desligados ou ponderados, de forma a não interferirem no resultado final do ajustamento.
- iv. Um outro parâmetro de qualidade a ser levado em consideração é o controle da produtividade, e este pode ser monitorado segundo Kersten (1999). Para este autor, o tempo exigido para cada etapa da aerotriangulação digital é contado por hora/foto. Entende-se que certas características, no processamento de dados do terreno, exigem pouca interatividade com operador, controle de qualidade e, conseqüentemente, o tempo do processo é reduzido. Verificou-se que a produtividade pode cair, significativamente, em projeto de características, como: a) terrenos montanhosos, cujas altitudes são extremamente diferentes e, neste caso, podem apresentar diferentes escalas de imagens e entre as faixas de vôo;

b) intervalo muito distante entre as datas de vôo e c) recobrimento lateral menor que 10%.

- v. A precisão da aerotriangulação digital é semelhante à analítica e depende do tamanho do pixel. Em alguns casos, como o relatado por Kaczynski e Ziobro (1999) observa-se uma melhora de 20% precisão da aerotriangulação digital em relação à analítica.

3.6. Qualidade no Modelo Digital do Terreno

Segundo Kölbl (1997), as experiências práticas com MDTs (derivados das técnicas automáticas e ligeiramente editados), apresentaram precisões entre 0,01 e 0,02% h_g (altura do vôo). Apesar da necessidade de controle severo de qualidade e da edição interativa dos MDTs, gerados automaticamente, ainda assim, tem-se uma velocidade de produção consideravelmente rápida.

Os principais erros, que podem afetar a qualidade do MDT, são os erros sistemáticos e aleatórios. Os erros sistemáticos são originados das orientações e dos erros do operador. Estes erros ficam em torno de 0,01% da altitude de vôo. Os erros aleatórios são aqueles correspondentes aos erros de medição e de interpolação e, correspondem a 0,01% da altitude de vôo. Tem-se, neste caso, um total de 0,02% da altitude de vôo.

Em especificações de MDTs na Itália e em normas da Alemanha e Suíça (DIN 4, de 1995), divulgadas por Wiggenhagen (1999) e Kölbl (2000), com propósitos de normatização de produção de ortofotos, encontra-se a Equação 3.6 para o cálculo da precisão exigida do MDT.

A precisão é calculada através do conhecimento das distâncias focal e radial, produzidas na imagem, e do erro máximo permissível de posicionamento no terreno.

$$\Delta H = c * \frac{\Delta r}{r} \quad (3.6)$$

Sendo,

ΔH = a precisão do MDT;

Δr = o erro máximo de localização no terreno (deslocamento planimétrico) na escala da foto;

c = a distância focal da câmera usada para a captura das imagens; e,

r = a distância, medida na imagem, em relação ao centro de projeção.

Segundo Kolbl (2000), um modo simplificado de estimativa da precisão do MDT é considerar que o erro de deslocamento planimétrico (Δr) é de, aproximadamente, 2/3 do erro da altura para imagens tomadas de câmeras com distância focal a 153 mm; e, 1/3 para câmeras de ângulo normal, correspondente a 300 mm; considera-se, ainda, a distância máxima do centro de projeção de 100mm. Admitindo que o deslocamento radial (Δr) máximo, numa ortofoto, seja 0,2mm para projetos de alta precisão, e de 0,5 mm para padrões normais de precisão das ortofotos, pôde-se construir a Tabela 3.15, com os valores de precisão do MDT admitindo o máximo deslocamento da ortofoto, isto significa, áreas de montanhosas e de baixo valor econômico.

Tabela 3.15: Valores de precisão de MDT admitindo um máximo deslocamento da ortofoto.

Precisão do MDT para Produção de Ortofotos - máximo deslocamento					
Escala de Ortofotos	Precisão Δr 0,2mm [m]	Precisão do MDT (153mm) [m]	Precisão de MDT (300mm) [m]	Precisão Δr 0,5mm [m]	Precisão do MDT Exigida [153mm]
1: 25000	5,0	7,5	15,0	12,5	18,8
1: 10000	2,0	3,0	6,0	5,0	7,5
1: 5000	1,0	1,5	3,0	2,5	3,8
1: 2000	0,4	0,6	1,2	1,0	1,5
1: 1000	0,2	0,3	0,6	0,5	0,8
1: 500	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4

As especificações, concernentes à eqüidistância da malha (grid) do MDT, seguem a recomendação mostrada na Tabela 3.16. A eqüidistância é calculada em função do tipo de terreno (plano, sinuoso ou rugoso) e da precisão desejada, sendo adotados os valores do tipo de terreno sinuoso. Estes valores são baseados nos estudos de Ackermann e adaptados de acordo com os estudos da OEEPE (publicação nº 38, apud Kolbl, 2000).

Nos outros meios de controle de qualidade, descritos em Kölbl (1999 e 2000), o controle pode ser efetuado através dos seguintes meios: comparação com um conjunto de dados existentes, cuja precisão é conhecida; medição de uma malha de controle; medição sobre o terreno e medição de perfis ao longo dos modelos, cruzando todos os modelos em direções leste-oeste, norte-sul e nas diagonais dos modelos. Nestes perfis, são medidos pontos com densidade 5 vezes maior que a

eqüidistâncias da malha. Nenhum desses perfis pode exceder um fator de 1,5 da precisão exigida do MDT.

Tabela 3.16: Distância da malha para um MDT.

Adaptada de KÖLBL (2000)

Precisão altimétrica do MDT [m]	Distância da Malha Calculada			Valores Arredondados (recomendados) [m]
	Plano [m]	Sinuoso [m]	Rugoso [m]	
10	131	82	47	100
4	66	41	23	50
2	41	26	15	25
0,8	20	13	7	10
0,4	13	6	5	5
0,2	8	5	3	5

Em concordância e em acréscimo aos meios de controle de qualidade supracitados, as diretrizes de garantia de qualidade para o MDT Suíço, definido pelo Groupe de Travail sur L'Assurance de la Qualité (2000), designam os seguintes meios para controle de qualidade:

- i. A estampagem sombreada do MDT permite a visualização imediata de descontinuidades de elevações, particularmente, de áreas com características de terreno regulares. Um exemplo extraído de Dupéret (1999) é mostrado na Figura 3.15, onde se tem (à esquerda) o resultado de um MDT automaticamente gerado e, na direita, observa-se a mesma área com filtragem de objetos e edições nas regiões de lagos e rios;
- ii. A comparação dos dados com MDTs existentes, que pode ser realizada a partir do cálculo dos desvios-padrões entre o MDT a ser monitorado e o existente. Esta comparação permite detectar áreas com diferenças erros sistemáticos;
- iii. A superposição do MDT (vetorial) sobre os estéreos-modelos ou sobre as ortofotos; e,
- iv. Medições de perfis ou de pontos isolados sobre a superfície do terreno e comparação com os valores fornecidos pelo MDT.

Figura 3.15: Exemplo de estampagens sombreadas de um MDT antes e após a edição da área de lagos.

Fonte: DUPÉRET (1999)

3.7. Qualidade na Geração de Ortofoto Digital

Os estudos realizados, baseados nas normas americanas e européias neste campo, mostram que as exigências para a conformidade da produção de ortofotos levam em consideração principalmente a geometria, a radiometria, a precisão do MDT e a apresentação da ortofoto. Estas exigências consistem, de maneira geral, nas seguintes diretrizes:

- i. Disposição dos pixels – devem estar arranjados por linhas horizontais e colunas verticais. A ordem das linhas será de cima para baixo e, a das colunas, da esquerda para direita. O pixel à esquerda deverá indicar (0,0);
- ii. Apresentação dos arquivos de imagem – devem apresentar comprimentos de registro iguais, tendo, como resultado, uma imagem quadrada ou retangular. As coordenadas do limite da imagem deverão ser documentadas e registradas por arquivos de linguagem figurada como, por exemplo, "metadados". A informação textual deverá descrever o conteúdo, a qualidade, as

condicionantes e outras características da imagem, tais como resolução geométrica e radiométrica;

- iii. Radiometria da imagem – geralmente são exigidos valores de densidade que garantam uma densidade similar à do filme ou que, no mínimo, não evidenciem a perda de contraste, podendo ser consideradas, por exemplo, uma variação de densidade de 0,15 a 1,30. Os valores tonais e de brilho devem ser monitorados a partir de histogramas;
- iv. Transferência de dados – implica no formato de transferência de dados e nos dados de suporte contendo parâmetros de imagens, de visualização, de compressão, anotações textuais, símbolos, etc. Os norte-americanos vêm adotando, neste caso, as “Normas de Transferência de Dados Espaciais (Spatial Data Transfer Standard – SDTS), Parte 5, SDTS Raster Profile and Extensions, versão preliminar”, FGDC⁸ (1999). Nessas normas, são aceitos dois tipos de formatos de dados “rasters”: ISO/IEC 12087-5 Basic Image Interchange Format (BIIF) e Tagged Image File Format (TIFF). O primeiro tipo de formato é o mais usado pelas comunidades militares. O formato TIFF é o que vem sendo largamente usado pela comunidade civil. O padrão desse formato é de uso público e é baseado nas especificações pertencentes à ADOBE. Contudo, as normas americanas buscam fornecer formatos não proprietários (neste caso, o formato BIIF leva vantagem). A SDTS tem como foco a informação geográfica, as tabelas “Look-up” de cores, os relatórios de qualidade, as informações do dicionário de dados ou outras formas de dicionário, anexados à imagem, conforme exemplo no Anexo 4.
- v. Resolução geométrica – consiste em definir a dimensão do pixel no terreno (GSD). Esta resolução é determinada através do menor elemento a ser interpretado no solo;
- vi. Definição de datum – parâmetros de datum, sistema de coordenadas e de projeção, posição de impressão dessas coordenadas, quadriculados, cor de impressão e espessura das linhas e cruzetas a serem representadas. Este item pode ser adicionado ao dicionário de dados, visto no item 4.15.

⁸ Federal Geographic Data Committee

- vii. Precisão – padrão de exatidão e de precisão necessários para as aplicações. Em geral, adotam-se valores que atendam aos padrões de exatidão cartográficos existentes. Contudo, a precisão da ortofoto depende, principalmente, da precisão do MDT, anteriormente abordada.

3.7.1. Guia Suíço de Garantia da Qualidade para Ortofoto Digital

Um controle a ser efetuado, a partir da Equação 3.6, é o deslocamento radial sobre as ortofotos. Segundo Kölbl (1999), as tolerâncias deste deslocamento devem se enquadrar nos níveis de tolerâncias do MDT, definidos anteriormente.

As diferenças de tonalidades entre as ortofotos devem ser tratadas com programas de equalização radiométricas de imagens (discutido no capítulo anterior). No caso da produção de mosaicos, é descrita a exigência de definições (nas imagens) de linhas ou polígonos de “junção” (seamlines) nas normas suíças, canadenses e americanas, de forma a reduzir as diferenças radiométricas e evitar áreas de cortes bruscos que possam prejudicar a qualidade do mosaico, como por exemplo, áreas de florestas ou áreas de grande densidade urbana. As normas suíças alertam, ainda, para os cuidados com imagens de pontos hiper-luminosos (hot-spot) e os fenômenos de vinhetes.

Para estimar a resolução de saída da ortofoto, as diretivas suíças de garantia de qualidade de ortofotos adotam uma regra empírica, baseada no princípio de que um objeto é identificável na imagem a partir de 3 pixels. Isto significa que a resolução geométrica de produção de uma ortofoto deverá ser inferior à metade da dimensão mínima dos objetos a serem coletados. Por exemplo, para uma dimensão mínima de 20 cm do objeto que se deseja visualizar na imagem, no solo, aplicando a regra supracitada (metade do tamanho pixel), a ortofoto deverá ser produzida com uma resolução menor ou igual a 10cm.

Outra regra empírica, para a escolha do tamanho do pixel a ser numerizadas as imagens fontes para a geração da ortofoto, é considerar que $P_{(FONTE)} \leq P_{(ORTO)} < P_{(FONTE)} * 2$, sendo $P_{(FONTE)}$ o tamanho do pixel do filme e $P_{(ORTO)}$ o tamanho do pixel final da ortofoto. Isto significa que para garantir a geração de ortofotos com qualidade, o tamanho do pixel em relação ao terreno (GSD) deve ser superior a 20% ao tamanho do pixel das imagens aéreas numerizadas. Por exemplo, para se gerar uma ortofoto com um tamanho do pixel no terreno de 25cm, a

resolução geométrica, ou o tamanho do pixel das imagens áreas digitais, deve ser de 20 μ m e se considerar a escala da imagem 1:10.000, o tamanho do pixel de origem será 20 cm.

As principais componentes de qualidade geométrica das ortofotos compreendem:

- Precisão altimétrica do MDT (ΔH_{MDT});
- Precisão altimétrica das orientações externas ou aerotriangulação (σ_z);
- Precisão planimétrica das orientações externas ou aerotriangulação (σ_{xy}); e,
- Resolução geométrica.

As estimativas sugeridas a seguir podem melhorar a garantia de precisão geométrica das ortofotos:

- a) Determinação do erro altimétrico médio total ($\Delta \bar{H}$) a partir da precisão altimétrica do MDT e da precisão altimétrica da aerotriangulação (segundo a Equação 3.7);

$$\Delta \bar{H}^2 = \Delta H_{MDT}^2 + \sigma_z^2 \quad (3.7)$$

- b) Determinação de um erro de deslocamento médio ($\bar{r}$) ou de um deslocamento máximo do objeto (Δr), causado pelo erro médio altimétrico ($\Delta \bar{H}$), conforme a Equação 3.7 e as Tabelas 3.8 e 3.9; e,
- c) Determinação do erro planimétrico médio (total) de uma ortofoto ($\sigma_{XY_{ORTO}}$), conforme mostra a Equação 3.8, sendo $\bar{r}$ a componente de deslocamento médio do objeto e, σ_{XY} , o erro planimétrico da aerotriangulação ou orientação exterior.

$$\Delta \sigma_{XY_{ORTO}}^2 = \bar{r}^2 + \sigma_{XY}^2 \quad (3.8)$$

Neste caso, para se obter uma precisão planimétrica (erro médio planimétrico total) de 1 metro na produção de ortofotos, os erros planimétricos da aerotriangulação

e do deslocamento do objeto, provocado pelos erros altimétricos, não deverão exceder 0,70m.

Para os mosaicos, as normas suíças exigem: restrições nas junções de imagens situadas em edificações ou outros objetos não contidos no MDT; e tratamento radiométrico em áreas de junções de imagens, a fim de garantir uma transição contínua dos tons de cinza ou das cores.

Para o caso da apresentação das ortofotos, devem ser geradas folhas-padrões, por exemplo, 50cmx50cm, para finalidade de impressão. Entretanto, caso o contratante não necessite de impressão, pode-se gerar arquivos condizentes aos limites das áreas de interesse.

No controle de qualidade final, devem ser inspecionados, principalmente, a integridade das ortofotos (em especial aquela relativa a áreas críticas, do tipo montanhosa), a cobertura integral do perímetro da ortofoto por um MDT, as áreas de junções, os histogramas e seus correspondentes gráficos ao tratamento das imagens, a compatibilidade das informações fornecidas pelas imagens e o exame da precisão a partir das superposições de dados vetoriais sobre as imagens (feições cartográficas vetoriais e pontos-de-controle).

3.7.2. Exigências das Normas Americanas

Em geral, o padrão de exatidão do MDT e a classe de qualidade do mesmo devem recair nas normas cartográficas de mapeamento existentes, preferencialmente, os padrões de exatidão da NMAS (National Map Accuracy Standards) e da ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), descritas no Capítulo 4.

Conforme o US Geological Survey (1999), a precisão vertical do MDT deve ser equivalente ou melhor que um nível de precisão descrito na NMAS. Todos os processos anteriores (como numerização, orientação interior e aerotriangulação) devem ser precisos de forma suficiente a garantir que o produto final atinja a precisão do NMAS.

Quando uma ortofoto ou um mosaico é realizado com a junção de duas ou mais imagens, os valores de brilho e de tonalidade devem estar ajustados para um único padrão. As linhas de junção entre as áreas de recobrimento das imagens

devem ser escolhidas de forma a minimizar as variações tonais. Um ajustamento dos valores de brilho deverá ser realizado para reduzir as diferenças tonais nas áreas de junção.

As normas encontradas no USGS 12/96 2-5 registram que a qualidade radiométrica é monitorada a partir da inspeção visual. Compara-se a ortofoto digital e o mosaico com a imagem original não-retificada para determinar se não houve perdas radiométricas durante o processo de ortoretificação. Primeiramente, é verificada a integridade de cobertura das imagens na área a ser mapeada. Através desta tarefa, são conferidas a ausência ou a duplicidade de imagens, diferenças geométricas e radiométricas (presentes na Figura 3.16), e a existência de falhas nas ortofotos, geradas por MDTs mal controlados, como, por exemplo, buracos na imagem.

Figura 3.16: Diferenças radiométricas e geométricas de cerca de 2 pixels de precisão, destacando a quebra da pista da estrada.

As áreas próximas às bordas das margens, sombreadas e com mudanças bruscas do terreno, devem ser vistoriadas com cuidado, pois, geralmente, causam deformação na ortofoto. Na ocorrência destes problemas, convém efetuar a correção do MDT ou a substituição da imagem de sobreposição por outra. Um novo processamento será necessário. A análise visual é realizada caso por caso para

aprovar ou reprovar as ortofotos. As imagens reprovadas nesta análise deverão ser refeitas ou rejeitadas.

As feições lineares (como estradas, pontes, ferrovias, viadutos, túneis, etc.) devem-se apresentar na ortofoto, retificadas e sem ondulações. Portanto, são exigidas funções de correções similares a "true ortho", ou a inclusão de linhas de quebras nestas feições.

Os produtores da ortofoto devem relatar as precisões horizontal e vertical dos dados e adicioná-las na documentação (dicionário de dados). As informações recomendadas podem ser relatadas e testadas segundo as normas "Spatial Data Transfer Standard", Capítulo 3, Parte 1. Informações sobre linhagem, exatidão posicional, exatidão de atributos, consistência lógica e integridade são referenciadas no capítulo seguinte.

3.8. Qualidade na Restituição

A restituição ou estéreo-restituição, vista no capítulo anterior, é o processo de coleta de dados que demanda mais tempo e é, também, um dos mais complexos na linha de produção. É, portanto, o processo mais crítico para o controle da qualidade.

Os principais fatores que afetam os resultados do processo de restituição, abordados no estudo de Eslami Rad (1995), são esquematizados na Figura 3.17.

Figura 3.17: Fontes de erros na Fase de restituição digital

A exatidão das medidas interativas, realizadas pelo operador através do cursor, depende da nitidez da imagem, da resolução e da dimensão do cursor usado para a identificação de um objeto no modelo estereoscópico. Portanto, o erro de identificação pontual do objeto não é totalmente dependente dos dispositivos de medida e de visualização, como descrito em Eslami Rad (1996), mas também das resoluções geométrica e radiométrica da imagem (abordado em itens anteriores).

A exatidão do apontamento do cursor sobre o objeto que se pretende medir na imagem atinge, em geral, um erro máximo de dois pixels, sendo o desvio-padrão aceitável de 0,5 pixel. Esta exatidão é melhorada segundo Shenk (1999), por meio das duas soluções:

- Um pixel da imagem é exibido sobre "m" pixels do monitor. Por exemplo, para cada pixel exibido na imagem, existem 3x3 pixels no monitor (Figura 3.18a). O desvio padrão desta medição será 0,11 do pixel da imagem, ou seja, $1/9$ ($1/m$). Esta solução, embora bastante usual, reduz o campo de visão e dificulta a visão estereoscópica do operador quando se amplia o pixel dos monitores para se observar um pixel da imagem (funções de "zoom");
- O cursor permanece no centro do monitor quando a imagem é movida sobre a tela do monitor (vide Figura 3.18b). Este tipo de solução exige uma "reamostragem" em tempo real para garantir um movimento contínuo da imagem sobre a tela.

Figura 3.18: Exatidão sub-pixel nas medições fotogramétricas digitais

Figura adaptada de SHENK (1999)

O erro de identificação é outro fator que afeta a exatidão posicional do processo de restituição. Nos testes empíricos efetuados por Heissler apud Kraus (1993), são encontrados uma precisão menor no traçado de linhas do que o processo de leitura ou coleta de um único ponto. O resultado encontrado por Heissler independe da escala da foto e corresponde a aproximadamente $\pm 45\mu\text{m}$.

Para Eslami Rad (1995), os resultados mostram que os erros de restituição variam largamente conforme as características dos elementos do terreno. A variação dos erros planimétricos (ϵ_{XY}) ocorre entre 40 a 100 μ m. A precisão planimétrica é calculada de acordo com a seguinte relação da Equação 3.8.

$$\sigma_{XY} = \epsilon_{XY} \sqrt{2} \quad (3.8)$$

Para a restituição altimétrica, no caso de pontos cotados, a estimativa de erro é equivalente àquela prevista no MDT: 0,01 a 0,02% da altura do vôo, descrita por Kolbl (1997).

Veillet (1995) e Eslami Rad (1995) descrevem que os resultados de uma avaliação, desenvolvida pelo IGN (França) a partir de um grande número de objetos de diferentes categorias, resultaram num valor de precisão quanto à identificação de feições planimétrica de 75 μ m, e 0,025% da altura do vôo na altimetria. A Tabela 3.17 mostra a magnitude dos erros em EMQ encontradas em cinco classes de feições.

Tabela 3.17: Tolerâncias dos erros posicionais de identificação.

Fonte: Eslami Rad (1995)

Tipos de Feições	Precisão Posicional Horizontal na escala da foto [μ m]	Precisão Posicional Vertical (% h_g) [m]
Linhas de Força	130	0,040
Cruzamentos	87	0,020
Cantos de Edificações	50	0,030
Cursos d'água	87	0,025
Delimitação de clareiras	125	0,045

Para o processo de restituição para SIG, países norte-americanos e europeus têm adotado os parâmetros de qualidade de dados espaciais citados nas normas internacionais (ISO) e nacionais (SDTS). Estes parâmetros são descritos no Capítulo 4 e correspondem, basicamente, às: exatidões posicional, de atributo e temporal, completude e consistência lógica.

3.8.1. Organismos Governamentais de Cartografia

Nas empresas e organismos de mapeamento, este processo é considerado um dos mais custosos devido à necessidade de recursos humanos qualificados e de sistemas específicos. Como este processo freqüentemente concentra uma grande quantidade de dados, o monitoramento da qualidade é complexo e exige a adição de

um processo de edição e validação que demanda uma outra divisão ou setor. Por exemplo, o IBGE e as Divisões de Levantamento do Exército possuem setores específicos para a verificação e edição dos dados restituídos, de forma a adequá-los para suportar sistemas de Geoprocessamento. O conjunto destas operações é conhecido por validação de dados.

O termo validação é adotado pelos seguintes organismos: IBGE, COPEL, Paraná Cidade e DSG. Cada organismo trata este processo com distintos procedimentos. Contudo, o objetivo é o mesmo: evitar a “quebra do fluxo de produção” na entrada destes dados no SIG. Entende-se que, no processo de “validação”, são conferidos todos os elementos do modelo de dados e a adequação destes elementos às especificações.

3.8.2. Controle de Qualidade Adotado pelo IBGE

Para a o IBGE, são verificadas na validação de arquivos digitais as seguintes questões:

- a. Elementos do tipo linha e do tipo área interrompidos e/ou incompletos;
- b. Ausência de elementos;
- c. Elementos duplicados;
- d. Elementos coincidentes tratados em desacordo com as normas prescritas;
- e. Erros de conectividade de tratamento de elementos do tipo linha;
- f. Erros de fechamento de polígonos no tratamento de elementos do tipo área;
- g. Elementos classificados em níveis errados;
- h. Elementos classificados com simbologia errada (cor, estilo e peso);
- i. Deslocamento geométrico de elementos superior aos valores tolerados;
- j. Elementos vetorizados em categoriais erradas; e

- k. Elementos do tipo linha e do tipo área com espaçamento entre vértices maior que o valor especificado.

Para o IBGE, o processo de validação obedece a uma ordem de procedimentos, que se inicia pela conferência de cada categoria de informação. Em seguida, são verificadas as estruturas e configurações dos arquivos, a integridade dos elementos e, assim, sucessivamente. Os arquivos que apresentarem incorreções devem ser transferidos para a realização de correções e serão re-processados até a obtenção de índice zero de erros. Maiores detalhes estão descritos em IBGE (2002).

O monitoramento da qualidade, executado pelo IBGE, é efetuado principalmente, através de inspeções visuais na tela do computador e nas folhas impressas. Este monitoramento é padronizado seguindo uma ordem de verificação. Por exemplo, o primeiro passo é a verificação por catálogo de dados e por elementos do tipo cor, estilo, peso, fonte, etc. O segundo passo trata das questões de conectividade de linhas, fechamento de polígonos e verificação de filtros de suavização de linhas na vetorização, e o terceiro passo define as distâncias máximas toleradas para espaçamento entre os vértices das linhas.

É importante destacar que o processo de validação do IBGE corresponde aos processos de vetorização de cartas já existentes. Contudo, acredita-se que este mesmo processo é aplicado às tarefas de controle de qualidade dos dados restituídos.

3.8.3. Controle de Qualidade Adotado pela DSG

Para a 1ª Divisão de Levantamento do Exército da DSG, a validação de arquivos digitais visa:

- a) Simplificar a representação gráfica dos elementos espaciais;
- b) Definir a quebra dos elementos gráficos em pontos de interseção;
- c) Eliminar pontos e segmentos livres;
- d) Eliminar pontos redundantes;
- e) Remover linhas duplicadas; e,

- f) Revisar e corrigir as topologia e toponímia preliminares.

As rotinas de validação da DSG são, freqüentemente, automatizadas usando rotinas de programas específicos. Estas rotinas podem, por exemplo, substituir automaticamente os símbolos, textos, ou um elemento por outro, ou, então, identificar elementos duplicados para eliminá-los automaticamente e, assim, por diante.

Os procedimentos de validação são executados logo após a restituição. Contudo, os arquivos restituídos devem passar por uma revisão geral antes do início da validação. As seqüências operacionais deste processo são padronizadas, de forma que todos os procedimentos de validação sejam realizados da mesma forma. Isto facilita a retomada do processo por outro operador em caso da troca de turnos. Evita-se, assim, perda de produtividade e inconsistência nos procedimentos.

Segundo as Normas Provisórias para a Estruturação e Validação de Arquivos Digitais (NPEVAD), da DSG, ao término dos procedimentos de validação, estão garantidas a conectividade e a clareza dos arquivos digitais correspondentes às nove categorias.

Uma revisão da validação é executada em duas etapas, cujas inspeções são auxiliadas por meios analógicos e digitais (na tela do monitor). A primeira etapa consiste em verificar se os dados validados estão de acordo com a tabela de cores específicas e com as NPEVAD. Esta conferência é realizada com os arquivos impressos (plotagens). A segunda etapa é a revisão na tela do monitor, cujo objetivo é encontrar erros de validação não percebidos na primeira etapa, tais como feições e textos com atributos incorretos, células duplicadas, pequenos elementos e problemas de ligação de folhas.

Atualmente, a DSG vem desenvolvendo um novo padrão de estruturação dos dados digitais orientados ao objeto, cujo objetivo é atender todos os usuários de SIG na questão de importação dos dados gráficos. Esta padronização utiliza os seguintes passos:

- a. A identificação das entidades e seus relacionamentos espaciais;
- b. A constituição das classes de objetos;
- c. A definição das representações dessas entidades nas cartas topográficas para definição de classes;

- d. A elaboração dos métodos de visualização das classes de objetos modeladas;
- e. A identificação dos tipos de relacionamentos existentes entre as classes objetos;
- f. A elaboração do diagrama de classes-objeto, ou seja, da modelagem conceitual;
- g. A definição de um banco de dados geográfico orientado ao objeto; e,
- h. A implementação do modelo conceitual incluindo a definição das restrições topológicas nas classes criadas e implementação dos métodos de visualização.

Com esta metodologia, o atributo de geometria das classes dos objetos é herdado e carregado automaticamente quando importados os dados. Deste modo, as características das classes podem ser preservadas e visualizadas, sem sofrer alterações, ao passarem de um ambiente para outro. Garante-se, portanto, a conformidade dos dados em processo de transições de dados.

Os processos de edições e correções são reduzidos ao mínimo devido à "inteligência relativa dos dados", conforme um exemplo ilustrado na Figura 3.19. Esta ilustração mostra o comportamento da edição de segmentos de linhas, que representam uma divisa compartilhada, com outro segmento de uma estrada. Quando modificada a estrada, a divisa é, automaticamente, atualizada.

Figura 3.19: Exemplo de edição topológica do sistema LAMPS2, da Laser Scan.

Este tipo de sistema, que a DSG vem adotando, permite que os dados restituídos sejam capturados diretamente na base de dados orientado ao objeto, de forma que, durante a coleta, quando pré-definidas as restrições topológicas, os

métodos de validação sejam aplicados dinamicamente, permitindo a imediata correção pelo operador. Por exemplo, as interseções podem ser efetuadas automaticamente durante a coleta de dados, sem necessidade de seleção da operação. Porém, para isso, devem ser definidas as tolerâncias e as restrições.

3.8.4. Controle de Qualidade Suíço

As exigências de qualidade nos levantamentos cadastrais suíços são definidas por 100 artigos, que constituem o modelo de levantamento cadastral oficial, os quais se reportam, particularmente, à estrutura, à topologia, à precisão e ao grau de detalhes para os elementos distintos. Estas descrições são traduzidas numa linguagem geral de dados, que também garante um modelo de base de dados nacional com formato de padrão AVS/INTERLIS. Os dados são organizados em oito categorias e níveis de informações distintos. Sejam:

- a) Pontos fixos – pontos materializados, pontos da rede de triangulação, pontos de poligonais, etc.;
- b) Cobertura do solo: edificações; superfícies construídas, consistindo de sistemas viários, ferrovias, aeroportos, caixas d'água, jardins, praças, etc.; hidrografia e áreas florestais.;
- c) Objetos individuais e Elementos Lineares – muros, construções subterrâneas, postes, escadarias, etc.;
- d) Altimetria – pontos cotados, linhas de quebra, curvas de níveis, etc.;
- e) Toponímias – nomes de ruas, nomes dos edifícios principais, etc.;
- f) Utilidades – redes de distribuição de energia elétrica, telefonia, etc.;
- g) Limites Administrativos – limites de município, limites de cidades, etc.; e,
- h) Propriedades – lotes, muros, cercas, etc.

A precisão exigida pelas normas cadastrais OTEMO apresenta cinco níveis de tolerâncias (NT), descritos anteriormente. Na Tabela 3.18, são apresentados quatro níveis de tolerâncias de precisão relacionados aos níveis de informações suíças, que foram aplicados no projeto cadastral da OEEPE na cidade de Ferrara, Itália.

Tabela 3.18: Níveis de Tolerância de acordo com as categorias de fenômenos cartográficos.

Níveis de Informação	NT2	NT3	NT4	NT5
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
(a): pontos fixos	3	4	10	12
(b), (c): objetos com pontos bem definidos	10	20	50	100
(b), (c): objetos com pontos não claramente definidos	25	50	100	200
(h): limites de propriedades bem definidos; (f) utilidades bem definidas	3,5	7	15	35
(g) e (h): limites naturais; (f): utilidades não claramente definidas	20	35	75	150
(d): pontos altimétricos bem definidos	20	-	-	-
(d): pontos altimétricos na claramente definidos	-	100+350tg α		DHM25 ⁹

3.8.5. Controle de Qualidade Americano

Segundo as especificações do Estado de New Jersey quanto à exatidão das feições cartográficas 7-02.3, para fins cadastrais, são exigidos as seguintes condicionantes:

- Feições Culturais: Exceto para edificações, 90% das feições de culturas não devem exceder 0,75m das posições correspondentes no campo, considerando-se o original cartográfico impresso. Nenhuma das feições analisadas deverá exceder erros de 1,50m;
- Curvas de Nível: 90% de todas as curvas de nível inspecionadas devem estar corretamente impressas, dentro de $\pm 0,50\text{m}$ de desvio e 10% não devem conter erros que ultrapasse $\pm 1\text{m}$; e,
- Pontos Cotados: 90% de todos os pontos cotados inspecionados devem estar posicionados com precisão de 1/4 das curvas de nível, sendo que, em 10% dos pontos analisados, os erros não excedam $\frac{1}{2}$ intervalo das curvas de nível.

A precisão final exigida do processo de restituição americano obedece às normas NMAS, divulgadas pela US Geological Survey, e, eventualmente, às normas da ASPRS (comentadas no capítulo 4).

⁹ Precisão de acordo com o mapeamento topográfico 1:25.000.

4 GESTÃO DA QUALIDADE

Neste capítulo, são mostrados os conceitos de gestão de qualidade do Comitê Europeu de Responsáveis pela Cartografia Nacional – CERCO (Comitê Européen des Responsables pour la Cartographie Officielle). Adicionalmente, são abordados os parâmetros de qualidade dos dados geográficos, encontrados nas normas ISO, cuja aceitação vem sendo consagrada pelo grupo da Comunidade Européia (CEN). A abordagem destes parâmetros de qualidade tem o intuito de motivar a comunidade cartográfica e de geoprocessamento nacional a adotar um padrão de dados espaciais cuja qualidade deve estar em conformidade com os padrões de qualidade internacionais.

A conformidade, aqui tratada, está relacionada à precisão, à exatidão e à adequação dos dados espaciais. Erros, inexatidão, e imprecisão podem invalidar todo um projeto de geoprocessamento ou, no mínimo, comprometer os resultados das análises executadas no SIG e, portanto, a sua aplicação.

Paralelamente ao tratamento dos parâmetros de qualidade dos dados, é preciso informar ao usuário a qualidade dos dados e sua adequação ao uso, que é, geralmente, feito pelo conjunto dos parâmetros de qualidade representados pelo “metadados” ou dicionário de dados, consagrado pelas principais entidades internacionais de normalização e, por isso, descrito neste capítulo.

4.1. Gerenciamento da Qualidade

Pode ser definido como um sistema complexo, que consiste de todas as partes e componentes de uma organização que trata da qualidade dos processos e produtos. O QMS (Quality Management System) pode ser definido, ainda, como uma estrutura de gerenciamento de responsabilidades, procedimentos, processos e gerenciamento de recursos para implementar as linhas de ações e princípios necessários para atingir os objetivos de qualidade de uma organização (ISO 9000, 1994).

Baseado no relatório do Grupo de Trabalho sobre Qualidade do CERCO (2000), os principais fatores ligados ao gerenciamento e à qualidade dos dados dos padrões internacionais são:

- Satisfação do cliente;
- Adoção de normas;
- Implementação de um sistema de gestão de qualidade e ISO 9000;
- Controle de qualidade dos processos;
- Avaliação da qualidade;
- Documentação.

4.2. Satisfação do Cliente

A satisfação do usuário ou cliente, conforme CERCO (2000), é definida como um sentimento pessoal de prazer, ou de desapontamento em caso de insatisfação. Ela resulta da comparação do desempenho perceptível do produto/serviço com relação às suas expectativas. Se este desempenho exceder às expectativas, o cliente estará muito satisfeito. Se o desempenho estiver abaixo das expectativas, o cliente, certamente, estará insatisfeito.

Quanto mais baixa a expectativa, maior será a facilidade de satisfazer o cliente, mas, em caso de algum descontentamento, haverá, possivelmente, o risco de uma interrupção do serviço. Se houver uma baixa expectativa e pouca satisfação, a probabilidade de interrupção do projeto é quase inevitável. A Tabela 4.1 apresenta uma síntese dos estudos realizados pelo CERCO comparando o nível de expectativa com o nível de satisfação.

Tabela 4.1: Satisfação versus expectativa do usuário.

Satisfação Expectativa			
	Baixa	Média	Alta
Baixa	Perda inevitável	Lealdade moderada	Surpresa
Média	Perda inesperada	Reclamações do serviço prestado	Lealdade moderada
Alta	Descontentamento com acusações	Tolerável descontentamento	Lealdade Elevada

Os clientes com um nível médio de expectativa tendem ao descontentamento, formam grupos críticos que, nem sempre, fazem reclamações internamente, mas podem fazê-lo externamente. Quando se derem por insatisfeitos, dificilmente será possível reverter a situação. Este tipo de cliente pode mudar para um concorrente, de uma hora para outra, sem nenhuma notificação.

O cliente que tiver a imagem da qualidade elevada de um produto ou do organismo possuirá expectativas também elevadas e poderá tolerar descontentamentos ocasionais. Um nível de expectativa elevado, combinado com a satisfação, resulta na lealdade do cliente à agência de mapeamento. Contudo, esta lealdade pode ser quebrada se os preços forem abusivamente elevados. Um outro aspecto (que pode levar à perda deste cliente) é a falta de oferta de novas vantagens frente ao mercado.

Segundo o CERCO, as agências de mapeamento devem se conscientizar que o seu papel é ampliar e modificar as expectativas do cliente. Geralmente, as expectativas dependem da origem e da idéia do negócio, da comunicação e da propaganda, das experiências, da imagem pública e de uma boa discussão e negociação.

O CERCO (2000) destaca a importância de medir a satisfação do cliente e relata que

a medição da satisfação do cliente não deve ser uma atividade isolada dentro da organização; ela deve ser encarada como um processo ou uma operação permanente do gerenciamento. A medição da satisfação do cliente é um processo que implica, continuamente, na manutenção dos clientes.

4.3. Normalização

Segundo Eslami Rad (1995) e Tastan e Altan (1997), normas acessíveis são indispensáveis à garantia de qualidade do processo de aquisição de dados espaciais, além de serem um elemento fundamental para o desenvolvimento do SIG, o qual permite integrar operações e compartilhar dados.

Em geral, segundo Lummaux (1996) e Joly (1996), as normas que tratam dos dados espaciais têm o objetivo de padronizá-los de forma que possam ser carregados de um ambiente a outro sem alterações das características geométricas, semânticas, topológicas e qualitativas, que compõem os dados respectivos.

Se esta padronização for estendida aos processos de produção e ao controle da qualidade destes processos, as chances para o sucesso do produto serão altas.

A normalização deve facilitar a comercialização dos dados espaciais e, principalmente, o entendimento entre produtor e demandante.

Tastan e Altan (2000) descrevem a estruturação das normas de qualidade, segundo a ISO, apresentada da seguinte forma:

- a) **Terminologia da qualidade dos dados espaciais:** norma que contém todos os termos e definições relacionadas à qualidade de um dado espacial.
- b) **Princípios de qualidade:** contém um esquema das características da qualidade dos dados. São definidos os parâmetros e a qualidade de medidas do dado espacial.
- c) **Nível de qualidade conforme:** descreve os níveis de exatidão e precisão aceitáveis. Especifica o nível ou classe de qualidade a que pertence cada elemento, ou o conjunto de elementos dos dados. Define, também, o limite de confiança e o nível de aceitabilidade destes elementos.
- d) **Procedimentos de avaliação da qualidade:** fornece diretrizes para procedimentos de avaliação das informações quantitativas de qualidade, como é o caso dos parâmetros de qualidade posicional. Em geral, esta avaliação deve comparar os dados em produção com as especificações, verificando a conformidade entre eles. Basicamente, esta norma deverá consistir nas seguintes operações:

- Desenvolvimento de especificações do produto;
- Controle de qualidade durante a produção dos dados;
- Inspeção de conformidade à especificação do produto;
- Avaliação da conformidade do conjunto de dados às exigências do usuário.

Segundo a ISO/TC 211 (1999), a adoção de normas, seja nos processos fotogramétricos ou na descrição da qualidade de dados geográficos, auxilia os demandantes e os organismos de fornecimento destes dados espaciais a reduzirem os riscos da produção de dados inadequados à aplicação desejada.

Alguns exemplos de sucesso da adoção de normas no campo cartográfico são encontrados em OMO/OTEMO¹ (normas suíças), CEN/TC287² (normas européias), ISO/TC 211³ (normas internacionais, adotadas por importantes organismos de mapeamento), DIGEST⁴ (norma adotada pelo exército americano), NSSDA⁵ (normas americanas para dados espaciais da FGDC/ NSDI⁶)

No Brasil, algumas organizações se destacam na elaboração de normas setoriais, motivadas a satisfazer, em princípio, suas necessidades, como é o caso da Divisão do Serviço Geográfico (DSG) do Exército Brasileiro.

4.4. Sistema de Gestão de Qualidade e ISO 9000

Um Sistema de Gestão da Qualidade pode ser visto como um sistema complexo, que consiste em todas as partes e componentes de uma organização que lida com a qualidade de processos e de produtos. O Sistema de Gestão da Qualidade pode ser definido como a estrutura de gerenciamento, responsabilidades, procedimentos, processos e recursos de gerenciamento para implementar os princípios e linhas de ação necessários para alcançar os objetivos de qualidade de uma organização.

¹ Ordennance sur la Mensuration Officielle/Ordennace Technique sur la Mensuration Officielle

² Comitê Técnico 287 - European Standardization Organization for Geographic Information

³ Comitê Técnico 211 da ISO – Geographic Information/Geomatics.

⁴ Digital Geographic Information Exchange Standards.

⁵ National Standard for Spatial Data Accuracy

⁶ Federal Geographic Data Committee/National Spatial Data Infrastructure

A família das normas ISO 9000, publicada em 1987 e revisada em 1994, teve como meta fornecer uma estrutura de trabalho normativa e uma metodologia para definir um sistema de gestão da qualidade, de modo consistente, com atenção especial à satisfação do usuário. Todas as normas da família ISO 9000 fornecem exigências de qualidade e explicam o que um sistema de gestão da qualidade deve conter, mas não descreve a forma de o realizar.

Os resultados de um sistema de gestão de qualidade, segundo as definições da norma ISO 9000, consistem na comprovação da qualidade do produto em cada etapa de sua produção, proporcionando a confiança dos clientes, mesmo antes de eles utilizarem o produto.

4.5. Qualidade dos Processos e Avaliação da Qualidade

Estes dois itens fatoriais do programa de gerenciamento de qualidade, proposto pelo CERCO, foram abordados nos capítulos anteriores. Contudo, para a continuidade da avaliação da qualidade, em conformidade com as normas adotadas pelos organismos internacionais, são descritos, a seguir, os parâmetros de qualidade, utilizados para a avaliação da qualidade dos dados.

As normas, divulgadas pelas organizações supracitadas, quando confrontadas, apresentam parâmetros de qualidade comuns (mostrados na Tabela 4.2), cujo propósito, definido pela ISO, é o de “descrever a qualidade dos dados, facilitando a seleção do conjunto de dados que melhor satisfaça às necessidades ou aos requisitos de uma aplicação específica”. Esta descrição permite que o produtor e o vendedor de dados espaciais difundam seus produtos, ajudando o usuário a determinar a aptidão de seus usos segundo as exigências predeterminadas.

Tabela 4.2: Parâmetros de qualidade comum para diferentes organismos.
(adaptada de Azouzi, 1999).

Parâmetros de Qualidade	FGDC ⁷	CEN ⁸	ISO ⁹
Linhagem dos Dados	✓	✓	✓
Exatidão Posicional	✓	✓	✓
Exatidão de Atributos	✓	✓	✓
Exatidão Temporal		✓	✓
Consistência Lógica	✓	✓	✓
Completeness	✓	✓	✓

Estes parâmetros podem ser usados para o monitoramento e para a comprovação da qualidade do produto e são considerados, pela ISO/TC 211, como indicadores da qualidade dos dados.

4.6. Linhagem dos Dados

É um conjunto de informações, em forma de relatório, de qualidade dos dados espaciais ou presente no conteúdo do dicionário dos dados, o qual descreve a história dos dados desde a sua produção até a criação do lote em questão. São descritos os seguintes itens:

- Fonte dos dados, datas de execução, aquisição e publicação das mesmas, sistemas de aquisição e dos procedimentos de coleta;
- Tipos de tratamentos, processamentos e transformações aplicadas aos dados, além da data de execução;
- Referenciais (sistemas de referência, sistemas de projeção, parâmetros de transformação da projeção, datum horizontal, datum vertical, resolução e precisão);
- Operadores e organismos responsáveis pela produção e distribuição destes dados.

⁷ Federal Geographic Data Committee

⁸ Comité Européen de Normalisation

⁹ International Organization for Standardization

A importância deste parâmetro está na correta identificação dos dados. Torna-se um suporte para a integração destes (dados) a uma outra base de dados, e para a escolha dos métodos e ferramentas adequadas ao seu tratamento e integração. Maiores detalhes podem ser vistos em SDTS (1997).

4.7. Exatidão Posicional

A exatidão posicional é definida por Tastan e Altan (1999) como o desvio da posição geográfica que um conjunto de dados pode sofrer em relação à sua verdadeira posição no terreno.

Para Azouzi (1999), a exatidão posicional ou geométrica das feições espaciais diz respeito à precisão das coordenadas e depende, diretamente, dos meios de aquisição e do tratamento das medidas. Por exemplo, a exatidão da posição (XY) e da altitude das curvas de nível depende da precisão em que foram medidos os pontos altimétricos e dos algoritmos utilizados para a interpolação.

A ISO/TC 211 (2000) contempla dois subelementos da exatidão posicional: a exatidão posicional horizontal e a vertical.

4.8. Exatidão Posicional Horizontal

A exatidão posicional horizontal é a medida da incerteza na posição horizontal de um ponto em relação ao datum horizontal exigido por uma especificação de produto. Esta incerteza pode ser causada por erros de fontes diversas (aleatórios e sistemáticos). Pode, ainda, ser medida através do erro médio quadrático (EMQ), que indica, por exemplo, as discrepâncias dos pontos fotogramétricos observados em relação aos geodesicamente observados. (DRUMMOND, 1995).

A exatidão posicional horizontal (planimétrica) é tratada por vários organismos cartográficos, tanto em nível nacional, quanto internacional. O Brasil, por exemplo, utiliza o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), regulamentado pelo decreto nº 89.817 – DOU¹⁰ 1984 – para tratar de documentos cartográficos impressos (cartas, mapas e plantas). Para o critério de qualidade, é considerado que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC estabelecido. A probabilidade de 90%, segundo o decreto,

corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão ($PEC=1,6449*EP$)¹¹. O erro padrão isolado não deverá ultrapassar a 60,8% do PEC.

O nível de exatidão das cartas impressas é dividido em classes A, B e C. Como exemplo, para a classe "A", o PEC é de 0,5mm na escala da carta, sendo de 0,3 mm o erro padrão (EP) correspondente. Então, um mapa na escala 1:2000 terá $PEC=1m$ e $EP=0,61m$. Maiores detalhes podem ser encontrados em Oliveira (1996) e Chaves (1998).

Esta norma brasileira foi inspirada nas normas americanas (National Map Accuracy Standard – NMAS, publicada em 1947). Atualmente, elas têm sido revisadas pela ASPRS e pela FGDC com ênfase ao avanço da tecnologia espacial.

As normas da NMAS determinam que 90% dos pontos bem definidos devem ter erros menores do que 2,146 dos erros permitidos. O padrão de exatidão é tratado como "Circular Map Accuracy Standard" (CMAS) e o erro padrão como "Circular Standard Error". Detalhes podem ser vistos nas normas nacionais de exatidão posicional para dados espaciais (FDGC-SDT-007.3-1998), encontradas em FDGC (1999).

A American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) desenvolveu outra norma para mapeamentos de escalas grandes. Nesta norma, a exatidão horizontal é definida a partir do erro médio quadrático (EMQ) das coordenadas levantadas e dos pontos de conferência (pontos de check) na escala do mapa (terreno). A Tabela 4.3 mostra o limite do EMQ para as coordenadas X e Y, definido para o mapeamento de classe 1 e tolerância máxima do EMQ.

¹⁰ Diário Oficial da União.

¹¹ Artigo 8 – parágrafo segundo do decreto nº 89.817 – DOU 1984.

Tabela 4.3: Exatidão horizontal de acordo com as normas ASPRS.

Exatidão Horizontal [m] Tolerância para EMQ _(x) e EMQ _(y)	Padrão de Exatidão	ESCALA
0,0125	0,027	1:50
0,025	0,054	1:100
0,050	0,107	1:200
0,125	0,268	1:500
0,25	0,54	1:1000
0,50	1,07	1:2000
1,00	2,15	1:4000
1,25	2,68	1:5000
2,50	5,36	1:10000
5,00	10,73	1:20000

Esta norma propõe testes de tendências e de precisão para um conjunto de dados de amostra. Estes testes envolvem 20 pontos de conferência, bem definidos e distribuídos apropriadamente através da área mapeada (uma folha em caso de impressão). Os procedimentos do testes correspondem ao teste-t e qui-quadrado.

4.9. Exatidão Posicional Vertical

A exatidão vertical é a medida de incerteza da posição vertical de um ponto em relação ao datum vertical. O mesmo tratamento e relacionamento com as normas são estabelecidos com o PEC altimétrico brasileiro. Contudo, 90% dos pontos altimétricos, testados no terreno, não deverão apresentar a metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo o erro padrão representado por 1/3 desta equidistância.

Para a ASPRS e para as normas brasileiras, a exatidão vertical é definida com o EMQ de 1/3 do intervalo das curvas de nível. Para os pontos cotados, o EMQ não deve exceder 0,6 do intervalo das curvas de nível.

4.10. Exatidão de Atributo

A exatidão de atributos ou temática corresponde à informação descritiva das características de uma entidade espacial. Esta descrição, segundo Quintanilha (1996) e Phuyal et al (1997), deve se aproximar, o melhor possível, da realidade. Existe uma

ligação entre a exatidão dos atributos e a posicional. Erros de exatidão posicional implicam em erros de atributos, dentre os quais se destacam os valores de comprimento, área e perímetro do terreno.

Para Tastan e Altan (1999), a exatidão de atributos é dividida em dois subelementos:

- Quantitativo – por exemplo, variáveis como pontos cotados, árvores e postes ou outros elementos representados por pontos.
- Classificação de Feições e de Atributos – por exemplo, classes de uso de solo, de vegetação e de áreas administrativas.

Na avaliação dos atributos quantitativos, Eslami Rad (1996) descreve o emprego dos procedimentos aplicados à exatidão posicional. Para determinar a exatidão de classificação, também conhecida como variáveis categóricas, o autor referencia o uso do método de classificação, também denominado de método da matriz de classificação. Este método é descrito por Azouzi (1999), ISO/TC 211 (2000) e Goodchild (1995).

O princípio desta matriz é fazer, primeiramente, a seleção de uma amostra localizada; em seguida, a comparação de cada classe especificada com uma classe de origem é feita com maior exatidão. A matriz deve apresentar os valores de comparação entre uma classe e outra em sua diagonal. A precisão global pode ser estimada com a ajuda do Fator de Porcentagem Corretamente Classificado (PCC), representado pela Equação 4.1.

$$PCC = \frac{\text{Número de Entidade Corretamente Classificadas}}{\text{Número Total de Entidades}} * 100 \quad (4.1)$$

Eslami Rad (1995) aborda critérios para determinar um número ótimo (N) da amostra da base de dados para ser comparado com a classe de dados mais exata. É determinado o número (X) de classificações incorretas permissíveis nesta amostra. Se (X) for menor ou igual ao nível de precisão especificado, então o conjunto de dados pode ser aceito como "exato" ou "conforme".

A aceitabilidade ou não da amostra é referida também em Azouzi (1999), que considera que:

- Cada teste ou item selecionado pode ser atribuído a uma ou duas categorias (correto versus incorreto);
- A probabilidade de se obter um resultado correto deve ser a mesma para cada teste;
- Cada teste deve ser conduzido independentemente dos demais;
- Deve ser realizado um número suficiente de testes.

4.11. Exatidão Temporal

Algumas feições espaciais têm inerentes diferentes tempos inerciais e, deste modo, exigem diferentes intervalos de tempo de inspeção, revalidação e atualização. Como exemplo, tem-se a altitude de uma base geodésica, que é, basicamente, invariável. Entretanto, a profundidade de um córrego para uma estação de tratamento varia rapidamente.

Neste caso, o parâmetro temporal deve avaliar as características dos elementos espaciais que requerem diferentes intervalos de inspeção para, em seguida, compor diferentes ciclos de atualizações, verificações e validações.

Segundo Tastan e Altan (1999), este parâmetro de qualidade é dividido em três subelementos:

- i. **Exatidão de natureza temporal** – tomada a partir da comparação entre a exatidão da informação registrada e a exatidão atual desta informação. Um exemplo claro seria a verificação da última data de revisão, comparada ao período de revisão exigido.
- ii. **Consistência temporal** – envolve a atualização dos dados. É considerado fator de correção de eventos ordenados ou seqüenciais. Exemplo: a ordenação do ciclo de atualização por prioridades de aplicações.
- iii. **Validez temporal** – periodicidade válida dos dados. Um exemplo é a validade temporal inexata para um conjunto de dados do censo de 1998, que contém dados de 1995.

4.12. Consistência Lógica

Também conhecida como integridade topológica, a consistência lógica trata da representação dos objetos e da topologia e da utilização. Para Phuyal et al (1997), um conjunto de dados espaciais é considerado logicamente consistente quando “obedece a todas as características estruturais do modelo conceitual”. Em princípio, a consistência lógica é uma regra de condição e restrição da estrutura topológica dos dados (por exemplo: duas curvas de nível nunca poderão se cruzar na base de dados).

Esta componente é importante na gestão e na transferência de dados. A inconsistência lógica da base de dados altera a estrutura dos dados e, conseqüentemente, a representação da realidade. Conforme Azouzi (1999), a consistência lógica permite verificar:

- Se as relações entre os objetos são representadas e se elas estão conforme a realidade;
- Se a topologia é representada e respeitada;
- Se as variáveis utilizadas aderem aos valores apropriados (valores limites, tipo, etc.).

Conforme a ISO/TC 211 (2000), os subelementos da consistência lógica podem ser classificados em:

- **Consistência de domínio** – também chamada de regras de consistência de domínio. Corresponde à coerência dos valores dos dados dentro de um domínio. Por exemplo, as coordenadas geográficas (latitude e longitude) não deverão exceder $+90^\circ$ a -90° de latitude e $+180^\circ$ à -180° de longitude.
- **Consistência de formato** – é a coerência do arquivo dos dados armazenados. Indica se o formato da especificação do produto foi seguido. A consistência de formato é controlada, em alguns casos, a partir da conferência da extensão do formato, tamanho do arquivo (quantidade de bytes), etc.
- **Consistência topológica** – é o grau de aderência das características geométricas que não variam depois de várias transformações

cartográficas, o que significa estabilidade da estrutura dos dados e integridade das relações topológicas. Tome-se, como exemplo, um conjunto de dados que é avaliado de acordo com as seguintes regras e restrições topológicas: todos os polígonos são fechados e sem ausência de centróides, detecção de intersecções, etc.

Para Eslami Rad (1995), os testes de consistência lógica são limitados a três grupos. O primeiro examina o conjunto de dados nos termos de valores permissíveis, detectando erros grosseiros nos atributos e nos dados de posição. O segundo grupo é composto de testes aplicados aos conjuntos de dados, validando as seguintes questões:

- Todas as linhas foram interceptadas como pretendido?
- Existem elementos duplicados?
- Existe algum nó de linha que ultrapassa (overshoots) ou fica aquém (undershoots) do local onde deveria interceptar outra linha?
- Existem polígonos excessivamente pequenos ou com linhas excessivamente próximas?

O terceiro grupo corresponde aos testes topológicos que podem ser realizados com ajuda de softwares de verificação topológica. Alguns exemplos de possíveis procedimentos podem ser vistos em Kainz (1995).

O risco de perda de informações e, em especial, da consistência lógica na transferência de dados (importação e exportação) é quase inevitável em caso de inexistência de uma norma ou de um formato padrão de transferência de dados. Um bom exemplo disso é quando se utiliza o formato DXF na importação ou exportação, pois o risco de perda de informação é grande e dificilmente será permitido preservar a estrutura topológica.

4.13. Completude

Também denominada exatidão de conteúdo, a completude está relacionada à presença ou à omissão de elementos espaciais e de seus atributos na base de dados (MORRISON, 1995).

Para Brassel et al (1995) e Azouzi (1999), esta componente pode ser avaliada segundo o atendimento às seguintes questões:

- A cobertura da área está completa?
- O número de entidades modeladas é igual ao número dos objetos no terreno?
- O número de atributos corresponde à quantidade de objetos modelados?
- Todas as entidades representadas no terreno nominal estão representadas no modelo?

Para estes autores, a completude do modelo de dados está ligada à correspondência entre a base de dados e o fenômeno modelado.

Um outro aspecto abordado é a classificação dos fenômenos geográficos por categorias e por níveis de informação. A Figura 4.2 expressa um exemplo dessa subdivisão da categoria "transportes" em níveis de informação. A subdivisão "estradas" pode estar incompleta devido à ausência da subdivisão "ruela ou beco". O problema surge quando é esgotada a possibilidade de codificação ou inserção deste "subnível de informação" na categoria adequada.

O problema pode crescer quando as categorias são mal definidas e validadas, apresentando sobreposições ou duplicidade. Isto significa que uma feição espacial estará inserida em mais de uma classe, causando uma confusão de classes.

Figura 4.1: Exemplo de classificação de níveis incompleta

A ISO/TC 211 classifica a completude em dois subelementos: comissão (excesso de dados) e omissão (ausência de elementos). A avaliação da completude pode ser efetuada por comparação de níveis de informações com um lote de valores predefinidos. Nos sistemas fotogramétricos digitais, a omissão de dados gráficos é

minimizada na fase de coleta ou de extração de informações com o auxílio da superposição vetorial sobre o modelo fotogramétrico.

4.14. Dicionário dos Dados

Um elemento encontrado em todas as normas internacionais da informação geográfica é o dicionário de dados ou “metadados”, cuja função é a de descrever o conteúdo, a qualidade, a finalidade e as condições de aplicação, o acesso aos dados para transferência e para o processamento, a ordem exata na qual os parâmetros de qualidade foram avaliados e a importância relativa dos elementos dos dados.

O dicionário dos dados é considerado uma ferramenta auxiliadora do usuário para a compreensão do uso desses dados. Alguns algoritmos do dicionário de dados podem determinar as tolerâncias, a escala de visualização na tela, a resolução, dentre outros. Fundamentalmente, a função dos metadados é informar ao usuário sobre as condições de processamento, tratamento e utilização dos dados e, principalmente, se o conjunto de dados é adequado a determinadas aplicações – “adequado ao uso”.

A norma FGDC é freqüentemente utilizada nos Estados Unidos, principalmente, como uma espécie de documentação para os dados. A estrutura dos arquivos é predefinida com palavras-chave e o arquivo tem formato texto do tipo Hyper Text Mark up Language (HTML) para difusão na Internet, cumprindo o primeiro objetivo (de informar ao usuário sobre os dados).

Segundo Azouzi (1999), para utilização do dicionário dos dados de maneira otimizada, ele deve estar presente em duas fases diferentes do ciclo de vida dos dados: nas operações de produção dos dados e nas operações de pós-produção, envolvendo tratamento, armazenamento e transferência dos dados. O autor cria operações para o desenvolvimento, a coleta e o tratamento do dicionário dos dados para ambientes SIG.

4.15. Parâmetros de Qualidade na Produção Fotogramétrica

Em Eslami Rad (1995), os parâmetros de qualidade supracitados são relacionados às etapas da produção fotogramétrica a partir da do apoio de campo,

Tabela 4.4. Contudo, foram adicionados na tabela os processos de obtenção das imagens, geração de MDT e de ortofoto.

Nos processos fotogramétricos devem ser monitorados e controlados: a qualidade de exatidão posicional, com exceção do processo de transferência de dados; a exatidão de atributos relativos aos temas a serem restituídos e a edição e validação dos dados restituídos para o uso em um SIG de forma a garantir que todos os atributos e as suas características estejam de acordo antes e após a transferência de dados para uso em outros sistemas; a exatidão temporal que deve impor registros de tempo válidos e recomendações do ciclo de atualização dos diferentes dados e produtos; a qualidade da consistência de formato, principalmente, para o processo de geração de ortofotos, e a aplicação dos parâmetros gerais de consistência lógica no processo de restituição e edição e validação, essencialmente o de consistência topológica; a qualidade na completude é aplicada nos processos de restituição, edição e validação e, transferência de dados, garantindo a qualidade do produto final.

Tabela 4.4: Parâmetros de qualidade na produção fotogramétrica.

Processo	Obtenção das Imagens	Apoio de Campo	AT ¹²	Geração de MDT	Geração de Ortofoto	Restituição	Edição e Validação	Transferência de Dados
Exatidão Posicional	x	x	x	x	x	x	x	
Exatidão de Atributos						x	x	x
Exatidão Temporal	x	x	x	x	x	x		
Consistência Lógica				x		x	x	
Completude						x	x	x

A interoperabilidade pode ser também considerada como um parâmetro de qualidade para a transferência de dados de um sistema para outro. O OGC (Open GIS Consortium), busca uma solução genérica de interoperabilidade, que pode ser entendida como: “A habilidade de dois ou mais sistemas, sejam computadores, dispositivos de comunicação, base de dados, rede e outras tecnologias de informação; interagirem um com outro e trocar dados de acordo com regras e conceitos comuns que definam um comum entendimento da informação e das operações disponíveis em cada sistema cooperativo”, Vckovski (1997).

O capítulo seguinte propõe um método de sistematização de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais, objetivo maior deste trabalho.

¹² Aerotriangulação

5 METODOLOGIA PROPOSTA

Conforme o objetivo proposto nesta pesquisa, este capítulo apresenta um sistema de controle de qualidade para os processos fotogramétricos, dando-se maior ênfase aos processos digitais.

5.1. Sistema de Controle de Qualidade dos Processos

O Sistema de Controle de Qualidade dos Processos – CQP, como será chamado, propõe soluções para manter a qualidade dos produtos fotogramétricos digitais, de modo a satisfazer aos mais exigentes clientes e usuários de SIG, além de procurar proporcionar diretrizes aos produtores para que estes consigam satisfazer as expectativas de seus clientes. A estrutura básica do sistema proposto é fundamentada nos estudos bibliográficos apresentados anteriormente.

O princípio do método é baseado no conjunto de obras de autores como Eslami Rad (1996) e Mayfiel (2002) e, também, no conjunto de normas internacionais, citadas em capítulos anteriores. Além dos princípios teóricos, as experiências da autora, adquiridas no Instituto de Fotogrametria da EPFL, centro de excelência de ensino e pesquisa da Suíça, foram fundamentais para a arquitetura do sistema CQP.

A estratégia para controlar a qualidade em cada uma das etapas dos processos aerofotogramétricos foi citada por Eslami Rad (1995) e por Mayfield (2002). Estes autores usaram, como base, o seguinte princípio:

O somatório estatístico dos erros, associados a cada uma das partes dos processos de produção, pode ser adaptado à indústria aerofotogramétrica conforme a Equação 5.1.

$$\Sigma_{\text{produto}} = \sqrt{\Sigma \text{Apoio}^2 + \Sigma \text{Foto}^2 + \Sigma \text{Aerotriangulação}^2 + \text{Orient}^2 + \text{Coleta}^2} \quad (5.1)$$

A precisão do produto é, portanto, considerada como o somatório estatístico dos erros (Σ_{produto}) associados a cada uma das partes dos processos de produção (somatórios dos erros cometidos no apoio terrestre, aerotriangulação, orientação e

coleta de dados espaciais). A Equação 5.1 permite mostrar, genericamente, a validade estatística dos processos fotogramétricos considerados.

O primeiro propósito do CQP é identificar ocorrências de problemas sistemáticos na produção, reduzindo ou eliminando, conseqüentemente, esses tipos de erros. Em seguida, busca-se o principal propósito, que é garantir a qualidade do produto final e sua adequação ao cliente.

O CQP incentiva ainda o produtor de dados espaciais a testar novas tecnologias ou novos métodos de trabalho através dos mesmos princípios de controle de qualidade, monitorando e documentando as ocorrências de problemas ou eventos de sucesso em cada etapa do processo e em cada projeto (baseando-se nas especificações estipuladas).

Os benefícios são a garantia de qualidade em curto prazo e, maior produtividade e menor custo em médio prazo. Conseqüentemente, tem-se melhor mercado para o produtor. Para os contratantes e usuários, os benefícios seriam a redução dos riscos de não-adequação, com a garantia das qualidades geométrica e radiométrica de acordo com as suas expectativas.

5.1.1. Generalidades

O CQP gerencia, neste estudo, os processos fotogramétricos que ocorreram depois de obtidas as imagens aerofotogramétricas. Alguns processos, vistos nos capítulos 2 e 3, também são considerados.

Algumas diretrizes de gerenciamento do sistema são baseadas nas especificações da ISO 9004-1/1994 – sistema de gestão de qualidade, conforme descrito a seguir:

- a) **Pesquisa do mercado:** a finalidade é o fornecimento de subsídios para melhorar o planejamento e a produção dos dados espaciais, de forma a serem incorporadas as expectativas do cliente no desenvolvimento dos produtos.
- b) **Projeto e desenvolvimento do produto:** corresponde à tradução das expectativas verbalizadas dos clientes em características do projeto. No CQP, este tipo de procedimento corresponde, primeiramente, à tradução das expectativas do cliente para um modelo de dados conceitual, verificando a viabilidade de sua execução, principalmente em relação aos custos e benefícios. Se for o caso, deve-se reapresentar o projeto com outras alternativas viáveis do modelo conceitual, ressaltando-as. Em seguida, o

modelo conceitual deve passar pelo processo de Descrição dos Procedimentos, conforme o item 5.3.1.

- c) **Planejamento e escolha dos processos:** nesta etapa, é feita a escolha dos processos mais apropriados para obtenção do produto adequado às necessidades do cliente ou conforme as expectativas criadas. Procura-se considerar as garantias quanto à confiabilidade, à qualidade, ao prazo e às condições de entrega, de reposição, etc.
- d) **Fornecedores e prestadores de serviços:** para assegurar a garantia da qualidade do produto, é necessária a exigência de garantia de qualidade dos fornecedores de material e de serviços. Em caso de terceirização da produção, deve haver um rigoroso controle de qualidade inerente a esta transferência de responsabilidade.
- e) **Inspeção e teste de qualidade:** é feito o monitoramento da qualidade durante as etapas de produção e inspeção final dos processos e do produto.
- f) **Acondicionamento e armazenamento dos produtos:** considera o arquivamento dos produtos e os detalhes dos processos de seu armazenamento e de sua entrega.
- g) **Assistência e manutenção:** considera que quando é feita a entrega do produto, devem ser garantidos a assistência, a manutenção, o treinamento e o suporte durante um período pré-estabelecido. Após o vencimento do período de assistência e manutenção, é importante a renovação do contrato de manutenção para que o produto não se torne obsoleto e, eventualmente, inútil.

5.1.2. Exigência da Documentação

O processo de documentação do CQP é baseado no Sistema de Qualidade ISO 9000, descrito por Maranhão (1996), e definido como um conjunto de regras escritas e mínimas que organizará o funcionamento eficiente da função de qualidade na empresa.

Um primeiro ponto a ser levado em consideração na composição dos sistemas de qualidade é a ordenação de “documentos normativos” e de “documentos de comprovação” de qualidade.

Os documentos de comprovação são também denominados “registros de qualidade”. Este tipo de documento registra e demonstra, efetivamente, os resultados da aplicação dos documentos normativos por meio de informações e de dados, os

quais também comprovam a qualidade praticada no organismo. Cada documento é preenchido para cada atividade executada na forma de boletins de análise e controle dos processos. Funcionam como o histórico do que, de fato, foi realizado, da mesma forma como um boletim escolar demonstra o resultado prático do aluno.

Os documentos normativos são aqueles que definem como as atividades são executadas. Estes documentos podem ser descritos na forma de diagramas e, neste estudo, defende-se que eles sejam incorporados na etapa de “descrição dos procedimentos”, conforme apresentado no subitem 5.2. São utilizados com o propósito de aproximar o sistema CQP proposto às normas ISO 9000. A documentação dos procedimentos, das ações corretivas e dos resultados do controle de qualidade obtidos em cada processo produtivo deverá ser exigida no CQP, conforme mostrado nos itens a seguir.

5.1.3. Estrutura Básica do CQP

A estrutura do Sistema de Controle de Qualidade dos Processos (CQP) Fotogramétricos Digitais é apresentada na Figura 5.1 e Figura 5.2 .

Controle de Qualidade na Linha de Produção

Figura 5.1: Fluxograma de Funcionamento do CQP – Parte 1

Figura 5.2: Fluxograma de Funcionamento do CQP – Parte 2

O CQP é dividido em duas partes principais. A primeira delas corresponde ao Módulo de Descrição de Procedimentos, responsável pela tradução ou descrição das regras, normas, instruções de trabalho, ações corretivas e documentação dos processos efetuados. A segunda parte do CQP é o controle de qualidade dos processos fotogramétricos. Nele, estão incorporados conjuntos de métodos, técnicas e parâmetros de qualidade, que auxiliam no monitoramento e no controle de qualidade de cada processo fotogramétrico utilizado na produção de dados espaciais. Os itens subseqüentes descrevem os componentes do CQP e todos os elementos integrantes do sistema proposto.

5.2. Documentação de Procedimentos

Esta divisão do sistema CQP é um processo de gestão e de execução, que trata de todos os conjuntos de regras escritas de cada ciclo de produção. Uma das principais tarefas da Documentação de Procedimentos é a tradução das expectativas do cliente, materializada num modelo de dados conceitual em instruções de trabalho, regras, etc., de forma clara, objetiva e bem estruturada. Contudo, existem dois casos específicos e freqüentes na área de mapeamento:

- Caso 1 – as especificações predefinidas, como é o caso das licitações públicas. É conveniente traduzi-las num modelo conceitual e renegociá-las, de forma que as expectativas do cliente sejam exeqüíveis e superadas.
- Caso 2 – a existência de normas regulamentadas aplicáveis no projeto. O sistema deve seguir os padrões das normas e, para os casos excedentes, o modelo de dados e as especificações de trabalho devem ser negociados com o contratante. Maiores detalhes são encontrados no subitem 5.1.3.3.

Este processo é projetado neste estudo para descrever e traduzir o conjunto de regras e procedimentos de trabalho de forma clara e objetiva. Deve usar artifícios gráficos, como diagramas, fluxogramas, gráficos, organogramas, etc. para descrever o conjunto das regras e procedimentos relacionados aos elementos supracitados.

Pesquisadores como Duret e Pillet (1998), Bézières (2000) e Ranky (1990) relatam o sucesso das instruções de trabalho usando a comunicação visual, o que levou a adotar este recurso na Descrição de Procedimentos. Este recurso é chamado de Modelo Gráfico. A Figura 5.3 apresenta um exemplo genérico de uma descrição do procedimento obedecendo ao Modelo Gráfico.

Os componentes da Descrição de Procedimentos foram definidos a partir das técnicas de Duret e Pillet (1998) e se resumem em: a) instruções de trabalho, b) especificações, c) regras e regulamentações, d) ações corretivas e e) processos efetuados. Em suma, este processo, primeiramente, deve fornecer uma orientação precisa aos operadores, de forma que estes executem suas atividades de modo adequado. Em segundo lugar, deverá documentar as atividades e processos desenvolvidos na produção de dados espaciais, facilitando futuros planos da organização.

Figura 5.3: Modelo Gráfico dos procedimentos¹

Para facilitar a documentação das atividades acima, adota-se a técnica de NFLI², descrita por Nugent (1995), adaptada aos processos fotogramétricos digitais. O princípio desta técnica é o uso de planilhas de procedimentos com as instruções de trabalho a serem seguidas na produção como, por exemplo, as instruções para a restituição de cada nível de informação. Esta planilha deve ser sinalizada à medida que as instruções sejam efetuadas e conferidas.

¹ Figura adaptada de Duret e Pillet (1998)

² NFLI – Northern Forest Lands Inventory (New York, Vermont, New Hampshire e Maine).

5.2.1. Instruções de Trabalho

As instruções de trabalho definem, primeiramente, como uma atividade deve ser executada e, em seguida, como esta ocorreu. Nelas, devem estar contidos os objetos das atividades, as explicações dos procedimentos a serem realizados, bem como a nomeação de responsabilidades de execução, de verificação, de operação e de controle de qualidade. Para cada atividade de trabalho, o responsável deve ser único.

As instruções de trabalho escritas permitem, portanto, a formalização do “saber fazer” da empresa, tornando-a menos suscetível aos imprevistos que possam ocorrer durante o processo de produção. Possibilita, ainda, definir um rigor de trabalho, que garantirá a perenidade da qualidade proposta ao cliente.

Quando satisfatoriamente implementadas, as instruções de trabalho evitam o mau entendimento das atividades a serem efetuadas, permitindo o bom desenvolvimento dos processos e a segurança de que o mesmo procedimento seja seguido por todo o pessoal, mesmo quando houver mudança de operador.

É proposta a utilização de planilhas de instruções para que as operações sejam seguidas de maneira seqüencial, reduzindo as chances de omissão de operações. Além disso, quando verificada a ocorrência de problemas durante a etapa de produção, as ações corretivas poderão ser efetuadas mais facilmente. Este tipo de ação deve evitar problemas, tratados anteriormente, uma vez que as ações corretivas tenham sido registradas em “planilhas-diário”.

5.2.2. Especificações

As especificações técnicas do trabalho devem, na medida do possível, ser estabelecidas através da cooperação de ambos, contratante e contratado. Um ponto ótimo deve ser gradualmente alcançado através de negociações bem sucedidas. Definido o produto, as especificações técnicas devem ser escritas e divulgadas. Através delas, o cliente terá traduzido o produto adequado a seu uso.

Ao tratar de especificações técnicas existentes, em termos de contratação de serviços, essas deverão ser traduzidas e descritas em nível operacional. Por exemplo, no processo de aerotriangulação, tem-se a seguinte especificação técnica³ para a etapa de preparação:

³Prefeitura Municipal de São Paulo, termo de referencia – anexo A -P.A. n.º 2002-0.176.520-5.

a) A distribuição dos pontos fotográficos deverá ser feita de acordo com o esquema especificado:

- No mínimo, 3 (três) pontos de enlace deverão ser escolhidos nas áreas comuns a 3 (três) fotografias sucessivas de cada faixa, de modo que 1 (um) ponto seja no nadir e, os dois restantes, no meio de cada área de recobrimento entre as faixas;
- Deverão ser escolhidos, também, pontos situados ao nível d'água dos rios e lagos (se existirem), para que sirvam de pontos de controle e de verificação.

b) Todos os pontos escolhidos deverão estar situados a mais de 2cm da borda da fotografia e não deverão ser identificados nas encostas, nas copas de árvores ou em áreas excessivamente claras ou escuras.

As exigências da especificação técnica (supracitadas) podem ser descritas em nível operacional sob a forma de planilhas, como apresentadas na Tabela 5.1. Em alguns casos, é preferível que as especificações contenham anexos com ilustrações gráficas das instruções.

Tabela 5.1: Exemplo da transcrição simplificada de especificações técnicas.

Especificações Técnicas			
Projeto: AAAB			
Processo: Aerotriangulação			
Etapa: Preparação			
Regras			
Distribuição de Pontos	Exigências	Obrigações	Restrições / Proibições
	3 pontos de enlace em 3 fotos sucessivas de cada faixa.	1 ponto central no meio de cada área de recobrimento entre faixas.	
	Pontos de conferência no nível d'água dos rios e lagos, se existirem.		
	-	-	Pontos a menos de 2cm das bordas da fotografia.
	-	-	Pontos em encostas, copas de árvores ou áreas excessivamente claras ou escuras.

5.2.3. Regulamentações

Como foi descrito anteriormente, devem ser observadas as normas e regulamentações inerentes ao processo. Além disso, devem ser considerados, como regulamentações dos processos, as cláusulas do contrato que implicam em punições, leis, regulamentos e regras. Como exemplos, têm-se prazos, padrão dos documentos escritos (incluindo relatório), documentação do processo, padrões dos dados, limitações, restrições, tolerâncias, etc.

No caso da inexistência das normas, o CQP procura a seguinte orientação: verificar a existência de especificações técnicas e a possível incidência de normas. Na existência de normas, um maior número de incidências delas no processo e produto cartográfico proposto pode conduzir a maiores facilidades de obtenção de conformidade e, conseqüentemente, a garantia de qualidade do produto. Entretanto, a pressuposição pode ser falsa em caso das especificações diferirem das normas (Vide Figura 5.4).

Figura 5.4: Fluxograma de controle de regulamentações sobre as informações espaciais.

No caso de inexistência de normas deve-se tratar de definir as especificações do produto junto ao usuário (neste caso, contratante), verificando, inicialmente, a incidência das normas existentes. A inexistência de normas e de padrões pode

dificultar a definição do produto, podendo-se levar muito tempo na concepção do mesmo.

A incidência de normas no projeto deve ser descrita de forma que todos os integrantes, responsáveis pela execução do projeto aerofotogramétrico, sejam informados.

5.2.4. Ações Corretivas

As ações corretivas são definidas pela ISO 9004-1/1994 como um conjunto de controle dos processos e ações de correções, que procuram a redução ou eliminação de erros. Além disso, servem de registros dos esforços realizados para a obtenção da qualidade. Esta operação pode servir de comprovação de que a qualidade demandada foi conseguida.

As ações corretivas, neste estudo, terão o objetivo de eliminar e prevenir as causas de não-conformidade e de defeito e falha nos processos de produção de dados espaciais. Estas ações deverão ser documentadas com a finalidade de manter um histórico da qualidade.

Na documentação prevista, devem ser inclusos os dados de produção de cada processo e, se possível, cada etapa padrão. As etapas da aerotriangulação digital podem servir de exemplo, sendo divididas em preparação, medição, ajustamento do bloco e controle de qualidade. Uma planilha ou tabela com os dados sumários do projeto (como é sugerido nas Tabelas⁴ 6.7 e 6.8, do Item 6.2.3) deve ser usada para monitorar as horas de trabalho para o término de cada etapa e quais as ocorrências principais que conduziram a alguma falha, restrição de avanço e perda de horas trabalho.

5.2.5. Processos Efetuados

Os processos, assim que efetuados, devem ser documentados para a realização de relatórios correspondentes às atividades completadas. Estes documentos podem ser incorporados na Descrição de Procedimentos.

⁴ As tabelas apresentadas exemplificam seqüências de atividades. Nelas podem ser adicionados campos para o monitoramento do tempo de cada atividade, operador, notificações de ocorrências, etc.

A descrição dos processos efetuados tem como finalidade informar aos operadores (bem como a todos os internos e externos) como foram realizadas e qual o andamento das atividades.

A documentação dos processos efetuados será incorporada à documentação da gestão de qualidade na linha de produção. Uma atenção especial deve ser reservada ao controle de qualidade (CQ) de cada processo, conforme mostrado anteriormente na Figura 5.1 e 5.2. O grande benefício da documentação de cada processo completado é a comprovação da qualidade dos mesmos.

5.2.6. Modelo Conceitual

A adoção do modelo de dados conceitual na fase de negociação do produto deve conduzir a um “protótipo” de prestação de serviços e de produto de onde se pode, com mais facilidade, chegar ao produto adequado ao uso ou, no mínimo, ajustado às necessidades do cliente. Um modelo conceitual bem sucedido evita desperdícios de processos, conduz a uma maior produtividade e pode baixar os custos operacionais. Por exemplo, pode-se reduzir ou eliminar o processo de conversão do modelo cartográfico em modelo de dados para geoprocessamento e, deste modo, conseguir mais facilmente a satisfação do cliente.

Portanto, um modelo conceitual lógico que traduza e retraduz (em instruções de trabalho) as expectativas do cliente deve ser a chave ideal para uma gestão de qualidade bem sucedida. Contudo, quando o projeto apresentar especificações técnicas externas, estas devem ser subdivididas de acordo com as diferentes etapas, e transcritas na forma de diagramas e fluxogramas de trabalho. Este processo pode ser realizado a partir das seguintes instruções:

- i. Definição dos objetivos e das finalidades do projeto e das expectativas do usuário final;
- ii. Identificação da forma de tratamento, representação e relacionamento das/entre as entidades espaciais (pontos, linhas, polígonos, e atributos representados por estes, como pontes, rodovias, regiões, etc.). O catálogo de dados e as classes das entidades espaciais (seus atributos) devem ser inteiramente acessíveis.

- iii. Produção de um esquema conceitual utilizando linguagem gráfica simples para efetuar uma descrição sintética dos fenômenos e das interfaces estruturais, bem como dos relacionamentos topológicos.

Esquemas ilustrativos das etapas devem ser construídos para atender ao objetivo do modelo de dados, destacando-se a natureza do tratamento a ser empregado e os tipos de dados necessários, além das normas, leis, regulamentos e especificações pertinentes. Esta diagramação das instruções do modelo conceitual permitirá que qualquer pessoa possa validar os processos em execução e, mesmo, os seguintes.

Um exemplo de tradução de regras do modelo de dados é mostrado na Figura 5.5. A representação das edificações é definida por dois elementos distintos e complementares: o centróide da edificação e a edificação. Este centróide definirá o ponto de endereço da edificação em questão, ligando-a, através de suas coordenadas x e y, ao seu endereço postal. O endereço postal está relacionado às vias de circulação, que também devem ser consideradas neste exemplo.

Figura 5.5: Descrição gráfica e lógica de um objeto definido no modelo conceitual.

Os procedimentos adotados pela 1ª Divisão de Levantamento (1ª DL) do Exército Brasileiro serviram de base para este processo. A 1ª DL utiliza: manuais técnicos, que definem como classificar as ocorrências dos fenômenos geográficos (T 34700 PARTE I) e os padrões gráficos de representações das feições geográficas (T 34700 PARTE II); normas de estruturação e validação de arquivos digitais, tabelas da base cartográfica digital, que definem os padrões digitais gráficos básicos de cada classe de representação dos fenômenos espaciais (TBCD), etc.

Exemplos de definição de classes dos fenômenos geográficos do tipo Transportes são mostrados na Figuras 5.6 e 5.7.

Figura 5.6: Representação gráfica de rodovias pavimentadas, tipo 1 (nº de faixas variáveis, sem separação física). T 34700, PARTE I.

Figura 5.7: Representação gráfica de auto-estradas – rodovias de classe especial (no mínimo, 4 faixas, separadas fisicamente). T 34700, PARTE I.

A Figura 5.6 é uma reprodução do manual T 34700, PARTE I. Neste manual, a rodovia representada pertence à Classe 1 e é descrita como “rodovia pavimentada - Classe 1 - rodovia de revestimento sólido (asfalto, concreto ou calçamento), com um número variável de faixas, sem separação física entre as pistas de tráfego.” Nele,

ainda, são informados a forma de representação dos objetos e quais poderão ser igualmente representados.

A Figura 5.7 mostra uma outra classe de rodovia, cuja definição se enquadra na seguinte descrição: “rodovia de revestimento sólido (asfalto, concreto ou calçamento), com um mínimo de 4 (quatro) faixas, apresentando separação física entre as pistas de tráfego, representável em escala ou não.” Ou seja, segundo essas normas, chega-se à classificação de cada tipo rodovia e como estas devem ser representadas (espessura e tipos de traços, cores, etc.).

5.3. Gestão da Qualidade dos Processos Fotogramétricos

O segundo módulo do Sistema CQP trata de controlar ou monitorar os níveis de qualidade dos processos de mapeamento fotogramétrico digital para SIG, referenciados nos capítulos 2 e 3, correspondentes a:

- a. Obtenção das fotografias → monitoramento de qualidade da aquisição da imagem;
- b. Apoio terrestre → controle de qualidade do processo de apoio de campo;
- c. Numerização das imagens → controle de qualidade da conversão da imagem analógica para digital;
- d. Aerotriangulação → controle de qualidade da aerotriangulação;
- e. Coleta de dados → controle de qualidade da coleta de dados;
- f. Geração do Produto → controle de qualidade da entrega do produto.

5.3.1. Controle de Qualidade na Obtenção das Imagens

Para o controle e monitoramento da qualidade da fotografia no processo de obtenção das imagens, é proposto, neste trabalho, o uso dos parâmetros indicados na Tabela 5.2 e na Figura 5.8 (discutidos no Capítulo 3).

Tabela 5.2: Parâmetros de qualidade da obtenção das fotografias aéreas.

Elementos		Exigências	Controle/ Medição	Tolerâncias
Material Fotográfico	Densidade do Filme	0,2D e 1,5D (preto-e-branco). 0,2D e 3,5D (colorido).	- Uso de escala sensitométrica de 21 níveis de tons. Ver instruções em ASPRS (1995); - Uso de microdensitômetros para a medição das densidades; - Comparação visual entre a escala padrão e a observada (pós-processado).	$\pm 0,06 \log E$ do ponto "objetivo" do balanço das cores. [ASPRS (1995)]. - resíduo $\leq 0,03D$ - aprovação do contratante
	Resolução do Filme (pós- revelação)	20 a 30 pl/mm (baixo contraste) 35 a 55 pl/mm (alto contraste).	- Exposição do filme com alvos de alto contraste, conforme apresentado no capítulo 3; - Obtenção da função FTM para controle da resolução radiométrica.	$\leq 7pl$
Câmera	Arrastamento da imagem	$\leq 20\mu m$	- Relógios visíveis na imagem. - Uso de mecanismos de estabilização e FMC ⁵ ; - Uso de mecanismos de compensação angular e longitudinal da câmera.	≤ 1 pixel
	Distorções da lente (radial)	$< 15\mu m$	Medida do deslocamento radial de objetos na imagem, afastados de 100mm do ponto principal (PP).	- Deslocamento radial a 160mm do PP $< 30\mu m$.
	Validação do certificado de calibração	< 2 anos.	Apresentação do certificado de calibração, válido até a conclusão das fotografias. Verificar validação junto ao expedidor.	-
Cobertura Aérea	Aspecto da Imagem	Uso de filtros adequados. Nitidez, contraste, tonalidade e iluminação. Isenção de artefatos e outros..	- Exposição do filme com níveis de cores como a Q60 (kodak); - padronização de imagem; - Inspeção visual das imagens.	Casos eventuais de nuvens ou manchas nas imagens podem ser aceitos com restrições.
	Cobertura longitudinal (RLO) e lateral (RLA)	RLO $\geq 60\%$ RLA $\geq 30\%$	- Medição da área de sobreposição nas imagens.	RLO e RLS $< 5\%$ do exigido
	Inclinação/imagem Rotação da linha de voo	Inclinação/imagem $< 3^\circ$ Rotação da linha de voo $< 5^\circ$	- Medição nas imagens - Foto-índice com eixo projetado	Inclinação vertical $\leq 3^\circ$ Alinhamento $\leq 5^\circ$

Evidentemente, o voo em condições favoráveis, obedecendo ao planejamento do voo e às especificações, deve assegurar a qualidade em todos os processos de produção dos dados espaciais. As medidas planejadas devem ser controladas no decorrer e após o voo. A Figura 5.8 mostra um diagrama de fluxo de controle de pós-voo.

⁵ FMC – Forward Motion Compensation.

Figura 5.8: Diagrama do fluxo de tarefas no controle de qualidade da obtenção das imagens aéreas.

Quanto ao controle da qualidade métrica do processamento do filme, a empresa pode registrar e monitorar o resultado do processamento do filme conforme as diretrizes da norma da ASPRS (1996), item 3.4, "qualidade métrica do filme processado":

"O original do filme processado ou os diapositivos produzidos por contato a partir deste original não devem conter resíduos

de paralaxe Y que excedam 20 micrômetros após a realização da orientação relativa em qualquer modelo. A alteração dimensional, em qualquer direção transversal de lado 21cm, não deve exceder 100 micrometros”.

Para obter e manter a qualidade no processamento do filme aéreo (em caso de processamento manual), recomenda-se que haja um controle periódico das condições de temperatura e umidade das instalações e dos materiais. Para tornar funcional este controle, é proposto o uso de uma planilha de monitoramento do laboratório (Anexo 5). Nela, devem ser registrados dados de manutenção e de ocorrências de problemas. Um responsável pelo processo deve ser indicado e reconhecido. O mesmo tipo de procedimento é indicado para os processadores de filme.

A cada semestre ou ano, deve-se analisar a planilha de controle de procedimentos laboratoriais, retomar históricos de falhas obtidas neste processo, levantar todos os dados necessários que podem afetar a qualidade dos processos e, finalmente, providenciar as ações corretivas necessárias. Ressalte-se que os problemas ocorridos de forma repetida são, cuidadosamente, tratados.

Adotando esses procedimentos, pode-se considerar a redução de ocorrência de falhas na etapa de processamento do filme, reprodução e cópias fotográficas.

Os resultados da cobertura aerofotogramétrica devem ser confrontados com os referentes ao planejamento do voo. Os dados conflitantes devem ser justificados e registrados, servindo como registro de falhas e para as ações corretivas. Este tipo de documentação pode ser um comprovante das ações de controle de qualidade para os clientes.

5.3.1.1. Documentação do Processo de Obtenção de Imagens

Adicionalmente, o CQP exige planilhas de controle e das atividades a serem realizadas durante o trabalho. Estas planilhas devem descrever, de forma sucinta, o método utilizado para o controle. A planilha proposta no Anexo 6 corresponde a ao monitoramento de algumas atividades do processamento do filme.

5.3.1.2. Ações Corretivas na Obtenção de Imagens

Em caso da não aprovação de qualidade das imagens, as ações corretivas básicas correspondem a:

- a. Conferência da calibração da câmera;

- b. Conferência do suporte do filme durante a exposição;
- c. Conferência do processador do filme e dos materiais de impressão;
- d. Verificação e testes com os filtros para correção;
- e. Uso de filmes de mais alta resolução;
- f. Retorno ao vôo.

5.3.2. Parâmetros de Qualidade do Apoio de Campo

Como garantia de visualização dos pontos pré-sinalizados, adota-se, como regra empírica, o uso de uma sinalização cuja dimensão do diâmetro seja de, aproximadamente, de 3 pixels da resolução geométrica projetada para a numerização da imagem. Exemplificando, para uma resolução geométrica de 20 μm e escala de vôo da imagem de 1: 5.000, a dimensão do diâmetro do alvo de sinalização corresponde a 30cm. A sinalização deve contrastar com o fundo do local do posicionamento do alvo. Na dúvida, deve ser utilizado um plano de fundo (por exemplo, uma lona preta ou branca, escolhida de acordo com o contraste).

Para o apoio básico (descrito em capítulos anteriormente), as exigências de precisão adotadas para a rede de apoio, deverão ser definidas como erro médio e representarão os erros relativos em relação aos pontos de referência geodésica cuja precisão planimétrica (semi-eixo maior da elipse de erro média em cm) deverá ser de $\pm 10\text{cm}$. Para fins cadastrais (1:500 a 1:1000) e projetos de engenharia é recomendado uma precisão de 2 a 5cm. A precisão altimétrica (erro médio altimétrico) dos pontos do apoio básico não deverá exceder 15cm. Para fins cadastrais ou obras de engenharia é recomendado que a precisão altimétrica seja de 5 cm, considerando uma distância de 1000 metros entre os pontos.

5.3.2.1. Documentação do Apoio de Campo

O CQP exige os relatórios e a documentação simplificada dos procedimentos desenvolvidos para a garantia de qualidade deste processo. Uma planilha com a listagem dos pontos de controle e as imagens que os interceptam deve ser criada, a fim de facilitar a recuperação destes pontos num projeto futuro, bem como os croquis e a descrição para a localização dos mesmos também são importantes.

Uma vez finalizada a etapa de apoio terrestre, podem ser entregues os seguintes documentos ao contratante e ao órgão responsável pela aprovação do projeto:

- a. Relatório técnico sobre os métodos utilizados para a medição. Em caso de vôo apoiado com GPS, deve ser informado e relatado o deslocamento do centro de projeção da câmera em relação ao centro da antena GPS;
- b. Planejamento do apoio terrestre, inclusive com a distribuição prevista dos pontos de controle, pré-sinalização, estimativa da precisão e da confiabilidade da configuração prevista dos pontos de controle e suplementares;
- c. Resultados obtidos, sob a forma de fórmulas ou listagem dos registros brutos, coordenadas GPS brutas e registros do nivelamento bruto;
- d. Croqui dos pontos medidos e indicações dos pontos de amarração;
- e. Testes efetuados nas coordenadas dos pontos de amarração, considerados como observações, e
- f. Registro de coordenadas planimétricas e altimétricas, sendo, também, exigido o arquivo em meio digital.

5.3.3. Garantia da Qualidade da Numerização de Imagens

Para a garantia da qualidade deste processo, o método sugere um controle de qualidade do scanner, contendo os seguintes requisitos:

- a. A qualidade geométrica do scanner através dos dados de calibração geométrica do mesmo;
- b. A informação sobre a resolução de numerização da imagem digital;
- c. O controle de fidelidade, referenciado a uma tabela padrão de cores.

Para o estabelecimento de alguns parâmetros de qualidade do scanner, foram consideradas as técnicas usadas nos estudos de Kölbl (1996A), Kölbl e Bach (1996), Kölbl e Hawawini (1986) e Silva e Dalmolin (1998).

O CQP exige a realização de calibração do scanner antes do início da numerização dos projetos e a cada quatro semanas ou a calibração do scanner a cada 500 imagens (especificações da British Columbia, Canadá – BMGS, 2002). O

resultado desta etapa deverá ser documentado. Nesta documentação, pretende-se, ainda, registrar informações sobre a periodicidade de manutenção do scanner (que inclui a limpeza das lentes) mensal, a troca do sistema de iluminação e a limpeza da placa de digitalização.

A documentação de calibração do "scanner" deve ser descrita de acordo com o formulário de controle de qualidade, definido no Anexo 7. As variáveis da numerização das imagens do scanner devem ser registradas neste formulário.

Para a garantia de qualidade da resolução geométrica, além do registro de calibração, o CQP pode usar o critério de medição de um alvo com resolução de linhas/mm, bem como a utilização da Função de Modulação de Transferência (FMT), vistos no Capítulo 3.

Baltavias (2000) recomenda o uso de alvos com mais de 3 barras (por exemplo, o alvo ITEK com 15 barras, conforme mostra a Figura 5.9). Os alvos devem, preferencialmente, possuir grupos paralelos de alvos de n-barras com frequência crescente, alto contraste, extremidades alinhadas e bem-definidas e largura da linha com precisão conhecida.

Figura 5.9: Alvo recomendado por BALTAVIAS (2000) para avaliação da qualidade dos scanners.

A garantia de qualidade radiométrica, quanto à densidade, pode ser dada através das medidas de densidades, mostradas no Item 3.2.5. Uma alternativa usada para a numerização deste alvo é o uso dos parâmetros do scanner com o seguinte critério:

- Densidade de 0,2 D deve ser registrada com um valor de pixel de 255.
- Densidade 1,5 D deve ser registrada com um valor de pixel 0.

Contudo os valores podem ser invertidos para o caso de negativos. A numerização do alvo é feita em dois períodos diferentes, com intervalo de 5 horas e em cinco posições diferentes. Os valores de pixel, em relação à densidade, são determinados para cada "passo" de densidade nas cinco escalas. A média dos valores de cada "passo" deve ser registrada. Por último, são comparados os valores médios dos pixels e da densidade dos dois períodos de numerização. Os valores de pixel, em relação aos valores de densidade, devem resultar nos valores apresentados na Figura 5.10.

Para a garantia da tonalidade, o método utilizado é inspirado no trabalho de Baltavias et al (2000) e Kölbl (1999), citado no Item 3.2.6. Contudo, a escala de cores a ser utilizada não necessariamente deverá ser a Q60. Pode-se utilizar um gabarito alternativo de cores, o qual pode ser criado em um sistema CAD e impresso em alta resolução numa base de filme estável. Esta escala deverá ser numerizada no scanner do projeto para uma calibração de tonalidade.

Figura 5.10: Densidade vs. valor do pixel

Na sequência das operações, o passo seguinte é a comparação dos valores da tabela original com os valores numéricos obtidos através de softwares como, por exemplo, o Image Analyst, IRAS C da Intergraph e o Photoshop da Adobe.

O gabarito Q60 ou semelhante pode ser adotado para a calibração de tonalidade de impressão via "Plotter". Os procedimentos para operacionalizar o controle da tonalidade podem ser similares ou iguais àqueles adotados em TI2045 de 1997, da empresa KODAK (1993).

Após os procedimentos anteriores, inicia-se o processo de numerização de imagem, conforme mostra o diagrama de trabalho na Figura 5.11. Nesse último processo, são incluídos registros dos parâmetros das imagens e dos parâmetros de qualidade supracitados. Estes registros poderão ser armazenados em arquivos ASCII ou de texto, com adição de parâmetros, como: identificação da imagem, resolução do pixel, escala nominal da imagem, data de voo, data da numerização, características da câmera, etc. Um exemplo deste arquivo é apresentado no Anexo 8.

Figura 5.11: Fluxograma de trabalho do processo de numerização de imagens.

* DLT é a unidade de cópia de segurança (backup)

* CQ_OI é o controle de qualidade da orientação interior

O ambiente de instalação do scanner, a manutenção e o nível de operação são também considerados fatores importantes para a qualidade do processo de numerização. O scanner deve ser instalado num local isolado ou, no mínimo, afastado de todo tipo de movimento. A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar devem ser controladas de acordo com os valores recomendados pelo fabricante. Estes

cuidados devem ser tomados para evitar que os componentes do scanner, responsáveis por sua precisão, variem.

O isolamento do scanner evita a exposição a sujeiras e movimentos bruscos, que podem prejudicar a qualidade geométrica do equipamento. Um pequeno esbarro pode resultar na necessidade de uma nova calibração do scanner.

Uma planilha ou um formulário de controle dos procedimentos deve ser usado para registrar o processo finalizado. O responsável pela operação deve validar o processo para garantia de controle. No final do projeto, o formulário deverá ser arquivado.

5.3.4. Documentação da Preparação do Projeto

O CQP propõe que sejam documentados os dados de entrada no sistema fotogramétrico digital conforme mostra a Tabela 5.3. A finalidade deste procedimento é facilitar a recuperação do projeto e, principalmente, a documentação.

Tabela 5.3: Dados para a entrada do Sistema Fotogramétrico Digital

Documentação 1.1 - Dados do Projeto	
Projeto:	Sao_Carlos
Contratante:	SAAE
Endereçamento das imagens:	"d:\saocarlos\imagens";
Número de imagens:	150
Sistema de Projeção:	UTM: Zona 22
Elipsóide:	SAD 69
Referência Vertical:	ortométrica
unidade:	metros
Altitude mínima do terreno:	700
Altitude máxima do terreno:	800
Altitude média do terreno:	600
Pontos de controle:	control_points.asc
Arquivos da câmera:	RC_10.cam
Resolução da imagem:	23 μ m
Escala das imagens	1:8000
Altura do vôo:	1224m
Direção da linha de vôo:	N-S
Aplicação Principal:	Cadastro - SIG
Escala Final:	1:2000
Obs:	

5.3.5. Controle de Qualidade do Processo de Aerotriangulação

O controle de qualidade do processo de aerotriangulação é realizado através do monitoramento da qualidade das medições, baseado nos parâmetros definidos nos Itens 3.3.2 a 3.4.2. Os valores adotados no CQP, para este processo, admitem uma resolução geométrica de 15 μ m para a imagem em branco e preto, e 20 μ m para a imagem colorida, e são definidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Controle de qualidade adotado no processo de orientações e aerotriangulação.

OPERAÇÃO	EXIGÊNCIAS [pixel]		TOLERÂNCIAS [μ m]
Orientação Interior	Média Residual $\leq 0,50$ a $0,30$		Erro máximo ≤ 15
Aerotriangulação	$\sigma_{x,y} \leq 0,40$	$\sigma_z \leq 0,70$	≤ 10
Ajustamento do Bloco	$\hat{\sigma}_0 \approx 0,30$		$\hat{\sigma}_0 \leq 0,7$

A tolerância em “micra”, na tabela acima relativa a orientação interior, corresponde ao residual máximo na transformação afim, que não deve exceder 10 μ m seja na resolução geométrica de 15 μ m ou de 20 μ m. Sendo este último valor, condizente com a exigência de média residual de 0,50 do pixel. Contudo os erros máximos toleráveis para as coordenadas fiduciais, individualmente, não devem exceder 15 μ m.

O monitoramento destes resíduos é realizado através da visualização dos resultados, apresentados na tela do monitor ou impressos. O operador pode refinar as medições até conseguir resultados satisfatórios.

Uma técnica adotada no controle da qualidade da aerotriangulação é a inspeção passo a passo. Primeiramente, é verificada a qualidade do bloco. Em seguida, realiza-se a verificação das faixas do bloco e, caso encontre algum indício de erro na faixa, faz-se a inspeção de modelos estereoscópicos da faixa. Por último, é conferida a qualidade dos pontos em coordenadas do terreno. O método de ajustamento recomendado é o ajustamento por feixes.

Os erros grosseiros devem estar situados entre $3\hat{\sigma}_0$ e $10\hat{\sigma}_0$, estes erros não devem ser totalmente eliminados do processo, eles devem antes, ser apresentados no relatório do ajustamento.

A qualidade do processo de aerotriangulação depende da precisão dos pontos de controle, que é dependente da sua identificação na imagem e de sua distribuição no bloco, como tratado no Item 3.3.3. O CQP exige o uso de pontos de controle pré-sinalizados, tratados de acordo com o Guia de Garantia de Qualidade de Fotogrametria e Geração de MNT da Suíça, em parte, abordados no Item 3.3.3.

5.3.5.1. Controle de Qualidade da Orientação Relativa

Para o caso do controle de qualidade em modelos individuais, adota-se, como parâmetro que define a qualidade da orientação relativa, o valor da paralaxe residual σ_{paralaxe} que não deve exceder a 10 μm (resíduos máximos).

Os fatores que podem influenciar a qualidade das medidas fotogramétricas, gerando os resíduos de paralaxe, são originados por:

- Falta de qualidade da imagem;
- Resolução do monitor e do ponteiro do cursor, e
- Erro de observação.

5.3.5.2. Controle de Qualidade da Orientação Absoluta

O sucesso da orientação absoluta depende do resultado alcançado na exatidão dos modelos orientados relativamente e da precisão dos pontos de controle. Adota-se, neste processo, erro médio quadrático dos resíduos para as coordenadas X e Y de um modelo $\sigma_{x,y}$ e o erro médio quadrático dos resíduos para a altimetria σ_z não deverão ultrapassar:

- $\sigma_{x,y} = \pm 1 \text{ pixel}$
- $\sigma_z = \pm 0,015\%$ da altura de vôo.

Considerando a escala da imagem 1:5.000, com um tamanho de pixel de 20 μm , o erro residual planimétrico dos pontos de controle, após o ajustamento, não deve exceder 10cm.

5.3.5.3. Documentação da Aerotriangulação

Oportunamente, os sistemas fotogramétricos digitais armazenam os resultados em um arquivo tipo ASCII. Contudo, o sistema CQP recomenda o uso de um conjunto de documentos que podem agrupar as seguintes informações:

- a) Número de imagens e número de pontos de controle (em planimetria, altimetria, planialtimetria, se utilizados ou rejeitados);
- b) Indicação da câmera e dos parâmetros do certificado de calibração, como a distância focal calibrada e a das coordenadas das marcas fiduciais;
- c) Indicação do sistema de aerotriangulação e ajustamento utilizados;
- d) Listagens do ajustamento com as seguintes variáveis:
 - Sigma *a priori* (unidades de peso) e erro médio dos resíduos dos pontos fotogramétricos;
 - Sigma *a posteriori* da unidade de peso ($\hat{\sigma}_0^2$) e erro médio dos pontos fotogramétricos ajustados e de controle;
 - Número de pontos de controle utilizados e não utilizados (com justificativa);
 - Redundância (número de grau de liberdades e superabundância);
 - Número médio de raios por ponto, e estatística deste número;
 - Resíduos dos pontos de controle;
 - Resíduos dos pontos de verificação “Check”;
 - Resíduos dos pontos de controle não utilizados;
 - Gráficos dos resultados, posição dos pontos de controle, e posição e qualidade dos pontos de ligação.
- e) Índice de codificação dos pontos e símbolos gráficos. Os pontos fotogramétricos e de controle devem ser representados de modo distinto, como mostra a Figura 5.12.
- f) Descrição da codificação de pontos adotada, por exemplo, 5_10811, sendo 5 o número da faixa, 108 o número do modelo, 1 a posição do ponto no modelo e, novamente, 1 indicando o ponto vertical;
- g) Ocorrências de problemas durante o processo;

azul	1	Pontos de Controle Vertical
azul	3	Ponto de Controle (HV)
azul	5	Ponto de Ligação
verde	6	Pontos de "check"
vermelho	9	Pontos de Erros Residuais Fora do Tolerável (fotogramétricos)
vermelho	9	Pontos de Erros Residuais Fora do Tolerável (controle vertical)
vermelho	9	Pontos de Erros Residuais Fora do Tolerável (HVs)
verde	2	Pontos de Paralaxe

Figura 5.12: Exemplo de índice de codificação de pontos fotogramétricos.

Uma planilha de controle do processo deve ser utilizada para facilitar os registros de ocorrências e a documentação final.

5.3.5.4. Ações Corretivas

Em caso da não-obtenção da qualidade exigida, as ações indicadas para melhorar o processo podem ser:

- Conferência da distribuição e precisão dos pontos de controle;
- Uso de parâmetros auxiliares: parâmetros da câmera como distorção de lentes, planicidade do filme, coordenadas do centro de perspectiva das imagens levantadas por GPS e assim por diante;
- Remedição dos pontos fotogramétricos que ultrapassam os limites de erros;
- Aumento do grau de liberdade, aumentando o número de pontos de controle.
- Conferência do material fotográfico e do estado da câmera;

- f. Melhora dos croquis dos pontos de controle (para o caso do uso de pontos de controle naturais);
- g. Melhora na escolha de pontos de controle no campo;

5.3.6. Modelo Digital do Terreno

O controle de qualidade do MDT é efetuado através do uso das seções cruzadas no MDT. Estas seções são constituídas por perfis de pontos espaçados entre si de, no máximo, 15 metros para escalas maiores que 1:20.000. Um controle rigoroso é obtido ao se usar três perfis em vez de um. Os três perfis, com equidistância entre si de 15 metros, formam uma faixa com largura de 45 metros.

As seções cruzadas poderão ser posicionadas ao longo das linhas de base e central, ou em outras posições, escolhidas aleatoriamente. Isto significa que um conjunto de MDTs pode ser constituído por uma única seção, ou pares de seções, ou grupos de seções cruzadas, ou, ainda, por pontos distribuídos aleatoriamente sobre a área do MDT. Será rejeitado o arquivo de MDT que apresentar mais de 10% de pontos de elevações, ultrapassando as exigências, abaixo especificadas em Kölbl (2000), ou seja, as diferenças encontradas entre os pontos do MDT e os pontos do conjunto das seções cruzadas, não deverão exceder 0,02% da altitude de vôo.

5.3.6.1. Documentação do Modelo Digital do Terreno

Um documento-texto deve ser gerado para que seja anexado ao arquivo do MDT. Este arquivo deve conter, basicamente, as seguintes informações:

- i. Nome do arquivo do MDT;
- ii. Data de geração do arquivo MDT (dd/mm/aa);
- iii. Projeção (UTM);
- iv. Datum vertical e datum horizontal;
- v. Número do fuso UTM;
- vi. Coordenadas UTM dos cantos inferiores e superiores, e as coordenadas dos pixels correspondentes na imagem, e
- vii. Espaçamento, em metros, da malha de pontos.

Para o estabelecimento da garantia da qualidade, o documento relativo aos procedimentos de geração do MDT deve ser estruturado com as informações correspondentes a:

- i. Descrição dos métodos de coleta;
- ii. Documentação do posicionamento da câmera ou do dispositivo de captura, ou da determinação da orientação exterior;
- iii. Descrição do material e programas utilizados, e os parâmetros considerados para o tipo de terreno e de filtragens (para o caso do MDT gerado automaticamente);
- iv. Demonstração das medições e métodos utilizados para o estabelecimento da garantia de qualidade do produto, bem como do resultado dos testes de qualidade.
- v. Medições de controle executadas: pontos de calibragem, pontos de controle, e utilização de superfícies de testes ou de amostragem.

5.3.6.2. Ações Corretivas do Modelo Digital do Terreno

As ações corretivas, indicadas no processo de geração do MDT, dizem respeito ao uso de modelos específicos para determinadas características do terreno. Como exemplo, tem-se a adoção de modelos específicos para terreno plano. Outras ações para melhoramento do processo correspondem ao uso de dados auxiliares, como dados vetoriais, linhas de quebras, etc.

5.3.7. Controle de Qualidade dos Processos de Ortorectificação

A qualidade do processo de ortorectificação deve ser controlada de acordo com o "Guia Suíço de Garantia da Qualidade para Ortofoto Digital". Em suma, os parâmetros adotados correspondem a:

- i. Tamanho do pixel original da imagem 20% menor do que o tamanho do pixel da ortofoto;
- ii. Deslocamento radial (Δr) da ortofoto: não deverá exceder $1/3 \Delta H$ a $2/3 \Delta H$ ou 0,2mm a 0,5mm, sendo ΔH a precisão do MDT;
- iii. Erro médio quadrático altimétrico total (equação 3.7): não deve exceder o PEC para a altimétrica, ou seja, 90% dos pontos altimétricos testados no terreno, não deverão apresentar a metade

da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo o erro padrão representado por 1/3 desta eqüidistância;

- iv. Erro planimétrico médio (total) da ortofoto, $\sigma_{XY_{ORTO}}$: não deverá ser superior ao PEC estabelecido, conforme apresentado no Item 4.9;
- v. Uniformidade de tonalidade: ortofotos que apresentarem diferenças radiométricas devem ser rejeitadas. O controle de qualidade deve ser feito com a supervisão das linhas ou polígono de “junção” (seamlines) sobrepostos às ortofotos e as diferenças tonais forem visíveis a olho nu, estas devem ser rejeitadas.
- vi. Uniformidade de geometria: ortofotos que apresentarem diferenças geométricas maiores que 0,5 mm devem ser rejeitadas. O controle de qualidade deve ser feito com a supervisão das linhas ou polígono de “costura” (seamlines) sobrepostos às ortofotos.

5.3.7.1. Documentação do Processo de Geração de Ortofotos

A documentação exigida compreende os aspectos indicados a seguir, sendo que, alguns deles devem ser adicionados ao relatório técnico:

- i. Data do vôo;
- ii. Escala das fotografias aéreas;
- iii. Data da geração do arquivo da ortofoto (dd/mm/aa);
- iv. Projeção (UTM);
- v. Número do fuso UTM;
- vi. Datum vertical e datum horizontal;
- vii. Número de pixels por linha e por colunas, por exemplo 9000x9000 pixels;
- viii. Coordenadas UTM dos cantos inferiores e superiores e coordenadas dos pixels correspondentes na imagem;
- ix. Listagem com a identificação (número, nome) das fotografias aéreas utilizadas e com os nomes dos arquivos digitais;
- x. Número ou nome da folha ou da área da ortofoto;
- xi. Dados das orientações exteriores utilizadas (X_0 , Y_0 , Z_0);

- xii. Dados da câmera: coordenadas das marcas fiduciais e dados de calibração;
- xiii. Resolução geométrica das fotografias numerizadas;
- xiv. Tamanho do pixel no terreno representado na ortofoto (GSD);
- xv. Escala de impressão;
- xvi. Método de reamostragem empregado (interpolação dos pixels);
- xvii. Método e parâmetro de interpolação das altitudes, considerando todos os parâmetros utilizados como, por exemplo, a posição e a densidade dos pontos;
- xviii. MDT ou modelo de superfície, perímetro, precisão de utilização, linhas de quebra, modelagem das obras de arte;
- xix. Dados dos parâmetros utilizados para eventuais tratamento realizados como, por exemplo, o balanceamento e a equalização das imagens;
- xx. Georreferenciamento, formatos dos dados, compressão dos dados (exemplos: GeoTIFF, TIFF World e outros);
- xxi. Nome da agência executora e do responsável técnico;
- xxii. Nome do operador.

Um arquivo ASCII contendo um exemplo desta documentação é apresentado no Anexo 9.

5.3.8. Controle de Qualidade da Restituição

Conforme descrito anteriormente nos Capítulos 3 e 4, a qualidade da restituição, quanto à exatidão posicional, depende da qualidade dos processos anteriores. Um simples tratamento para o controle é adotar o modelo expresso na Equação 5.1 e definido, genericamente, no início deste capítulo. Contudo, o modelo apresentado por Eslami Rad (1995) é usado para controlar a exatidão posicional horizontal e vertical do processo de restituição, de acordo com as Equações 5.2 e 5.4:

$$\sigma_{PLANI}^2 = \sigma_{APOIO}^2 + \sigma_{OI}^2 + \sigma_{AT}^2 + \sigma_{COLETA}^2 \quad (5.2)$$

$$\sigma_{ALTI}^2 = \sigma_{APOIO}^2 + \sigma_{OI}^2 + \sigma_{AT}^2 + \sigma_{MDT}^2 + \sigma_{COLETA}^2 \quad (5.3)$$

Todos estes fatores foram anteriormente descritos e se referem à qualidade obtida:

- a) Dos pontos de controle (σ_{APOIO}), cujo resultado da precisão do ponto-de-controle não deve exceder 10 cm para escalas de vôo maiores que 1:20.000;
- b) Do processo de orientação interior (σ_{OI}), dado pelo EMQ da orientação interior;
- c) Do resultado do ajustamento do bloco (σ_{AT});
- d) Do MDT (σ_{MDT}), para o traçado de curvas de nível, admitindo-se um erro menor que 50 μ m, e finalmente,
- e) Da precisão de coleta de feições cartográficas na restituição (σ_{coleta}) admitida como sendo $\pm 50\mu$ m.

Conhecendo-se os valores de cada fator, uma estimativa final da qualidade do produto cartográfico pode ser calculada e, conforme o andamento da gestão de qualidade, pode-se atribuir maior ou menor rigidez aos processos seguintes, estimando-se os valores de qualidade para alcançar o resultado final com segurança de sucesso, sem riscos de fracasso após a finalização de todos os processos fotogramétricos.

5.3.8.1. Exatidão de Atributo e de Completude

O CQP propõe o uso constante do modelo conceitual lógico neste processo. Considera-se que, se os fatores condicionantes e de restrições forem, previamente, definidos, eles previnem os erros inerentes de consistência lógica, de atributos e de completude.

O controle de qualidade, baseado no método de coleta de dados adotado, é aquele da DSG, introduzido no Item 3.8.3. Considera-se ainda, que a sistematização dos procedimentos de coleta e a padronização prévia dos elementos a serem coletados reduzem, ao mínimo, os erros cometidos durante o processo de restituição. Portanto, a documentação com as instruções de trabalho são fundamentais neste processo. Um exemplo deste tipo de documentação, adotado pela DSG, é mostrado

no Anexo 10. Neste anexo são vistos os procedimentos padronizados para a validação dos dados restituídos.

A implementação do modelo conceitual, incluindo a definição das restrições topológicas nas classes criadas e a implementação dos métodos de visualização, deve evitar erros de consistência lógica na base de dados. Por exemplo, no sistema CQP, são estabelecidos valores permissíveis para evitar que os fenômenos "overshoots" e "undershoots" ocorram. O primeiro fenômeno corresponde à porção de uma linha que, num processo de restituição, pode ultrapassar a intersecção dessa linha com uma outra, como mostra a Figura 5.13.

Figura 5.13: Fenômeno "overshoot"

O segundo fenômeno a ser evitado, "undershoots", proíbe que arcos, linhas e polígonos fiquem distanciados insuficientemente do elemento próximo a ele, ou seja, um segmento de linha não intercepta um outro similar, ou outro elemento, distanciando minimamente dele, como ilustra a Figura 5.14.

Figura 5.14: Fenômeno "undershoot"

O CQP, portanto, estabelece regras que são configuradas no sistema fotogramétrico digital de restituição, de tal maneira que distâncias mínimas não sejam permissíveis entre um nó e um outro elemento e, quando ocorrer, o sistema deve alertar o operador ou, automaticamente, estender o vértice do elemento ao outro elemento gráfico.

As regras básicas, propostas no sistema CQP, levam em conta os seguintes fatores:

- i. Paralelismo de linhas (bordas de estradas, canais,...);

- ii. Perpendicularidade de linhas (bordas de edificações,...);
- iii. Não-duplicidade de linhas ou de polígonos;
- iv. Permissibilidade de entrada de códigos a determinados níveis, cor, etc;
- v. Proximidade mínima de linhas;
- vi. Dimensionamento de polígonos mínimos;
- vii. Esquadreamento mínimo;
- viii. Fechamento automático de polígono.

Contudo, estas regras podem ser ampliadas se implementadas em sistemas que suportam a estrutura de base orientada ao objeto, como é o caso do Lamps2, usado na DSG. Deste modo, podem ser adicionadas as seguintes regras:

- i. Elementos lineares e do tipo área, de determinadas classes ou objetos, não devem ser interrompidos;
- ii. Não é permitida a duplicação de nenhum elemento (verificação feita ao nível de objeto);
- iii. Os elementos coincidentes devem ser apresentados por ordenamento, segundo uma hierarquia de classe;
- iv. Conectividade permissível ou proibida de elementos;
- v. Todos os objetos pertencentes a uma determinada classe devem possuir polígonos fechados, mesmo que interrompidos por outro elemento;
- vi. Simbologia automática para determinadas classes, com restrições de proximidade.

Diversas outras regras podem ser implementadas. Quando comparados estas regras com o processo de edição e validação estabelecido pelo IBGE e mesmo pela DSG, abordada no capítulo 3, itens 3.8.2 e 3.8.3, pode-se admitir que processo o método de trabalho que vem sendo adotado pela DSG tende a reduzir ao mínimo o processo de edição e validação e, vantajosamente, aumentado-se a produtividade e a garantia de qualidade deste processo. Contudo, para validar o controle deste processo, segundo as normas ISO, devem ser incluídas planilhas que comprovem a conformidade das exigências estabelecidas.

5.3.9. Ações Corretivas do Processo de Restituição

Na restituição, as ações corretivas estão relacionadas ao operador e às instruções que devem ser reconsideradas. Uma pré-interpretação pode ser considerada uma ação corretiva do processo de restituição, também chamada de “tintagem”. Este procedimento é realizado a partir de uma ortofoto realizada com MDT automático e pontos de controle retirados de cartas. Este produto é entregue a equipe de apoio terrestre. A equipe responsável, confere as características do terreno e levanta toda a toponímia. Esta equipe, “de tintagem”, deverá entregar o material já em meio digital ao processo de restituição. O IBGE vem implantando este procedimento como o objetivo de eliminar a reambulação na fase de restituição e desta forma, aumentar a produtividade e reduzir os erros de interpretação.

5.3.9.1. Documentação do Processo de Restituição

Dois tipos principais de documentos são importantes no processo de restituição:

- o relatório para o usuário, com comprovações de qualidade e
- a documentação de procedimentos, seguindo o padrão dos processos anteriores.

Um outro objetivo do fornecimento do relatório ao usuário é o de esclarecer a utilidade dos dados e como eles foram avaliados. É importante considerar nesse relatório as instruções de uso do produto cartográfico ou, mesmo, um manual do usuário.

5.3.10. Testes de Conformidade

Para finalizar, o CQP deve testar amostras representativas do produto, verificando se elas atendem as especificações estabelecidas antes de o submeter ao contratante. Para validar o produto final impresso, são propostos os procedimentos de controle de qualidade, baseados no sistema de gestão de qualidade do Ordinance Survey, mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Controle de qualidade final após a impressão.

Nº Teste	Descrição	Método	Amostra	Critério de Passagem
1	Integridade dos arquivos e formatos	Validação dos dados na leitura dos arquivos de backup	Todo os arquivos do projeto	Leitura dos arquivos sem erro
2	Compleitude - excesso ou omissão de pontos	Contagem de pontos na base de dados	20 segmentos de linhas	< 20%
3	Verificação dos códigos	Visual na tela ou na impressão	Todos os arquivos	Máximo de erros 5/10/20 (*depende da densidade)
4	Exatidão posicional	Redigitalizar pontos e calcular a média e o desvio padrão em relação ao mapa	50 pontos bem definidos	Média + 2 σ $\leq$ 0,2mm na escala do mapa
5	Ligação de folhas	Visual > 0,2mm	30/50	Máximo de 2 ou 3 erros
6	Toponímias [classificada de acordo c/ sua importância (A, B, C)].	Visual ou automático: posição, estilo, tamanho, grafia.	(A) todos, (B) 50 e (C) 30	(A) nenhum erro, (B) máximo 1 e (C) máximo 3
7	Exatidão de Atributos	Visual e comparativo a outra base de mais exata – baseado na ISO2859 ⁶	100 unid./arquivo e por classe	(A) 1. (B) 4, (C) 15

Como ao fim de cada processo de produção é obtida documentação própria, nesta fase final, são analisadas a precisão e a exatidão alcançadas durante todo o processo de produção, que são, então, resumidamente, apresentadas no relatório final de produção. Outras informações acrescentadas neste relatório, exigidas na SDTS (1998), referem-se a(s):

- Data de aplicação dos testes de qualidade;
- Correções e modificações, realizadas após os testes, e
- Indicação de como as novas informações de qualidade foram verificadas

⁶ Cada unidade compilada de dados tem um supervisor de qualidade que seleciona um certa área (quadrada) para ser testada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Entrevistas Realizadas

Para detectar os problemas na produção de dados adequados ao cliente, especialmente na área de geoprocessamento, foram aplicados boletins de pesquisa em alguns organismos e em demandantes/usuários de mapeamentos cartográficos.

A pesquisa nos organismos de mapeamento cartográficos procurou levantar as seguintes informações:

- i. Emprego de sistema de gestão de qualidade nas agências de mapeamentos e em empresas de aerofotogrametria.
- ii. Dificuldades dos processos de produção.
- iii. Política empregada pelas empresas de aerofotogrametria para o atendimento das necessidades do cliente.

O questionário de pesquisa aplicado aos demandantes e aos usuários do mapeamento cartográfico (Anexo 11) com a finalidade de geoprocessamento teve, como principal objetivo, verificar a expectativa do cliente sobre o produto cartográfico e o grau de satisfação alcançado.

6.1.1. Resultados das Entrevistas

Os resultados, correspondentes aos boletins de pesquisas aplicados aos organismos de mapeamento, demonstraram, de modo geral, que:

- a. Os organismos se preocupam, efetivamente, com a qualidade posicional dos dados e dos atributos, contudo, esta qualidade tende a ser custosa no processo produtivo;
- b. Os organismos de mapeamento consultados não possuem sistemas de gerenciamento de controle de qualidade ISO 9000;

- c. O controle de qualidade na produção não é aplicado em todos os processos;
- d. O processo considerado mais caro é o processo de restituição;
- e. Os organismos de mapeamento reclamam da dificuldade de vender serviços de mapeamento e que o cliente potencial, em geral, desconhece o produto. Isto significa que o produtor especifica o produto para os clientes.

Os resultados correspondentes aos boletins de pesquisas, aplicados aos demandantes do mapeamento, demonstram que:

- a. A qualidade dos serviços aerofotogramétricos é considerada boa;
- b. A satisfação em relação ao produto cartográfico é moderada;
- c. As expectativas não são completamente atendidas, principalmente, no fator "adequado ao uso".

Estes resultados são apresentados no gráfico da Figura 6.1, onde 70,6% dos entrevistados aprovam o produto cartográfico adquirido, classificando-o como "bom". Um percentual menor de usuários, cerca de 23,5%, classificaram o produto como ótimo, e 5,9% aprovam o produto adquirido com certo descontentamento.

Figura 6.1: Gráfico representante do nível de qualidade dos serviços de aerofotogrametria.

Nestas pesquisas, não foram considerados os conceitos mais amplos de qualidade, correspondentes à conformidade do uso. Este resultado, segundo os estudos da CERCO – Working Group on Quality (2000) –, indica que as expectativas do cliente, em relação ao produto cartográfico contratado, foram maiores que o resultado efetivamente obtido. Deste modo, a satisfação do cliente é considerada moderada. Isto significa que o cliente pode passar, facilmente, do nível de satisfação para insatisfação.

Para confirmar a procedência desta análise, no mesmo boletim de pesquisa, tentou-se medir o grau de satisfação do cliente¹, através da escala de Likert, apresentada em Sussland (1996), sendo 5 pontos = muito satisfeito, 4 pontos = satisfeito, 3 pontos = aceitável, 2 pontos = insatisfeito e 1 ponto = muito insatisfeito. A última nota não foi considerada no boletim de pesquisa. O pesquisado tinha a opção de justificar sua nota.

Os resultados das pesquisas mostraram que 29% dos demandantes/clientes estão muito satisfeitos e 43% estão satisfeitos. Um número menor de entrevistados, 14%, atribuiu nota 3, o que significa que eles não estão contentes com os serviços/produtos, classificando-os como aceitáveis. Os outros 14% atribuíram nota 2, demonstrando insatisfação. A Figura 6.2 traz, de forma clara, a distribuição do grau de satisfação encontrada na pesquisa.

Figura 6.2: Gráfico representando os resultados da medição do grau de satisfação do cliente.

¹ O número de pesquisas não atinge um número de amostra populacional, estatisticamente, recomendável de 20. Foram realizadas 16 pesquisas válidas.

Embora as pesquisas tenham mostrado que os clientes estão satisfeitos, elas revelaram que esta satisfação é condicionada a fatores de custos e de conformidade ao uso². Este resultado tende a confirmar que a expectativa do cliente tem sido maior do que o produto cartográfico obtido.

Baseado no estudo de Ahonen (2000), pode-se considerar o grau de satisfação de nota = 4 em nível de satisfação médio, ou seja, os clientes afirmam estarem satisfeitos, mas não inteiramente contentes. Portanto, a lealdade do cliente à empresa contratada permanece instável. Isto significa que eles tendem a fazer críticas externas quando algum problema ocorrer. Na primeira oportunidade, o cliente passa a contratar serviços de mapeamento de outra empresa. Esta situação não é conveniente para as empresas.

Os problemas da produção de dados espaciais, na visão do cliente, foram também abordados no boletim de pesquisa. Estes dados foram levantados a partir da seguinte pergunta: "Na sua opinião, quais são os principais problemas da produção de dados espaciais?" As respostas obtidas indicaram fatores diversos, exibidos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Respostas citadas no boletim de pesquisa referentes aos problemas de produção de dados.

ID	Problemas quanto a Produção	%
I	Dados Inadequados	19
II	Custos	15
III	Manutenção da Base de dados	15
IV	Formação Técnica	11
V	Treinamento de Pessoal	7
VI	Intercâmbio dos Dados	7
VII	Normalização	7
VIII	Apoio Político	7
IX	Garantia de Qualidade	4
X	Tempo de Produção (Disponibilidade)	4
XI	Integração dos Dados	4
Total		100

Em seguida, as respostas dos entrevistados foram agrupadas em cinco classes, conforme mostra o Gráfico da Figura 6.3.

² No questionário, o entrevistado dava seu parecer (muito satisfeito, satisfeito, aceitável e descontente), tendo, em seguida, a opção de justificar a escolha.

A Figura 6.3 mostra, graficamente, o resultado deste trabalho. Para 33% dos entrevistados, o maior problema da produção dos dados espaciais é a falta de adequação, sendo citados, como problemas, a conversão dos dados, a estrutura inadequada, a dificuldade de intercâmbio dos dados e a disponibilidade dos mesmos.

Figura 6.3: Principais problemas considerados pelos entrevistados (agrupados em 5 classes).

O segundo problema abordado, com 22% das entrevistas, refere-se aos custos do produto e ao apoio político. Do total de entrevistados, 19% acham que o problema da produção dos dados é concernente à falta de pessoal qualificado. Neste grupo, incluem-se a falta de pessoal treinado e a de conhecimento nas aplicações. Para 15% dos entrevistados, o problema está na dificuldade de atualização. Já 11% mencionaram a ausência de normas, juntamente com a falta de padronização dos dados espaciais. Para esse último grupo, a solução para os problemas de produção de dados para geoprocessamento é a normatização dos dados espaciais.

6.2. Experimentos Efetuados

Para avaliar a funcionalidade do Sistema CQP e validar os parâmetros de qualidade propostos, foram realizados experimentos práticos de alguns procedimentos de controle de qualidade nos seguintes processos: numerização, orientação interior, aerotriangulação e restituição.

6.2.1. Testes de Numerização

Com o objetivo de obter imagens com qualidade desejada, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Alvo de controle da resolução de definição geométrica, conforme mostra a Figura 6.4;
- Programa Image Analyst, versão 7.1, da Intergraph;
- Um par de imagens em diapositivo, cuja qualidade era adotada como padrão no Instituto de Fotogrametria da École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), e
- Scanner DSW 200 da Helava, mostrado na Figura 6.5.

Para o teste de resolução de definição, o alvo de controle de resolução, exposto no filme, foi numerizado (como mostra a Figura 6.5). A análise da qualidade da resolução da imagem foi realizada com o auxílio do programa Image Analyst 7.1, da Intergraph. A partir deste programa, foi possível analisar o perfil de densidade do alvo e quantificar as frequências das linhas (linhas/mm). Verificou-se que, acima de 50 linhas/mm, e com o aumento da frequência das linhas, houve o afinamento do sinal (linhas/mm) e a perda de contraste, como mostra a Figura 6.3.

Figura 6.4: Alvo exposto no negativo para os testes de resolução geométrica.

Seguindo as recomendações de Kölbl e Hawawini (1986), a numerização do alvo foi feita com 10 μ m. A partir deste procedimento, pode-se diagnosticar, rapidamente, se a resolução da imagem e o contraste da numerização (através do scanner) correspondem à exigência do projeto, mostrando-se suficientemente adequados. Com este tipo de teste, pode-se medir a perda de contraste através da Função de Transferência de Modulação (MTF) (Capítulo 3). Contudo, a demanda de tempo para este tipo de tarefa é maior.

A etapa seguinte foi a numerização de imagens coloridas aprovadas e, portanto, com padrões de cores conhecidos. Na manipulação dos materiais foram respeitados os cuidados de ambiente e de manuseio, adotados nas empresas e instituições suíças. Neste ambiente, foram destacadas: a mesa de luz, a proteção dos diapositivos e a luvas para manuseio dos materiais, de acordo com a Figura 6.5. Outro detalhe fundamental considerado foi a localização do scanner num ambiente isolado, visto na Figura 6.6.

Figura 6.5: Mesa de luz, proteção dos diapositivos e luvas para o manuseio das imagens a serem numerizadas.

Os diapositivos foram numerizados, inicialmente, sem o conhecimento dos parâmetros-padrão. O objetivo deste procedimento foi o de obter, naturalmente, uma "calibração visual", treinando o operador para futuros processos de numerização com padrões visuais bem definidos. A Figura 6.7 mostra uma das tentativas de numerização sem sucesso devido ao contraste exagerado e, conseqüentemente, à perda de resolução radiométrica.

Figura 6.6: Scanner DSW200 e a estação de trabalho para gerenciamento da numeração das imagens.

Figura 6.7: Imagem numerizada, rejeitada pelo alto contraste e pela perda de resolução radiométrica.

Após o encerramento da numerização, cada imagem foi submetida ao controle de qualidade visual na tela do monitor. Também foram percorridas algumas regiões da imagem, em modo de ampliação (zoom), para a conferência da qualidade de sua tonalidade. A partir desta operação, pôde-se detectar a presença de manchas em algumas partes da imagem (vide Figura 6.8).

Figura 6.8: Manchas na imagem

As manchas detectadas foram causadas pela poeira presente na placa de suporte de numerização do scanner. A ocorrência deste fato durante o estudo mostrou que, mesmo com todo cuidado de controle de temperatura, de umidade, de isolamento e de manipulação, o processo é vulnerável. Se os procedimentos e as ocorrências de problemas forem adequadamente documentados e submetidos a ações corretivas ao longo do tempo, pode-se alcançar o padrão de produção com “defeito zero”.

Em caso da não execução da conferência durante o processo de numerização, as manchas só seriam detectadas no processo seguinte de geração de ortofotos, prejudicando a qualidade do produto. Em casos de alta exigência de qualidade, o trabalho seria prejudicado e, seu fluxo, interrompido para correções das imagens ou para a adição de novos procedimentos de trabalho.

6.2.2. Geometria da Imagem

Para testar os parâmetros de qualidade da orientação interior e, conseqüentemente, a rigidez geométrica da imagem, foram utilizados conjuntos de imagens de diferentes organizações e empresas de mapeamento. Estes conjuntos de imagens foram submetidos ao processo de orientação interior digital cujo objetivo foi à comprovação dos parâmetros de qualidade indicados no CQP. Além das imagens, foram utilizados para esta atividade:

- Um Sistema Fotogramétrico Digital da LH Systems.
- Oito jogos de imagens de diferentes escalas e projetos, fornecidos pelas diversas empresas e organismos nacionais de mapeamento.

Como proposto no capítulo anterior, este processo admite um EMQ de $7\mu\text{m}$ ou de, no máximo, 0,5 pixel para uma dimensão de pixel não maior que $20\mu\text{m}$. As medições, efetuadas sobre as marcas fiduciais nas imagens coletadas, geraram os resultados apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Resultados dos testes de qualidade do processo de orientação interior.

Empresa	Escala da Imagem	Câmera	Nº de imagens	Resolução [μm]	EMQ [μm]	[Pixel]
A	1:35.000	RC10	2	21	19,8	0,99
B	1:30.000	RC 10	2	25	23,9	0,96
B	1:30.000	RMK TOP	4	22	9,2	0,37
C	1:35.000	RC10	2	21	19,8	0,99
D	1:8.000	RC8	2	20	10,3	0,52
E	1:8.000	RC10	2	24	13,3	0,56
F	1:8.000	RC10	2	24	18,7	0,78
G	1:8.000	RMK TOP	5	25	8,9	0,41

Os resultados dos testes práticos mostraram que, dificilmente, o padrão de qualidade proposto é atingido e, conseqüentemente, não seriam tolerados internacionalmente (Item 3.5.2). O EMQ menor que 0,5 pixel é encontrado somente quando as imagens são capturadas com câmeras novas (RMK TOP, no caso

brasileiro), empresa B e G. Convém destacar, ainda, que os melhores resultados foram adquiridos somente quando eliminadas uma ou duas leituras das marcas fiduciais que apresentavam resíduos superiores a 15 μ m. Este tipo de tratamento é possível quando utilizadas câmeras aerofotogramétricas com 8 (oito) fiduciais.

O resultado da orientação interior da empresa D, próximo ao limite de 0,5 do pixel, alcançado com a câmera RC8, deve ser investigado uma vez que foram alterados os sinais das coordenadas das fiduciais. Neste processo foi admitida uma inversão dos eixos do sistema da câmera, considerando o sistema da câmera como o sistema convencional originado da fábrica e rejeitando o sistema relatado no certificado de calibração atual cujos eixos estão invertidos.

Distintamente, quando a orientação interior é efetuada em imagens de projetos suíços, americanos e canadenses, o EMQ menor que 0,5 pixel é facilmente obtido, como mostra a Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Resultados obtidos na orientação interior de imagens de projetos suíços, americanos e canadenses.

Projeto	País	Escala da Imagem	Câmera	Nº de imagens	Resolução [μ m]	EMQ [μ m]	[Pixel]
Altdorf	Suíça	1:4.500	RC20	8	25	3,6	0,14
Loret	Canadá	1:2.500	RMK A	8	47	7,8	0,17
Escondido	EUA	1:11.400	RC20	4	25	5,8	0,23

Como se pôde observar, o EMQ médio de 15 μ m das imagens nacionais ultrapassa a média residual admissível e esperada. Além disso, 33% dos testes (sobre as imagens) acusaram erros maiores que 15 μ m, tidos por inadmissíveis pelos organismos internacionais. Três possíveis fontes de erros podem estar associadas a esta causa. A primeira delas é a câmera, que deve ser investigada ou substituída por câmeras mais novas. A segunda fonte é o processo de reprodução do diapositivo e, em terceiro, a calibração do scanner.

6.2.3. Validação do Processo de Aerotriangulação Digital

Para testar os parâmetros de qualidade do processo de aerotriangulação digital, foram utilizados o sistema fotogramétrico digital SOCET SET, o programa de aerotriangulação ORIMA TE/GPS e três blocos de imagens, de projetos distintos,

cujos dados são apresentados na Tabela 6.4. Os blocos A e B são projetos brasileiros. O bloco “Altdorf” se refere a um projeto suíço, cedido pela Leica Geosystems.

Tabela 6.4: Dados dos projetos testados na aerotriangulação.

PROJETOS	Nº de Imagens	Escala da Imagem	Resolução da imagem [μm]	Nº de Pontos de Controle	Total de Pontos [imagem]
A	89	1:30.000	25	42	553
B	6	1:8.000	24	10	65
Altdorf	8	1:4.700	25	8	125

O sistema de aerotriangulação digital facilita o refinamento do ajustamento e das medições fotogramétricas devido ao alto nível de automação das operações de medição e remedição dos pontos, além de seu suporte gráfico, conforme apresentado no Anexo 12.

O resultado geral das medições automática e interativa dos pontos fotogramétricos e do ajustamento não deve exceder 0,3 pixel (Item 5.3.5), sendo tolerável um residual máximo de 20 μm (1 pixel) na medição dos pontos.

Nos blocos A e B, as tarefas árduas de identificação e medição dos pontos-de-controle (sobre as imagens), com pontos naturais, consideradas complicadas e improdutivas, foram substituídas pela tarefa mais leve de busca e medição de pontos-de-controle pré-sinalizados. A adoção de pontos naturais quando comparados ao uso de pontos-de-controle pré-sinalizados, é bastante improdutiva, além da perda de tempo com consultas em croquis e com buscas de detalhes sobre a imagem, a posição do ponto pode ser incerta. No ajustamento do bloco, os pontos-de-controle naturais, devem sofrer novas revisões de medidas e, em alguns casos, podem ser desconsiderados. A resultante final do desempenho destes pontos-de-controle naturais na aerotriangulação é o desperdício de tempo e de dinheiro no apoio de campo e no processo de aerotriangulação, além da perda de exaustivos trabalhos de ajustamento e refinamento das medições para alcançar uma qualidade tolerável.

A Tabela 6.5 apresenta os resultados obtidos na aerotriangulação e no ajustamento dos blocos A, B e de Altdorf. Na aerotriangulação do bloco A, foi detectado o efeito de deriva das imagens, conforme mostra a Figura 6.9. O descuido no processo de cobertura aerofotogramétrica dificulta a etapa de medição dos pontos

fotogramétricos e, provavelmente, o processo de restituição. Este efeito reduz a cobertura estereoscópica do modelo, dificulta a medição dos pontos na imagem e prejudica o processo de ajustamento do bloco. A Figura 6.9 mostra a geometria do bloco de imagens na etapa de ajustamento com o ORIMA, sistema de aerotriangulação da Leica Geosystems.

Tabela 6.5: Resultados dos testes práticos no processo de aerotriangulação.

PROJETOS	$\hat{\sigma}_0$ [μm]	EMQ do Ajustamento [m]		
		X	Y	Z
A	20	1,32	1,22	0,41
B	9,6	0,40	0,34	0,26
Altdorf	6,2	0,28	0,32	0,12

Figura 6.9: Configuração do bloco A (parte 01 do bloco com 50 imagens).

A expectativa de qualidade inicial do bloco A foi inferior à do resultado, uma vez que 40% das imagens foram adquiridas de scanners não-fotogramétricos, cujos resíduos de distorção foram de 40 μm , além, dos efeitos supracitados de deriva. O resultado obtido do bloco B ficou abaixo das expectativas de qualidade, uma vez que os pontos-de-controle foram levantados com precisões superiores a 5cm. Mesmo

com um trabalho árduo de refinamento, o ajustamento não convergiu como o previsto ($8,5\mu\text{m}$ ou $0,3$ pixel). Neste bloco, foi necessário utilizar parâmetros adicionais (como, correções do filme e de lentes, disponíveis do ORIMA). Para o bloco de Altdorf, os resultados convergiram de acordo com as expectativas. A produtividade e o resultado são, notadamente, melhores que as do bloco A e B devido à presença de pontos de controle pré-sinalizados e da superior qualidade das imagens. A Figura 6.10 mostra a diferença de qualidade referida. A Figura 6.10a mostra imagem do bloco B e, a Figura 6.10b, um detalhe da imagem do bloco Altdorf. As possíveis causas atribuídas à má qualidade da imagem do bloco B foram tratadas no Item 5.3.1 (falhas no controle de qualidade de obtenção da imagem, qualidade do filme e de reprodução do negativo). Pode-se observar que a variação da densidade é mínima, que a perda de tons de cinza é drástica e, portanto, prejudicial ao processo de restituição, discutido no item a seguir.

Figura 6.10: Comparação de diferenças nas qualidades das imagens dos blocos B e de Altdorf.

Em visitas técnicas às empresas, oportunamente, pôde-se medir a produtividade do processo de aerotriangulação e conhecer os níveis de dificuldades encontrados. Estes dados foram agrupados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Resultados de pesquisas de produtividade no processo de aerotriangulação por imagem.

Sistema Fotogramétrico	Analítico (Universidade)	Analítico (Empresa A)	Analítico (Empresa B)	Semi-Digital (Empresa C) IPM	Digital (Empresa D) APM	Digital (Empresa E) APM
Etapas	minutos	minutos	minutos	Minutos	minutos	minutos
Preparação	15	15	7,5	5	5,5	5,5
Medições AT	15	12	12	10	7,5	7
Ajustamento	10	5	9	4	4	2
Tempo Consumido	40	32	28,5	19	17	14,5

As etapas de aerotriangulação foram classificadas de acordo com os trabalhos de Kersten (1999a), resultantes dos testes de avaliação da aerotriangulação digital, iniciados pela OEEPE (European Organization for Experimental Photogrammetric Research) em 1995. Estas etapas foram, ainda, refinadas de acordo com as informações das empresas e se resumiram a duas classes de tarefas: aerotriangulação digital manual e a digital automática, de acordo com as Tabelas 6.7 e 6.8.

Tabela 6.7: Etapas do processo de aerotriangulação digital manual

Digital Manual
Preparação
1. Entrada dos dados da câmera preparação dos arquivos de pontos-de-controle.
2. Importação das imagens e geração das pirâmides de imagens.
3. Planejamento da codificação dos pontos (numeração).
4. Definição dos parâmetros do bloco (configuração) e da densidade e distribuição dos pontos fotogramétricos.
Medição
1. Entrada dos dados da câmera e dos arquivos de pontos-de-controle.
2. Orientação Interior.
3. Medição dos pontos de controle.
4. Medição dos pontos fotogramétricos em modo interativo e registro da numeração dos pontos, conforme planejamento.
Ajustamento e Controle de Qualidade (CQ)
1. Transferência de dados (pontos de imagens e de controle) para o sistema de ajustamento externo.
2. Ajustamento e remedição de pontos (refinamento) dos modelos.
3. Ajustamento do bloco incluindo a eliminação dos erros e CQ (refinamento).
4. Atualização dos dados de orientação na Estação Fotogramétrica.

Tabela 6.8: Etapas do processo de aerotriangulação digital automática.

Digital Automática
Preparação
1. Entrada dos dados da câmera preparação dos arquivos de pontos-de-controle.
2. Importação das imagens e geração das pirâmides de imagens.
3. Orientação interior automática e CQ.
4. Definição dos parâmetros do bloco (configuração) e das densidade e distribuição dos pontos fotogramétricos.
Medição
1. Medição dos pontos de controle.
2. Medição dos pontos fotogramétricos (automática).
3. Pré-ajustamento e medição de pontos. Interativa (detecção de erros grosseiros, eliminação e remedição de pontos)
Ajustamento & Controle de Qualidade (CQ)
Ajustamento do bloco incluindo a conferência de rigidez, adição de novos pontos e CQ (refinamento).
Atualização dos dados de orientação na Estação Fotogramétrica.

A Aerotriangulação digital manual é realizada com a medição de pontos interativa com o operador, ou seja o operador deve ler todos os pontos fotogramétricos. Na aerotriangulação digital automática os pontos fotogramétricos na imagem são lidos automaticamente através dos métodos diversos de correlação de imagens.

Os modos de preparação se distinguem entre as empresas, assim como a divisão das etapas. Deste modo, torna-se difícil comparar a produtividade entre as mesmas. Contudo, o resultado da pesquisa pôde mostrar claramente a diferença de produtividade entre a aerotriangulação analítica e a digital.

6.2.4. Testes Realizados no Processo de Restituição

Nesta fase, foram realizados dois principais testes. O primeiro deles foi realizado num BC2000, equipado com o sistema SYSTEM 9, da Wild Leitz/Prime Computer. Esse sistema gerencia a coleta de dados espaciais, bem como, organiza base de dados relacional ou orientada ao objeto, estruturada topologicamente. Maiores detalhes a respeito do System 9 podem ser vistos em Van Eck e Uffer (1985).

O segundo teste foi realizado numa estação fotogramétrica com o SOCET SET, operando com um sistema de restituição PRO600, da Leica Geosystems. A

finalidade principal, para ambos os testes, é a armazenagem de dados restituídos numa base de dados, direcionada a um SIG.

O primeiro teste, realizado no System (S9), contou, ainda, com outros recursos do laboratório IPHOT da EPFL, a seguir listados:

- Um par de diapositivos da região central de Lausanne, na escala 1:5.000.
- System 9, da Wild
- Microstation, da Bentley, para a editoração;

Figura 6.11: Esquema representativo da localização da área restituída.

Com a inexistência de normas brasileiras para escalas cadastrais 1:2.000 e 1:1.1000, houve a necessidade de desenvolver um modelo de dados de temas e de representação gráfica dos objetos a serem coletados no modelo estereoscópico, conforme mostra o Anexo 13. Este modelo de dados foi desenvolvido com base nos oito níveis de informações, bem como em seus temas, nas normas suíças (IMO, INTERLIS e OTEMO) e na TBCD, desenvolvida pela DSG. O modelo de dados foi projetado com temas relacionados a feições urbanas, atendendo aos propósitos da escala. A região de estudo, centro da cidade de Lausanne, na Suíça, conhecida

como “Pont Bessière” é mostrada na Figura 6.11 (a ortofoto, à direita, apresenta as características da área restituída).

Após a definição do modelo de dados, foram definidas as regras da estrutura dos dados. Essas regras foram baseadas nos parâmetros de qualidade do Item 4.6, assim constituídas:

- a) Conformidade com o modelo de dados;
- b) Níveis de tolerância de proximidades entre os elementos;
- c) Monitoramento das classes e dos atributos;
- d) Completude dos dados quanto à transferência e à duplicidade.

A conformidade com o modelo de dados, bem como a definição mínima entre os objetivos (b), são facilmente configuráveis no S9. Implementado o modelo de dados no S9, o atributo é automaticamente ligado ao objeto; ou seja, ao restituir uma rua do estéreo-modelo, é suficiente selecionar o arquivo e o comando predefinido para se iniciar o traçado. Como exemplo, foram definidos os seguintes elementos e comandos:

- i. Building 1 = îlots (ilhas urbanas) – código 51;
- ii. Building 2 = trottoir (calçadas) – código 31;
- iii. Building 3 = parking (estacionamentos) – código 41;
- iv. Building 4 = route principale (ruas, estradas principais) – código 10.

O elemento restituído foi registrado num arquivo proprietário do S9 (por exemplo, “route.atl”). Os arquivos de restituição de cada nível de informação foram exportados em formato ASCII para serem lidos por programas de edição de texto, banco de dados, CAD e SIG.

A função de exportação do S9 permite a caracterização personalizada dos elementos de saída. Com esta operação, o arquivo dos elementos restituídos pode ser lido e reestruturado, adequadamente, em qualquer software. No caso específico deste trabalho, os dados restituídos foram lidos e estruturados no Microstation, da Bentley, e no MGE, da Intergraph como mostra o Anexo 14. A Figura 6.12 apresenta

parte da área restituída de Lausanne, estruturada no padrão Microstation e MGE. Esta figura mostra a qualidade da estrutura dos polígonos fechados, os quais representam as edificações. Esses polígonos possuem arestas compartilhadas sem a duplicidade entre as linhas que, é evitada pelo uso de regras durante a coleta de dados, como:

- Uso de “snap” bidimensional e tridimensional, e
- Inserção de nós, a cada interseção, entre os elementos.

Figura 6.12: Corte da Área Restituída – Grupo de Edificações

Estas regras permitem que todos os elementos, que compartilham arestas, sejam apropriadamente caracterizados na reconstrução da estrutura dos dados (no Microstation) como elemento de área, permitindo, assim, a individualização dos objetos, sem a duplicidade de arestas compartilhadas.

Na exportação dos arquivos de restituição e mesmo durante o processo de restituição, o S9 permite conferir a duplicidade de elementos. Isto facilitou a conferência da consistência dos dados do tipo texto após o término de cada “bloco” de restituição. O registro dos elementos restituídos em formato ASCII, disponibilizado

pelo S9, possibilitou a leitura do arquivo (que continha os textos restituídos) em um editor comum de texto, o que permitiu a conferência de duplicidade dos elementos, conforme apresentado no Anexo 15. Com este arquivo de saída, é também possível detectar erros de grafia.

Figura 6.13: Exemplo da área restituída – “nós” das ruas e pontos altimétricos das edificações e de desníveis do terreno.

Neste processo de restituição, foi implantado ainda, um nível de pontos altimétricos para auxiliar a etapa de geração de MDT. Os pontos altimétricos são coletados no centro das edificações e nos locais de diferenças de níveis de altura significativas. A Figura 6.13 apresenta um exemplo desta dos pontos altimétricos coletados. Este nível de informação não foi utilizado na impressão final, conforme visto no Anexo 14. Contudo, ele foi previsto para uso posterior na geração de modelagem tridimensional das edificações. Na Figura 6.13 são ainda destacados os pontos (nós) nos centros das vias. Antes de iniciar a restituição foram configuradas

as regras de criação de nós automáticos nos centros de duas linhas paralelas denominada como "Rue" (ruas).

O segundo experimento foi realizado com o emprego do sistema fotogramétrico SOCET SET e o PRO600 (pacote de aplicações MDL, da Microstation, voltado para a restituição fotogramétrica). O PRO600 permitiu coletar dados com as estruturas topológicas descritas a seguir:

a) Edição de vértice

Esta função de edição consiste nas operações de mover, inserir, remover e estender vértices de feições lineares, poligonais e poliédricas. Possui a opção de fixação das posições planimétricas ou altimétricas enquanto o vértice é editado (tome-se, como exemplo, a elevação de um vértice, mantendo-se fixas as coordenadas XY). Esta ferramenta permite, ainda, o compartilhamento ou não de vértices de diferentes polígonos com iguais ou diferentes elevações.

b) Visualização de nós

Este tipo de operador facilita a investigação e a conferência dos nós dos elementos gráficos desejados. Consiste em exibir os nós das feições coletadas. Esta ferramenta pode ser usada para o monitoramento da integridade topológica dos dados.

c) Funções de "snap"

Uma das funções "snap" é permitir a inserção de um ou mais vértices em segmentos de retas ou, mesmo, em elementos complexos e polígonos fechados. Por exemplo, em certa proximidade de uma linha ou polígono, esta função pode inserir um vértice (nó) e dividir a linha, automaticamente, na posição desejada.

d) Contador vetorial

É um operador que contabiliza o número de elementos gráficos existentes na base de dados. Auxilia no controle da qualidade referente à integridade da base de dados gráficas.

e) Superposição gráfica

Esta ferramenta permite que todo elemento restituído do modelo estereoscópico seja visualizado sobre ele. Desta forma, a conferência de completude dos dados, como a omissão, pode ser feita sem a necessidade de impressão do arquivo para conferência.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões Gerais

Num passado recente, em que o cliente não procurava, voluntariamente, as empresas para solicitar o produto fotogramétrico, cabia às empresas de aerofotogrametria convencer os “políticos” sobre a necessidade do mapeamento. Por vezes, contratos de mapeamento foram assinados sem se ter a real dimensão das capacitações e competências da empresa ganhadora da licitação. Este tipo de ação, em pouco tempo, prejudicou a demanda de mapeamento, visto que os investimentos, com o dinheiro público eram direcionados a um produto em completo “desuso” e “abandono”, criando uma imagem negativa por serem julgados gastos desnecessários. Esta “imagem” do produto cartográfico dificilmente será revertida em médio prazo. Resta, para o momento, um trabalho árduo de reconquista e de busca para atender as expectativas do cliente.

As empresas de aerofotogrametria alegam que a qualidade do mapeamento tem pouco “peso” na venda desse serviço. Contudo, o resultado das pesquisas realizadas mostra que o contratante anseia a rápida disponibilidade dos dados espaciais, sem perda de qualidade e com estrutura de dados adequada ao uso imediato. Todas essas questões poderiam ser mais bem assistidas e acompanhadas em um sistema de gestão de qualidade, com recursos sistemáticos de controle, capaz de promover a atualização e inovação dos processos.

Essa expectativa do cliente quanto à disponibilidade e à qualidade tem sido superada internacionalmente pelas ortofotos digitais. Contudo, as visitas técnicas às empresas de aerofotogrametria no país detectaram que há uma grande perda de produção nos processos de produção de ortofotos devido às falhas no processo de obtenção de imagens, seja na aquisição da imagem durante o voo em condições desfavoráveis, na falta de filtros adequados, seja na manipulação e processamento

inadequado do filme ou no processo inadequado de numerização das imagens conforme visto nos capítulos anteriores. A produção de ortofotos digitais, tida como solução viável de mapeamento (tanto em tempo, quanto em preço) no mercado internacional, encontra fortes limitações produtivas no meio brasileiro, tornando o produto não atrativo e não competitivo suficiente no mercado nacional.

7.2. Conclusões dos Testes Práticos

a) Com relação à Obtenção das Imagens

A nitidez das imagens é, notadamente, melhor quando estas são obtidas a partir de câmeras novas. Além disso, percebe-se uma significativa melhora nos resultados da orientação interior (Item 6.2.2). A partir desta análise, conclui-se que as câmeras RC10 e RC8 não foram projetadas para a captura de imagens coloridas, visto que, à época em que foram fabricadas (1961 a 1978), era incomum a realização de projetos aerofotogramétricos com filmes coloridos o que explica a quase inexistência de filtros para aquisição de imagens coloridas nestas câmeras. O que explica a falta de qualidade das imagens conforme visto no capítulo 3, Figura 3.11. Um outro fator que afeta a qualidade das imagens é o processamento inadequado dos filmes. O filme colorido exige maior exatidão de processamento, ou seja, exige uma padronização na ação de processamento do filme, considera-se que seja inevitável o uso de processadoras de filme.

Para evitar a rejeição das imagens, observou-se que os organismos de mapeamento adicionam a seu fluxo de produção o processo de tratamento digital de imagens. Nas operações de ajustes radiométricos (Item 3.3), são utilizados, no mínimo, dois operadores para manipulação e tratamento das imagens com programas como o Adobe PhotoShop. O tempo médio gasto neste processo é de 10 minutos por imagem (dados obtidos informalmente). No sistema CQP, este processo (de ajustes radiométricos) é visto como uma ação corretiva limitada. Isto significa que esse tratamento deve ser eliminado ou reduzido nos próximos serviços e não incorporado ao fluxo produtivo, como vem sendo efetuado, conforme visto no item 3.3, Figura 3.11 .

Deve-se, ainda, levar em consideração o rápido avanço tecnológico dos equipamentos e dos materiais. A não atualização das normas dificulta, por exemplo, a autorização (pelo EMFA) para vôos aerofotogramétricos com sensores digitais aerotransportáveis e sistemas LIDAR. O uso de GPS e IMU, bem como o armazenamento das imagens áreas digitais, também não estão previstos na legislação do EMFA.

b) Com Relação à Orientação Interior

Os resultados, obtidos no processo de orientação interior, mostraram que, se fossem considerados os níveis de tolerâncias de precisão adotadas no sistema CQP, as imagens, em sua grande maioria, seriam rejeitadas. Na prática, O EMQ para a orientação interior tem sido, em média, $15\mu\text{m}$. A partir dos estudos realizados, um resultado, ainda viável para este processo, não deve ultrapassar um EMQ de $10\mu\text{m}$. Desta análise, pode-se concluir que as empresas nacionais não estão adequadas ao rigor de qualidade internacional.

As entrevistas feitas nas empresas e nos organismos de mapeamento, mostraram que a tolerância, supostamente adotada no processo de aerotriangulação, corresponde a um EMQ de $20\mu\text{m}$, sendo que as medições das fiduciais, com erros maiores que $40\mu\text{m}$ não são rejeitadas (válido somente para câmeras com oito fiduciais) e para câmeras com quatro marcas fiduciais, a rejeição não é recomendada. A despreocupação com os grandes resíduos no processo de orientação interior indicam que os parâmetros de qualidade, considerados aceitáveis na atualidade, são referenciados à tecnologia analógica e não as tecnologias analítica e digital já consagradas.

c) Com Relação à Aerotriangulação

Os pontos-de-controle naturais são mais improdutivos e vulneráveis a erros que os pontos-de-controle pré-sinalizados.

Quando considerados, na aerotriangulação digital, dados aproximados dos centros de perspectiva das imagens (originados do vôo apoiado) e os seus

respectivos valores angulares (φ , ω , κ), a etapa de preparação dos dados (Item 6.2.3) é mínima. Portanto, o tempo de produção decresce.

No processo de aerotriangulação, etapa de orientação absoluta, os pontos-de-controle naturais são, geralmente, difíceis de serem bem definidos, observando-se perda de 5% dos pontos-de-controle levantados em campo. Além disso, a identificação e a medição dos pontos são muito lentas se comparadas ao processo de pré-sinalização de pontos. A adoção generalizada de pontos-de-controle naturais, por parte das empresas, mostrou a viabilidade de substituição desse apoio suplementar pelo apoio pré-sinalizado, dado seu desperdício inerente de tempo no processo de aerotriangulação.

c) Com Relação à Restituição

Os testes práticos, realizados no processo de restituição, confirmaram que a adoção de regras e procedimentos reduz significativamente os erros comumente encontrados, como os de atributos e de classe temática. Assim, pode-se concluir que o controle de qualidade dos processos anteriores à restituição, como proposto neste trabalho, pode ser uma ferramenta efetiva de garantia de qualidade do produto aerofotogramétrico.

A atenção dada às recomendações feitas no Item 5.3.8 para o processo de restituição contribui para a garantia da qualidade final dos dados espaciais, reduzindo significativamente a validação de dados nos SIGs.

A solução de "superposição gráfica dos elementos sobre o modelo estereoscópico digital" mostrou ser uma ferramenta fundamental para assegurar a qualidade quanto à omissão e a comissão¹ na coleta de dados tridimensionais. Através do teste de restituição, pôde-se concluir que estes erros, freqüentes em áreas de maior densidade urbana, são reduzidos a zero.

¹ Termos oriundos do inglês "omission" e "commission".

7.3. Conclusões do Sistema CQP

Como o Sistema CQP gerencia a manutenção dos equipamentos, ele deve evitar problemas de quebra de fluxo de trabalho, como os observados nos testes práticos de numerização (vide Item 6.2.1).

Os resultados das pesquisas (apresentados no Item 6.1) e dos testes práticos, efetuados neste trabalho, acusaram a falta de um sistema de gestão de qualidade adequado nos organismos de mapeamento. Isso explica o porquê de as falhas só serem detectadas adiante, ou seja, somente nos processos posteriores, implicando na adição de novos outros ao fluxo de trabalho para que possam ser efetuadas as correções devidas. As falhas detectadas estão relacionadas, principalmente, à má qualidade das imagens e às incertezas de posicionamento dos pontos-de-controle. Como produto dessas falhas, tem-se o somatório de árduos trabalhos de refinamento de ajustamento na aerotriangulação e de processamento de ortofotos, a adição de um processo de tratamento de imagens e o decréscimo da produção.

Se adequadamente usado, o sistema CQP pode ser uma ferramenta valiosa na garantia de qualidade dos processos e dos produtos aerofotogramétricos. Os benefícios da adoção deste sistema incluem o aumento de produtividade e a organização interna da empresa.

7.4. Recomendações

Quanto às normas e às especificações brasileiras para mapeamento e produção de dados espaciais, são recomendadas:

- A inclusão de sistemas de controle de qualidade como o CQP nas especificações técnicas;
- A auditoria de qualidade nos processos de produção, previstas no contrato de prestações de serviços. Esta atitude deve evitar que organismos não capacitados concorram nos processos de licitação de serviços de mapeamentos;
- A revisão e a atualização contínua das normas de mapeamento. De imediato, devem ser revistos o PEC, que deve ser adaptado para

mapeamento digital, bem como a inclusão de exigências de qualidade para todo o processo aerofotogramétrico;

- A inclusão obrigatória de dicionários de dados no produto de mapeamento, conforme definido no Item 4.15.
- A formação de grupos de trabalho de normatização de dados espaciais, como a ISO TC 211 e TC 287 da CEN;
- A legislação para a proteção de base de dados espaciais, de forma a assegurar os direitos dos produtores e dos contratantes de mapeamentos;
- A padronização de um modelo de dados que defina, conceitualmente, as classes de objetos e suas definições. Este modelo deve permitir, principalmente, o trânsito de dados em quaisquer sistemas de mapeamento e de SIG, sem perdas de informações. O modelo de dados da DSG ou do IBGE pode ser adotado como padrão.
- As revisões de tolerâncias de precisão nas especificações e nas normas do apoio suplementar. Por exemplo, a precisão tolerável de fechamento para linhas de nivelamento de primeira ordem, adotada pelo IBGE, correspondente a $8\text{mm}\sqrt{K}$, sendo sua classe considerada, pelos padrões americanos da Federal Geodetic Data Committee (1980), como de precisão II (segunda ordem).

Para os demandantes dos serviços de mapeamento e de dados espaciais, são feitas as seguintes recomendações:

- Uma avaliação técnica antes do fechamento do contrato, a qual deve comprovar a capacidade técnica para o cumprimento eficiente dos serviços aerofotogramétricos. Nesta etapa, devem ser liberadas imagens digitais de uma determinada área para a execução prática. As empresas candidatas devem ser julgadas segundo o método e qualidade propostos, além do custo. Devem ser desclassificadas as empresas que não atenderem as exigências de qualidade e de custos. Somente após a classificação das empresas, serão liberadas as especificações, e as empresas classificadas terão um prazo para responder à possibilidade de

atender os requisitos exigidos (efetivar sua participação) para, em seguida, reapresentarem os novos preços. Vencida essa etapa, as empresas selecionadas deverão apresentar uma “demonstração” de um produto de acordo com as especificações exigidas ou similares. Nesta etapa, serão realizados testes de avaliação técnica dos produtos. O processo seguinte deverá ser o de negociações, o qual levará em consideração os custos, a melhor oferta, o desempenho, a eficiência do método e os prazos de entrega.

- O mandante deve exigir a entrega de todas as imagens. Essa observação é fruto das visitas feitas aos usuários de dados, onde se pôde constatar casos de sonegação de entrega de imagens numerizadas ao cliente. O propósito dessa recomendação está voltado à possibilidade de uma futura reutilização das imagens (por parte do contratante) em outros projetos. A não observação dessa completa entrega de informações pode gerar incômodos futuros.

Os organismos de mapeamento, prestadores de serviços, devem buscar novos meios que superem as expectativas dos clientes. Nesse sentido, as seguintes recomendações são, ainda, endereçadas:

- A adoção da modelagem conceitual dos dados antes da aprovação do processo de obtenção das imagens. Esta técnica pode fortalecer o compromisso e a relação do contratante com o contratado.
- A modernização dos meios de entrega de produtos. Em vez de folhas manuscritas em materiais estáveis, a entrega pode ser realizada em dois tipos distintos de arquivos: um com a estrutura de uso imediato em SIGs e, o outro, específico e apropriado para a “impressão”, podendo, por exemplo, ser adotado o formato “post script”. Uma outra forma moderna de entrega em meio digital é o fornecimento das folhas-modelo, bibliotecas de fontes, símbolos, tabelas de cores e dicionário de dados, anexados aos arquivos. Devem ser, inevitavelmente, fornecidas as instruções de impressões e de uso do produto cartográfico.

- No meio digital, a referência da precisão, em relação à escala, não é freqüentemente usada. Atualmente, os fabricantes de sensores digitais e de imagens de sensores de satélites têm referido o tamanho do pixel no solo, denominado, em inglês, de "Ground Sample Distance" (GSD), apresentando-se como parâmetro determinante na precisão final do mapeamento. Contudo, existe uma tendência exagerada no mercado geotecnológico de atribuir, à resolução geométrica da imagem, o papel de único fator de precisão e exatidão. Isto é detectado, principalmente, no mercado de imagens de satélite. Cabe observar, no entanto, que se a resolução geométrica da imagem fosse o único fator decisivo para a obtenção da exatidão e precisão no mapeamento, não haveria necessidade dos processos de apoio terrestre, das orientações e, muito menos, atenção às condições especificadas de vôo, do ângulo incidente indesejado da luz solar, etc. Para garantir a exatidão de 5 milímetros, bastaria sobrevoar a área a 1000 metros de altura e numerizar as imagens com 5 μ m de resolução geométrica. Recomendam-se, portanto, estudos sobre a adição da resolução geométrica da imagem original aos parâmetros determinantes da precisão do mapeamento, de forma a se ter o esclarecimento da estimativa de precisão relacionada ao tamanho do pixel de captura da imagem.

7.4.1. Recomendações Gerais

A difícil tarefa de tornar o produto da aerofotogrametria mais atrativo pode ser iniciada com a adoção interna de sistemas de gestão de qualidade, como aqueles adotados pelos organismos de mapeamento integrantes da CERCO (encontrados no Item 4.1).

Sobre a estimativa da qualidade final, representada pela Equação 5.2 (Capítulo 5), recomendam-se investigações sobre a adoção de pesos e medidas em cada item, representados na equação. Por exemplo: o resultado da orientação interior tem a mesma importância (peso) que a aerotriangulação? Pode-se analisar, ainda, a correlação entre as variáveis, atribuindo-lhes pesos, de modo a se obter um algoritmo de propagação de erros refinado. Isso possibilitará um maior grau de confiabilidade

antes e durante o processo e, conseqüentemente, maior segurança de alcance da qualidade desejada no produto final.

Recomenda-se, ainda, que sejam feitas atualizações periódicas nas imagens e nos arquivos armazenados, para que se mantenham compatíveis com a evolução dos softwares de recuperação dos dados.

O controle de qualidade para as imagens diretamente adquiridas de câmeras digitais deve ser realizado a partir de amostras de cada faixa de vôo. Estas amostras devem ser disponibilizadas em meio digital, além do tradicional meio impresso.

Para o efeito de deriva, detectado durante o processo de aerotriangulação (vide Item 6.2.3), devem ser adotadas ações corretivas no processo de vôo e revisões das instruções e dos procedimentos deste processo. A adoção de mecanismos de giro-estabilização na câmera é considerada como uma alternativa. O investimento pode ser alto inicialmente, mas em médio prazo, é compensado com o aumento da produtividade e maior certeza da qualidade final do produto cartográfico.

Finalmente, recomenda-se incluir no processo de restituição um modelo de dados conceitual, logicamente consistente, com a ajuda de ferramentas orientadas a objetos. Isso pode eliminar o processo de pós-restituição de edição e reduzir, drasticamente, o processo de validação.

8. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELRAHIM, M. & COLEMAN, D. (2000). Compression and Distribution Of Softcopy Orthophotomap Database. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Part B2. Amsterdam. Vol. XXXIII, p.17-29.
- ACKERMANN, F. (1992). Operational and Accuracy Models for GPS-Aerotriangulation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS, Comissão III. Washington – EUA, Vol. XXIX.
- ACKERMANN, R. J. & ESLAMI RAD, A. (1996). Quality Control Procedure for Photogrammetric Digital Mapping. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI. Part B4. Vienna.
- AGOURIS, P. & STEFANIDIS, A. (1996). Integration of Photogrammetric and Geographic Databases. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Comissão IV, Vol. XXXI, Vienna – Austria. p.24.
- AHONEN, P. (2000). Customer Satisfaction. CERCO Work Group on Quality - WGQ. Disponível em: <http://www.cerco.org/our_workinggroups/wgq/ahonen.html> Acessado em 14 out. 2001.
- AMORIM, A. (2000). Utilização de Modelos Estereocópicos Híbridos na Atualização Cartográfica. 124p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.
- ANDRADE, J. B. (1998). Fotogrametria. SBEE. Curitiba – PR.
- ARMER, F. (1981). Theoretical Reliability of Elementary Photogrammetric Procedures. *ITC Journal*. 3/4. p. 278-305.
- ASPRS (1995). 1995 Draft Standards for Aerial Photography. In: ASPRS Professional Practice Division Specification and Standards Committee.
- ASSAD, E. D. SANO, E. E. (1993). Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. EMBRAPA-CPAC. Brasília – DF.
- AZOUZI, M. Suivi de la qualité des données spatiales au cours de leur acquisition et de leur traitements. Thèse du Doctorat. N° 2036. Laboratoire de topométrie (TOPO) Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne – Suíça.

BALTAVIAS, E. P. e WAEGLI, B. (1996). Quality Analysis and Calibration of DTP Scanners. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 31(B1). p. 13-19.

BALTAVIAS, E. P. (1994). Test and Calibration Procedures for Image Scanners. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 30(1). p. 163-170.

BALTAVIAS, E. P. et al (2000). Tutorial "Overview, Evaluation and Testing of Digital Photogrammetric Stations" In: ISPRS Congress, Amsterdam, July 15th. Disponível em: http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/jana/isprs/ed_material.html#tutorialsISPRS. Acessado em: 20 mai 2002.

BDC98PR-009 (2001). Minimum Guidelines for Aerial Photogrammetric Mapping. Issue by Quality Management Services Configuration Management. Survey Services Unit. Department of Transportation, State of New Jersey.

BEERENWINKEL; R.; BONJOUR J-D; KÖLBL, O. (1986). Real-Time Stereo Image Injection for Photogrammetric Plotting. In: Auto Carto London, International Cartographic Association. Imperial College. Londres.

BETHEL, J. S. (1995). Geometric Alignment and Calibration of a Photogrammetric Image Scanner. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 50 (2), p.37-42.

BÉZIÈRES, J. (2000). Méthodes de L'Assurance Qualité. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Cap. 8, 28p.

BLITZKOW, D. (1973). Transformada de Fourier Aplicada ao Estudo da Função de Transferência de Modulação. Dissertação (Mestrado), Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 1973.

BMGSB (1997) - Base Mapping and Geomatic Services Branch. Specifications and Guidelines for Geomatics Digital Orthophoto. Digital Orthophoto Specifications. Content Series – Volume 7. British Columbia, Ministry of Sustainable Resource Management. Victoria BC.

BMGSB (2002) - Base Mapping and Geomatic Services Branch. Specifications for Scanning Aerial Photographic Imagery. British Columbia, Ministry of Sustainable Resource Management. Victoria BC.

BRASSEL, K. et al. (1995). Completeness. In: (6) Elements of Spatial Data Quality. GUPTILL, S. C. e MORRISON, J. L. Commission on Spatial Data Quality. ICA/ACI. p. 81-109.

BRUTON, A.M.; MOSTAFA, M.M.R.; SCHERZINGER, B. (2001). Airborne DGPS Without Dedicated Base Stations for Mapping Applications. In: Proceedings of ION-GPS 2001, Salt Lake City, Utah, USA, Set 11-14.

BURNSIDE, C. D. (1985). Mapping from Aerial Photographs – 2nd. Ed. Collins Professional and Technical Books.

CÂMARA, G et al (1996). Anatomia de Sistemas de Informações Geográficas. Editora Cartgraf Ltda. Campinas - SP.

CARPINETTI, L. R. (2000). Controle da Qualidade de Processo. 2ª Edição. EESC – USP.

CASTANHO, B. J. S.; FREITAS, C. M; RAMOS, C. A. S. (1992). Sugestões de Especificações Técnicas para Levantamentos Cadastrais. Projeto de fim de curso. Instituto Militar de Engenharia. Ministério do Exército.

CERCO (2000). Handbook for implementing a QMS. In: NMA-VI. CERCO Work Group on Quality 18/08/2000.

CHAVES, E. (1998). Análise da Qualidade de Dados Georreferenciados Utilizando a tecnologia GPS. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

COCARD, M. (1993). Utilisation du GPS Cinématique en aérotriangulation - Conditions Techniques et Premières Expériences dans le Bloc "Uster". In: Papers, Institut de Geodésie et de Photogrammétrie, EPF – Zurich - Suíça.

COLOMER, J. L. (1993). First Experiences Using Digital Photogrammetric Stereo Workstation at the ICC. Disponível em: <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo93.en.htm>>. Acessado em 10 dez 2002.

COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS (1982). Guideline for Tax Mapping. Release No. 82-403 - "Tax Mapping". Bureau of Local Assessment, Informational Guideline. Department of Revenue, Division of Local Services. Massachusetts, EUA. Disponível em: <<http://www.dls.state.ma.us>>. Acessado em dezembro de 2002.

COSTA, D. C.. (2001). Diretrizes para elaboração e uso de bases cartográficas no planejamento municipal: urbano, rural e transportes. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo. 2001.

CRAMER, M. (1995). An accuracy investigation for airborne kinematic attitude determination with GPS for sensor orientation, in: K. Linkwitz & U. Hangleiter, Hrsg., 'High Precision Navigation 95', Dümmler Verlag, Bonn, p117-125.

CRAMER, M. (1997). GPS/INS Integration. In: D. Fritsch D. Hobbie, eds, 'Photogrammetric Week '97', Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 3-12.

CRAMER, M. (1999). Direct geocoding – is aerial triangulation. absolute ? Photogrammetric Week 99, 59-70P.

DALMOLIN, Q. & SILVA, D. C. da (1999). Esboço de Padrões para Fotografias Aérea. Tradução do texto ed: Draft Aerial Photograph Standard da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – ASPRS – Divisão de Prática Profissional. Comitê de Padrões e Especificações. Curitiba – PR.

DERENYI, E. E. Digital Photogrammetry: Current Status and Future Prospects. Geomática. (1995). Géomatique. Vol. 49, n° 49, p. 425-431.

DEUTSCH, D. S. (1994). The OEEPE - Test of Aerotriangulation with Digital Images. Disponível em: <http://www.ipf.tuwien.ac.at/products/produktinfo/orient/html_hjk/-orient_bsp_eepe_e.htm>. Acessado em: 31 jul 2000.

D+M e S+T (1996). Les Nouvelles Directives de la Détermination Photogrammétrique des Points Fixes (Aerotriangulation) In: Directives de Points Fixes. Version Juillet 1996.

DRUMMOND, J.(1995). Posicional Accuracy. (Cap. 3). In: Elements of Spatial Data Quality. GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. Comissão on Spatial Data Quality. ICA/ACI. p. 31-58.

DUPÉRET, A. (1999). DTM Edition in IGN France an Operational Process to Generate Contour Lines. In : Proceedings of OEEPE. – Workshop on Digital Photogrammetric Workstations. Official Publication n° 33 – European Organization for Experimental Photogrammetric Research. p.193-222.

DURET, D. e PILLET, M. (1998). Qualité en Production de l'ISO 9000 aux Outils de la Qualité. Éditions d'Organisation. Paris. 318p.

DVP GEOMATICS SYSTEMS INC. (1993). Manuais Técnicos. Université Laval. Quebec, Canadá.

ECKARDT, A; BRAUNECKER, B; SANDAU, R. (2000). Performance of the Imaging System in the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. Working Group I/3. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam. 104-109p.

EIDENBENZ, C. (1994). Conditions Técnicas pour l'Utilization du GPS Cinématique dans le Nouvel Avion de l'Oficce Fédéral de Topographie. In papers: Cours Postgrade EPFL, Photogrammétrie. EPFL, Lausanne – Suíça.

ESLAMI RAD, A. (1995). Development of a Quality Control Procedure for Photogrammetric Digital Mapping. Thesis of Master of Science in Integrated Map and Geo-Information Production (IGP). International Institute for Aerospace and Earth Sciences (ITC). Enschede. Holanda.

ESTADO MAIOR DO EXÉRCITO (1983). Restituição Fotogramétrica. Manual Técnico. T 34-303. EGGCF. Brasília.

FDGC (1999). Federal geographic Data Committee. Geospatial Posiotioning Accuracy Standards. Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Disponível em: <<http://fdgc.cr.usgs.gov/fdgc.htm>>. Acessado em: 16 jul 1999.

FLOOD, M. (2002). Product Definitions and Guidelines for use in Specifying Lidar Deliverables. Photogrammetric Enginnering & Remote Sensing. Vol. 68, N° 12. Disponível em: <<http://www.asprs.org/asprs/publications/pe&rs/2002/journal/-december/highlight.html>>. Acessado em: 10 dez 2002.

FOOTE, K. e HUEBNER, D. J. (1995). Error, Accuracy and Precision. Department of Geography. University of Texas at Austin. Disponível em: <<http://www.colorado.-edu/geography/gcraft/notes/error/error.html>>. Acessado em 27 jun 1999.

FORLANI, G.; PINTO, L; SCAIONI, M. (2000). Concept and Testing of na automatic System for Aerial Triangulation. In: International archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2. CD-ROM. Amsterdam – Holanda.

FRICKER, F. e ZUBERBÜHLER, F (2000). Introducción al Sensor Digital ADS40. Brochures. Disponível em: <<http://www.lh-systems.com/products/brochures/>> Acessado em 21 set 2001.

- FRICKER, F. ZUBERBÜHLER, F e PACEY, R. (2002). Principles and design of the ADS40 Airborne Digital Sensor. Multimedia CD Leica ALS40 & ADS40 ed. Abril de 2002. Leica Geosystems.
- FRITSCH, D. (1995). Introduction into Digital Aerotriangulation. Photogrammetric Week 1995. Fritsch/Hobbie (Eds.). Institut für Photogrammetrie. Universität Stuttgart. p.165-171.
- FRITSH, D. (1989). From Analytical to Digital Photogrammetry. Notas de Curso. Technical University of Munich. Alemanha. 29p.
- GALLO, G. (1999). Sistemas de Fotografia Aérea – Sistemas de Câmara Aérea Lh Systems de Última Génération. Disponível em: <<http://lh-systems.com/downloads>>. Acessado em: 03 mar 2001.
- GALO, M. (1993). Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais. Dissertação (metrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba – Paraná. 1993.
- GOODCHILD, M. F. (1985). Geographical Information Systems in Undergraduate Geography: a Contemporary Dilemma. The Operarational Geographer. N°8. 34-38p.
- GOODCHILD, M. F. (1991). Issues of Quality and Uncertainty.. in: Advances in Cartography edited by MULLER, J.C. ICA – International Cartographic Association. Elsevier Applied Science. London – England. p.113-139.
- GOODCHILD, M. F. (1995). Attribute Accuracy. In: Elements of Spatial Data Quality. GUPTILL, S. C. e MORRISON, J. L. Comission on Spatial Data Quality. ICA/ACI. p. 59-79.
- GRAHAM, L., ELLISON K.; RIDDELL, S. (1997). The architecture of a softcopy Photogrammetry System. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63 (8), 1013-1020p.
- GROUPE DE TRAVAIL SUR L'ASSURANCE DE LA QUALITE (2000). Guide d'Assurance de la Qualité – Photogrammétrie et Génération de MNT. Version Définitive. Lausanne – Suíça.
- GÜLCH, E. (1995), Automatic Control Point Measurement. Photogrammetric Week 1995. Fritsch/Hobbie (Eds.). Publications of the ifp. Universität Stuttgart. 185-196p.
- GWASPARI, J. (1996). The Problems of specifications. Photogrammetric Record. V. 87. n.15, p.365-369

HANSEN, J. & JONAS, D. (2002). Airborne Laser Scanning or Aerial Photogrammetry for the Mine Surveyor. Disponível em: <<http://www.aamsurveys.com.au/papers/>>. Acessado em: 29 abr 2002.

HARDY, P. G. (2000). Integrating Active Objects with Stereo Images for Map Production. Kartdagar, Gothenburg. Disponível em: <<http://www.Laser-Scan.com>>. Acessado em: 23 mai 2001.

HEIER e HINZ (2000). RESULTS FROM THE DIGITAL MODULAR CAMERA DMC. Disponível em: <http://www.ziimaging.com/library.htm>. Acessado em: 20 mai 2002.

HEIPKE, C. (1995). State-of-the-Art Digital Photogrammetric Workstations for Topographic Applications. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 61, nº 1, p. 49-56.

HELAVA, U. V. (1992). Prospects in Digital Photogrammetry. In: Annual Convention: ACSM-ASPRS. Vol. 2, Washington, USA, p. 19-24.

HELAVA, U. V. (1992). State of the Art in Digital Photogrammetry Workstation. In Annual Convention: ACSMS-ASPRS. Vol. 2. Washington, USA. p.10-18.

HÉNO, R.; LOODTS, J; COLOMER, J. L.. (1996). Logistics and Integration of the System: State-of-the-Art of System Components. In: Workshop on "Application of Digital Photogrammetric Workstations. OEEPE, Lausanne, Suíça.

HOHL, P. (1998). In: Gis Data Conversion – Strategies, Techniques, Management. Pat Hohl Ed. Disponível em: <<http://www.asprs.org/asprs/resources/standards/-photography.htm>>. Acessado em: 14 jun 2001.

IBGE (2002). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapoteca Topográfica Digital. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 11 abr 2002.

INPE (2002). Processamento Digital de Imagens. Apresentação de: Arnaldo J. Abrantes. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/c_contra.htm#contra_lin>. Acessado em: 11 abr 2002.

ISO/TC 211 (2000). ISO 15046: Geographic Information/Geomatics. Parte 14. documento 920. Draft Standards. Disponível em: <<http://www.statkart.no/isotc211/>>. Acessado em: 14 de mai de 2000.

JACOBSEN K. e WEGMANN H., (2001). Dependencies and problems of direct sensor orientations. OEEPE Workshop "Integrated Sensor Orientation", Hannover. Disponível em: <<http://www.ipi.uni-hannover.de/Publications>>. Acessado em: 28 nov 2002.

JACOBSEN, K. (1999). Combined bundle block adjustment with attitude data. ASPRS Annual Convention 1999, Portland. Disponível em: <<http://www.ipi.uni-hannover.de/-Publications>>. Acessado em: 28 nov 2002.

JACOBSEN, K. (2000). Block Adjustment. Special Papers. Institute for Photogrammetry and Surveying Engineering. University of Hannover. Disponível em: <<http://www.ipi.uni-hannover.de/-Publications>>. Acessado em: 28 nov 2002.

JACOT, J. (1998). Cours Assemblage II: Management de la Qualité. Notes de Cours, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse. p.18.

JAHN, H. & REULKE, R. (2000). Staggered Line Arrays in Pushbroom Cameras: Theory and Application. Working Group I/3. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. CD-ROM. Amsterdam. p.164-172.

JAKKOLA M. et al., 1985. Optimal Emulsions for Large-Scale Mapping (Test of Steinwedel). OEEPE, Official Publication Ndeg, p.102.

JOLY (1996).R. C. (1996). Règles de l'Art et Normalisation où du Savoir-concevoir au Savoir-réaliser". In: *La Géomètre*, n. 2.

KAINZ, W. (1995). Logical Consistency. (6) In: Elements of Spatial Data Quality. GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. Comission on Spatial Data Quality. ICA/ACI. p. 109-135.

KACZYNSKI, R. e ZIOBRO, J. (1999). Digital and analytical aerial triangulation - A comparison test . In: Proceedings of OEEPE – Workshop on Application in Photogrammetric Workstation. Official Publication n° 37. Marne la Vallée.p.301-304.

KERSTEN, T. (1999). Results of digital aerial triangulation using different software packages. Proceedings of the OEEPE Workshop on Application in Digital Photogrammetric Production. Marne la Vallée, 22-24 de Junho. Official Publication n°37. 241-258p.

KNAPP, E. (1978). Landsat and Ancillary Data Inputs to an Automated Geographic Information Systems. Ed.Silver Springs.

KODAK (1993). KODAK Q-60 Color Input Targets. Technical Information. TI2045 XX Tlnet XX, revisado 04-97.

KÖLBL O. & HAWAWINI J. (1986). Determination of the Modulation Transfer Function for Aerial Cameras under Flight Conditions. Proceedings Int. Symposium ISPRS Commission I. Progress in Imaging Sensors, Stuttgart – Alemanha. p.565-572.

KÖLBL O. (2000a). Automation in Digital Photogrammetric Production - Summary Report of an OEEPE Workshop Held in Paris in June 1999. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B6. CD-ROM. Amsterdam. p.424-428.

KÖLBL, O. e BACH, U. (1996). Tone Reproduction of Photographic Scanner. OEEPE Workshop on the application of Digital Photogrammetric Workstations. Disponível em: <http://dgrwww.epfl.ch/PHOT/workshop/wks96/art_1_2.html>. Acessado em: 21 jun de 1999.

KÖLBL, O. (1985). Cours de Photogrammetrie I et II. Ecole Polytechnique Federal de Lausanne. Institut de Photogrammetrie. Lausanne, Suíça.

KÖLBL, O. (1992). Panorama de la Photogrammetrie Moderne. Article de l'Ecole Polytechnique Fédéral de Lausanne. Institut de Photogrammetrie. Lausanne, Switzerland.

KÖLBL, O. (1994). Survey of High-Quality Photographic Scanners. In Mapping and Remote Sensing Tools for the 21st Century. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. p. 7-14.

KÖLBL, O. (1996). An Overview on Commercial Software Products for Digital Aerial Triangulation. In Proceedings of the OEEPE Workshop on Application of Digital Photogrammetry Workstations. Official Publication n° 33. Lausanne, Suíça.

KÖLBL, O. (1996a). Preliminary Result of the OEEPE Scanner Test. In Proceedings of the OEEPE Workshop on Application of Digital Photogrammetry Workstations. Official Publication n° 33. Part 1 Scanning, Lausanne, Suíça. p. 43-48.

KÖLBL, O. (1997). Détermination Automatique d'un MNT. In Note de Cours. École Polytechnique Fédérale de Lausanne - EPFL, Suíça.

KÖLBL, O. (1999). Automatic Determination of a DTM. Notes de Cours. IPHOT, Département de Génie Rural. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Suíça.

KÖLBL, O. (2000). DTM Specification. Rapport Technique. IPHOT, Département de Génie Rural. École Polytechnique Fédérale de Lausanne – EPFL.

KONECNY, G. (2000). Geodata and Information Systems – a Vision for the Next Century. Paper by Ljubljana. Hannover. Disponível em: <<http://www.ipi.uni-hannover.de/Publications>>. Acessado em: 28 nov 2002..

KRAUS, K. (1993). Photogrammetry, Fundamentals and Standard Processes. Ferd. Dümmler Verlag Bonn. Volume I.

KRAUS, K. (1997). Photogrammetry, Advanced Methods and Applications. Vol. 2. Ferd. Dümmler Verlag Bonn.

KUBRUSKY, V. S.; MACHADO, R. P. A; SILVA, M. (1991). Um Exemplo de Sistema Automatizado de Cartografia Temática como Caso Particular de um SIG. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Cartografia, Coletânea de Trabalhos Técnicos. Vol. 3. São Paulo.

LEHMANN, F. (2001). The HRSC Digital Airborne. A review of two years of operational Production. DLR German Aerospace Center, Institute for Space Sensor Technology and Planetary Exploration. Berlin-Adlershof, Alemanha. Disponível em: <<http://www.dlr.de/HRSC-A>>. Acessado em: 19 dez 2002.

LEPSCH, I.F. et al. (1983). Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. Campinas. p.175.

LIMA SILVA, S. M. (1991). Procedimento Fotogramétrico para Construção de uma Base de Dados em Sistemas de Informações. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia – IME. Rio de Janeiro - RJ.

LUMMAUX, J-C. (1996). La Normalisation en Information Géographique: Pourquoi?. *La Géomètre*, n. 2.

LUNARDI et al (2002). Banco de Dados Orientado a Objetos do Espaço Geográfico Brasileiro, da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército. 1ª DL. Disponível em: <<http://www.1dl.com.br>>. Acessado em: 16 dez 2002.

MAKAROVIC, B. (1996). Detailed Photogrammetric Digital Mapping in the Context of GIS.. ITC Journal. 3/4. Netherlands. p.284-299.

MANDANI, M. (2001). Importance of Digital Photogrammetry for a Complete GIS. 5th Global Data Infrastructure Conference. Disponível em: <<http://codazzi4.igac.gov.-co/gsdi5>>. Acessado em: 13 abr 2002.

MARANHÃO, M. ISO série 9000: manual de implementação. Editora Qualitymark. Rio de Janeiro, 1996.

MAYFIELD, B. (2002). Demystifying Advancements in Digital Orthophotography, Disponível em:<<http://www.giscale.com/TECHNICAL/Papers/Demystifying.htm>>. Acessado em 20 jan 2003.

MILLER, S. B. & SEYMOUR, R. H. (1995). Uuno Vilho Helava Contributes to Photogrammetry in the United States. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 50. Nº 6. p.19-24.

MILLER, S. B.; HELAVA, U. V; DEVENECIA, K. J. (1992). Softcopy Photogrammetric Workstations. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58. Nº 1. p.77-83.

MORRISON, J. L. (1995). Spatial Data Quality. In: (1) Elements of Spatial Data Quality. GUPTILL, S. C. & MORRISON, J. L. Commission on Spatial Data Quality. ICA/ACI. p. 1-12.

MURTHY, CD. (2000). Digital Photogrammetry – Technology Challenges and Benefits. GIS India, Vol. 9. Nº 4. p.14-19.

NEUKUM & LEHMANN (2000), G. High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A, -AX, -AXW). DLR German Aerospace Center, Institute for Space Sensor Technology and Planetary Exploration. Berlin-Adlershof, Alemanha. Disponível em:<<http://www.dlr.de/HRSC-A>>. Acessado em: 14 dez 2002.

NÓBREGA, R. A. A. (2002). Análise do Balanceamento de Imagens Aplicado a Fotogrametria. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2002.

NUGENT, Jeffrey. (1995). Quality Control Techniques for a GIS Database Development Project. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61. Nº 5. p.523-527.

OEEPE (1999). Revision Measurement of Large Scale Topographic Data. Report by KIRBY, R. P. European Organization for Experimental Photogrammetric Research. Official Publication nº 36. p.13-47.

OLIVEIRA, F. H. (1996). Qualidade da Base Cartográfica para o Cadastro Técnico Multifinalitário. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1996.

PARANÁ CIDADE (1998). Contratação de Serviços Técnicos de Engenharia para a Execução de Cobertura Aerofotogramétrica na Escala 1:8.000 e Restituição Aerofotogramétrica Numérica na Escala 1:2.000. *Termo de Referência. Empréstimo 917/OC-BR.1998.*

PHUYAL, Bishnu P.; SHMIDLEY, Robert W; RAMIREZ, J. (1997). Raul. Automated Quality Control for GIS Data Conversion. In: Surveying and Land Information Systems, Vol. 57. Nº 1. p.37-41.

PILOUK, M. (1996). Systems for Integrated Geoinformation: stages of evolution. Operational Geographer. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna – Austria. Proceedings. Commission IV. Part B4. Vol. XXXI. p.294-99.

POULIOT, J. (1999). Définition d'un cadre géosémantique pour le couplage des modèles prévisionnels de comportement et des SIG - Application pour les écosystèmes forestiers. Thèse de Doutorat nº 2087. Département de Génie Rural. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

QUINTANILHA, J. A. (1996). Erros em Bases de Dados Digitais de Dados Espaciais para Uso em Sistemas de Informação Geográfica. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Universidade de São Paulo. São Paulo. 1996.

RANKY, P. G. (1990). Total Quality Control and JIT Management in CIM. British Library Cataloguing in Publication Data.

RESS, E. & LANGFELD, M. (2002). Signal Processor of a High-Resolution Stereo Camera (HRSC). In: Intenacional Conference of Signal Processing Applications and Technology. ICSPAT. Disponível em: <<http://www.icspat.com/papers/575mfi.pdf>>. Acessado em: 10 ago 2002.

ROBINSON, A R & SALE, J. M. (1978). Elements of Cartographic. 4ª edição. New York.

RODRIGUES, Marco A. (1991). Conceitos Básicos de Sistemas de Informações Geoambientais e Áreas de Aplicação em Cadastro Técnico municipal. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Cartografia, vol. 3, 23 de julho a 02 de agosto, USP - São Paulo – SP.

ROSALEN, D. L. (1997). Estudo do Processo de Captação de Imagens Aplicado à Fotogrametria Digital. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1997.

SÁ, L. A. M. de, (2001), Modelagem de Dados para Sistemas de Informações Geográficas - Pesquisa na Emergência Médica. 89p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2001.

SALEH, R. A. (1996). Photogrammetry and Quest for Digitalization. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 6, nº 6. p.675-678.

SANDAU, R. et al. Design Principles of the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000. p 258-266.

SCARIN, J. L. & Brennsen, M. A. (1991). O Uso do Conceito SIG para Aplicações na Cartografia Urbana. Coletânea de Trabalhos Técnicos. Vol. 3. USP - São Paulo – SP.

SCHMIDLEY, R. W. (1997). Quality Control in Mapping: Some Fundamental Concepts. Survey and Land Information Systems. Vol. 57, Nº 1, p.31-36.

SDTS (1997) - Spatial Data Transfer Standard. American National Standard for Information Systems -Part 1, Logical Specifications. DRAFT for Review, November 20, 1997. American National Standards Institute, Inc.

SHENK, T. (1999). Digital Photogrammetry. Vol. 1. Terra Science.

SILVA, D. C & DALMOLIN, Q. (1998). Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro. In: Anais do 3º COBRAC, publicado em CD-ROM. Florianópolis – SC.

SILVA, D. C & DALMOLIN, Q. (2000). O Problema das Especificações em Serviços Aerofotogramétricos e Derivados.. Geodésia online 1/2000. Disponível em:

<<http://www.geodesia.ufsc.br/geodesia-online/arquivo/2000/01/DD.htm>>. Acessado em: 14 de abr 2001.

SILVA, I. (1994). Perspectivas da Fotogrametria Digital. In: Anais do GISBRASIL 94 – Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento. Editora Sagres. Curitiba - PR. p.5-16.

SILVA, I. (1999). A Fotogrametria é Definitivamente Digital. Revista InfoGeo. Editora Espaço Geo. n° 4. ano 1. Curitiba – PR. p.48-51.

SILVA, I. (1999). Curso Básico de Fotogrametria Digital. InfoGEO 1999. Curitiba – PR.

SIT (Service de l'information sur le territoire). (2002). Détermination des points fixes (PFP2 et 3, PFA2 et 3). Normes: Détermination des Point Fixes – Mensuration Officielle. État de Vaud. Département des Infrastructures. Versão de 30.05.2002. Disponível em: <<http://www.dinf.vd.ch/target/body/services/sit/3231.pdf>>. Acessado em: 20 jun 2002.

SPACCAPIETRA, S. (1999). Bases de Données Relationnelles. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Laboratoire de Bases de Données. Département d'Informatique.

STAR, J. ESTES, J. (1990). Geographic Information Systems - An Introduction. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.

STEFANICKIS, E. VAZIRGIANNIS, M & SELLIS, T. (1996). Spatial Decision Making Base on Fuzzy Set Methodologies. Internacional Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B4, Vienna. p.829-834.

STRAUCH, J. C & SOUZA, J. M. (1995). Objetos Geográficos e Linguagens de Consultas Espaciais. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Vol. 3. Salvador – BA. p.1022-1031.

STRAUCH, J. C.M. & PEREIRA, L. C. (1995). Abordagem sobre o uso de Sistemas de Informações Geográficas e Fatores Intervenientes na Qualidade da Base de Dados. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Vol. 3. Salvador – BA.

STRUNK, S at all. (1992). The Development of a Four Milion Pixel CCD Imager for Aerial Reconnaissance. Proceedings of International Society for Optical Enginnering, Airborne Reconnaissance. XVI. p. 1763:25-36.

SURVEY SERVICES UNIT. (1998). BDC98PR-009: Quality Management Services Configuration Management - Minimum Guidelines for Aerial Photogrammetric Mapping. Departament of Transportation. The State of New Jersey.

SUSSLAND, W. A. (1996). Le manager, La Qualité et les Normes ISO. De l'ISO 9000 vers la Qualité Totale. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.

TAO, V. T. (2002).The Future of Spatial Data Collection. York University, Toronto; Disponível em: <<http://www.geoplace.com/gw/2002/0205/0205dp.asp>>. Acessado em: 20 set 2002.

TASTAN, H e ALTAN, M.O. (1999). Spatial Data Quality. Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days. Istanbul, p.15-30.

TASTAN, H.; ALTAN, M. O. (2000). Automatic Checking and Attribute Consistency of a Spatial Database. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). Vol. XXXIII, Part B4. Amsterdam. Netherlands.

TASTAN, H. (1997). An Automatic Quality Control System for Digital Elevation Models. In: Second Turkish-German Joint Geodetic Days, May 27-29, Berlin, p.677-686.

THÉRIAULT, M. (1996). Systhèmes d'Information Géographique – Concepts Fondamentaux. Note de Cours. Département de Géographique. Université Laval. N. 12, 2^a ed. Quebec. Canadá.

THOMÉ, R. Interoperabilidade em Geoprocessamento: Conversão entre Modelos Conceituais de Sistemas de Informação Geográfica e Comparação com o Padrão OPEN GIS. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 1998.

TOMASELLI, A. M. G. &. (1987). Construção Analítica de Modelos e suas Aplicações: uma Abordagem Utilizando Injunções Relativas. Revista Brasileira de Cartografia, Nº 6. Rio de Janeiro – RJ. p.43-58.

TOMPSON, M. e GRUNER, H (1980). Foundations of Photogrammetry. Manual of Photogrammetry. (C. C. Slama, editor), American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia, p.1-36.

TOTH, C. K.; KRUPNIK, A. (1996) Concept, Implementation, and Results of an Automatic Aerotriangulation System. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 62. n° 6. p.711-717.

TSINGAS, V. (1991). Automatische Aerotriangulation. In: Schriftenreihe Institute for Photogrammetry, Uni Stuttgart, Heft 15, Seite 253-268.

USGS (1997). Standards for Digital Orthophotos: Part 1 General. National Mapping Division. Disponível em: <<http://mapping.usgs.gov/standards/index.html>>. Acessado em: 07 mai 1999.

USGS (2000) – U.S. Geological Survey. USGS National Mapping Division Standards. National Mapping Program (NMP). Disponível em: <<http://mapping.usgs.gov/standards/index.html>> Acessado em: 16 ago 2000.

USGS (2002) – U.S. Geological Survey. Table of USGS Optical Requirements. Disponível em: <<http://mac.usgs.gov/mac/tsb/osl/reqtable.html>> Acessado em: 29 fev 2002.

USGS (2003) – U.S. Geological Survey. USGS Aerial Camera Specifications. Disponível em: <<http://mac.usgs.gov/mac/tsb/osl/acspeccs.htm>> Acessado em: 11 jan 2003.

VAN ECK, J. W. e UFFER, M. (1985). A Presentation of SYSTEM 9. In: Otto Kölbl, Photogrammétrie et Systèmes d'Information du Territoire. Photogrammetry and Land Information Systems. Presses Polytechniques Romandes. p.139-179.

VASCONCELOS, C. M. (2001). Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. CAT- Out. 2001. Disponível em: <<http://www.inpe.com.br>>. Acessado em: 18 nov 2001.

VCKOVSKI, A. (1997). Interoperability and Spatial Information Theory. Spatial Data Handling Division. Department of Geography. University of Zurich. Disponível em: <<http://www.bbq.ncgia.ucsb.edu/conf/interop97/papres/vckovski/html>>. Acessado em 08 de jul 1997.

VEILLET, I & LECONTE, G. (1995). Évaluer la Qualité de la BD Topo: l'Approche de l'IGN. Bulletin S. F.P.T, n° 137. p.119-123.

WEVER, J. & LINDENBERGER, J. S. (1999). Experiences of 10 years laser scanning. 125-132p. Disponível em: <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/1999>> Acessado em 16 de fev 1999.

WIGGENHAGEN, M. Remarks on the Quality Control of Digital Orthophotos. European Organization for Experimental Photogrammetric Research. Proceeding of the OEEPE – Workshop on Application in Digital Photogrammetric Production. Official Publication n° 37. p.325-329.

WILLIAMS, D. (1998). What is an MTF ... and Why Should You Care? Image Scientist. Eastman Kodak Company. RLG DigiNews. Disponível em: <<http://www.rlg.org/preserv/diginews/diginews21.html#technical>>. Acessado em 11 out de 2002.

WOLF, Paul R. & DEWITT, Bon A. (2000). Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. 3rd Edição. McGraw-Hill Companies, Inc. United States.

ANEXO 1

ANEXO 1 - ROTEIRO DA AEROTRIANGULAÇÃO DIGITAL NO MST

PROJETO EXPERIMENTAL REALIZADO NO MULTI SENSOR TRIANGULATION – SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO SOCET SET DA LH SYSTEMS

2.1. Entrada de Dados

a) Configuração das imagens

- Entrada de dados de superposição lateral das imagens (em geral 60%)
- Entrada da altura de voo nominal: 3800 metros
- Entrada da direção do voo: E-W

b) Pontos de Controle: Arquivo ASCII – levantados com GPS – precisão de 5cm.

2.2. Orientação Relativa – medição dos pontos fotogramétricos

No método tradicional estes pontos são medidos manualmente. Neste trabalho o sistema fotogramétrico SOCET SET mede automaticamente os pontos utilizando algoritmos de correlação e interpolação. Observe na Figura 2.2 os pontos na cor amarela (quadrados) medidos automaticamente pelo sistema no par de imagens.

Figura 2.2

2.3. Orientação Absoluta – medição dos pontos de Controle

A medição dos pontos de controle é feita interativamente. O sistema busca o arquivo de pontos de controle, anteriormente informado e lista-os através de uma caixa operacional, como mostra a Figura 2.3. Para iniciar as medições: o operador posiciona a marca flutuante no local onde deve ser medido o ponto de controle, utiliza como base a imagem da esquerda, prende a marca flutuante (cursor) nesta posição. A imagem da direita fica livre para o

ajuste de posicionamento, o operador deve coincidir a marca da esquerda com a marca da direita. Uma vez as posições coincidadas, é possível ver nitidamente a imagem em modo estéreo (três dimensões). Isto significa que as marcas estão fundidas numa só e, portanto, livre de paralaxes.

Figura 2.3: Caixa Funcional IPM para a medição interativa dos pontos de controle

Após a medição de três pontos de controle pode-se processar e retornar novamente as medições dos pontos de controle. O sistema permitirá a busca aproximada dos pontos de controle quando clicados sobre o identificador do ponto, Figura 2.3

2.4. Ajustamento

Finalizada a medição dos pontos de controle, o próximo passo é a transformação de coordenadas do sistema fotogramétrico para o terrestre (translação, rotação e fator de escala). Por meio de modelos matemáticos rigorosos e ajustamento de feixes. Nesta fase, os pontos são estatisticamente testados apontando os pontos com coordenadas calculadas fora do erro admissível. O resultado é analisado e pode ser melhorado a partir de re-medições de pontos com resíduos maiores do que 1 pixel.

O resultado geral do ajustamento das coordenadas é mostrado após o término no processamento "Inicialize/Solve. Observe a 2.4 o resultado do primeiro ajuste, o erro médio quadrático (RMS) é de 0,663 (unidade pixel) – ou seja, para a resolução de 28 μ m a precisão do é de 18,6 μ m.

Figura 2.4 – Janelas de comandos do SOCET SET, módulo MST, função de ajustamento.

ANEXO 2

1ª Divisão de Levantamento - DSG

ANEXO 3

Evolução das Câmeras da Wild/Leica

Gráfico I: Evolução da resolução das lentes das câmeras aéreas da Wild/Leica.

Fonte: adaptada de Gallo (1999).

Gráfico II: Distorção máxima das lentes – Câmeras Wild/Leica.

Fonte: adaptada de Gallo (1999).

ANEXO 4

ANEXO 4 - EXEMPLO DO MODELO DO ARQUIVO ANEXADO A ORTOFOTO DA SDTS

```

BEGIN USGS DOQ HEADER *
QUADRANGLE NAME "QUINCY WEST" 3.75 or 7.5-min.name *
QUADRANT NE quadrant indicator if cell size = 3.75minutes *
WEST_LONGITUDE -91 26 15.000 signed deg., min. & sec. *
EAST_LONGITUDE -91 22 30.000 signed deg., min. & sec. *
NORTH_LATITUDE 40 0 0.000 signed deg., min. & sec. *
SOUTH_LATITUDE 39 56 15.000 signed deg., min. & sec. *
PRODUCTION DATE 1995 07 13 yyyy mm dd *
RASTER ORDER LEFT RIGHT/TOP BOTTOM video display order *
BAND_ORGANIZATION "SINGLE FILE" single file or BSQ, or BIL or BIP *
BAND_CONTENT BLACK&WHITE black&white or red green blue *
BITS_PER_PIXEL 8 *
SAMPLES AND LINES 6076 7641 number of columns and rows *
HORIZONTAL_DATUM NAD83 primary horizontal datum *
HORIZONTAL_COORDINATE_SYSTEM UTM *
COORDINATE_ZONE 15 coordinate system zone number *
HORIZONTAL_UNITS METERS coordinate system units *
HORIZONTAL_RESOLUTION 1.0 coordinate system geometric resolu. in horiz. *
Units *
SECONDARY_HORIZONTAL_DATUM NAD27 secondary horizontal datum *
XY_ORIGIN 633063.000 4429328.000 coord. of upper left pixel-pri. Datum *
SECONDARY_XY_ORIGIN 633079.000 4429113.000 coord.-upper left pixel-sec *
datum *
NATION US nation code *
STATE IL state fips codes *
STATE MO state fips codes *
NW_QUAD_CORNER_XY 633377.438 4428926.385 X-Y coords. of pri. NW quad *
corner *
NE_QUAD_CORNER_XY 638712.782 4429021.805 X-Y coords. of pri. NE quad *
corner *
SE_QUAD_CORNER_XY 638839.205 4422084.460 X-Y coords. of pri. SE quad *
corner *
SW_QUAD_CORNER_XY 633498.995 4421989.077 X-Y coords. of pri. SW quad *
corner *
SECONDARY_NW_QUAD_XY 633380.942 4428716.377 X-Y coords. - sec. NW quad *
cor. *
SECONDARY_NE_QUAD_XY 638716.426 4428811.800 X-Y coords. - sec. NE quad *
cor. *
SECONDARY_SE_QUAD_XY 638842.847 4421874.579 X-Y coords. - sec. SE quad *
cor. *
SECONDARY_SW_QUAD_XY 633502.497 4421779.193 X-Y coords. - sec. SW quad *
cor. *
RMSE XY 0.82 doq horiz. Accuracy *
IMAGE_SOURCE "black & white film" b&w, color, infra-red or other *
SOURCE_IMAGE_ID "NAPP 2231- 2" source image identification *
SOURCE_IMAGE_DATE 1991 03 24 source image date as yyyy mm dd *
SOURCE_DEM_DATE 1995 07 00 source DEM date *
AGENCY "Western Mapping Center (WMC)" name of oversight agency *
PRODUCER "Western Mapping Center (WMC)" name of DOQ producer *
PRODUCTION_SYSTEM "DV1.2 03/93 OV1.1 04/93" name of the production HW & *
SW *
STANDARD_VERSION 1996 12 version of DOQ standard *
METADATA_DATE 1996 7 13 date created or changed, yyyy mm dd *
DATA_FILE_SIZE 46432792 data set size in bytes *
BYTE_COUNT 6076 header byte count *

```


ANEXO 5

ANEXO 5 - INSTRUÇÕES PADRONIZADAS PARA AS ATIVIDADES DO LABORATÓRIO FOTOGRÁFICO

CRITÉRIO DE PROCESSAMENTO DE FILMES							
ID	INSTRUÇÕES	CARACTERÍSTICA DO FILME	COR			OBSERVAÇÃO	OCORRÊNCIAS
			P/B	C	IR		
1							
1.1							
1.2							
1.3							
2							
2.1							
2.2							
3							
3.1							
3.2							
3.3							
3.4							
.							
.							

MANUTENÇÃO					
Materiais e Equipamento	Data			Responsável Técnico	Ocorrências
	Fabricação	Validade	Reposição		

CONTROLE DE AMBIENTE		
OCORRÊNCIAS	HUMIDADE RELATIVA DO AR	TEMPERATURA

REPONSABILIDADE	
Técnico Responsável:	
Operador Responsável:	
Reponsável pelo CQ:	
Aprovação do Fabricante:	

ANEXO 6

ANEXO 6 - PROCEDIMENTOS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE REPRODUÇÃO DE FILMES

PROJETO:		Localização:		Cobertura de voo: (%)		Filtros?					
Data do voo:		Condições:		Lateral:		longitudinal:		sim	não		
PROCEDIMENTOS ADOTADOS				Em todas as Imagens?		Nº do Filme		Descrição			
Artício de tratamento utilizado nos Filmes		sim	não	sim	não						
Artício de tratamento utilizado da cópiagem dos diapositivos		sim	não	sim	não						
Artício de tratamento utilizado a cópiagem das fotos		sim	não	sim	não						
		sim	não	sim	não						
		sim	não	sim	não						
Ocorrências:											
EQUIPAMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS											
Tipo e Modelo da Câmera		FMC?		Resolução		Velocidade 1:1000 s		Uso de GPS?		Uso de IMU?	Data da Última Calibração
		sim	não	sim	não	sim	não	sim	não	sim	não
Anexar o Relatório de Calibração da Câmera		Obs:									
Tipo e Modelo do Processador											
Ocorrências:											
CONFERÊNCIA DA QUALIDADE DAS IMAGENS REPRODUZIDAS											
Elementos Básicos de Análise/Comentários						Nº do Filme		Nº das Imagens com problemas			
Condições das Folhagens:											
Umidade:											
Sombras:											
Fiduciais:											
Brilho:											
Nitidez:											
Contraste											
Tonalidade											
Brilho:											
Manchas:											
Nuvens:											
Outros:											
Ocorrências:								% Total:			

ANEXO 7

ANEXO 7 - PROCEDIMENTOS E CONTROLE DE QUALIDADE DA NUMERIZAÇÃO DE IMAGENS

PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO DE NUMERIZAÇÃO						
Operação de Numerização N°:				Data:		
Revisão:				Data:		
Nome do Contratante:						
Endereço:						
Preparado por:				Data:		
Aprovador por:				Data:		
Aprovação - Demandante						
Revisado por:				Data:		
Aprovador por:				Data:		
CONTROLE						
Item	Detalhes	Registro	Transmissão dos Procedimentos e Operações		Incluir nos Relatórios ?	
			sim	não	sim	não
Especificação do Scanner	Nome e Número de Referência		x			
	Cópia Disponível para o Operador		x			
	Cópia lida pelo Operador		x			
Calibração do Scanner	Conferência da calibração geométrica atual	Res. Máx: Média:	x		x	
	Conferência da calibração radiométrica atual		x		x	
	Parâmetros de Calibração Aceitáveis		x		x	
Ocorrências:						
Correções:						
Testes Gerais do Scanner	Conferência dos periféricos e softwares		x			x
Ocorrências:						
Correções:						
Modo de Numerização	Conferência da densidade		x		x	
	Resultado da análise		x		x	
	Testes para comprovação do tamanho do pixel		x			
Ocorrências:						
Correções:						
Resolução do Pixel	Conformidade com as especificações		x		x	
	Outros					
Ocorrências:						
Correções:						
Ambiente do Scanner	Conformidade com as recomendáveis pelo fabricante		x		x	
	Outras condições de operação (isolamento)			x		x
Ocorrências:						
Correções:						
Manutenção e Preparação do scanner	Conferência dos períodos de manutenção	Última data:	x			x
	Limpeza do suporte de colocação da Imagem	Última data:	x			x
	Verificação na plataforma da orientação interior	Última data:	x			x
	Verificação do período de calibração do scanner	Última data:	x			x
Ocorrências:						
Correções:						
Verificação dos Parâmetros de Numerização	Verificação de manchas nas imagens		x			x
	Conferência dos parâmetros da numerização		x		x	
	Inspeção e Aprovação dos Parâmetros		x		x	
Ocorrências:						
Correções:						
Seleção dos parâmetros aplicáveis na numerização	Iluminação			x		
	Velocidade			x		
	Apertura			x		
	Briho e Contraste			x		
	Balanco de Cores			x		
	Tonalidade, Saturação e Leveza			x		
Ocorrências:						
Correções:						
Inspeção Operacional	Verificação da mídia de registro das imagens		x			x
	Dicionário de dados		x			x
	Inspeção/aprovação dos parâmetros selecionados		x			x
	Método de inspeção utilizado		x			x
Ocorrências:						
Correções:						

ANEXO 8

ANEXO 8 – ARQUIVO DO DICIONÁRIO DE DADOS DAS IMAGENS NUMERIZADAS

SC04_53.txt

Dicionário de dados da imagem: SC04_53.tif

Código da Folha : 93E 088

Original : diapositivo

Número do rolo de filme : SC20-001

Número da foto : 085

Distância Focal : 152 mm

Data da foto : 20 03 2000

Nome do Contratante : IBGE

Tamanho do Pixel : 14 micra

Escala da foto : 30000

Modelo do Scanner e S/N : DSW500 S/N: 151234

Data da Numerização : 09 04 2000

Tamanho do arquivo (MBytes) : 601

Comentários : dados não tratados com histogramas, etc – isento de manchas

Ultima atualização: 03 2002

Contato:

Simone Sato

tel. (xxxx) 3371-2165

email: sssayru@sc.usp.br

ANEXO 9

ANEXO 9 - EXEMPLO DO ARQUIVO ASCII PARA ORTOFOTOS

IMAGE REPORT FOR FILE: 0507.92H

X Y

Based on Design File Centroid of: 2143483.648 7443483.648

ORIGIN (Upper Left corner of Pixel): 702528.625 5487566.375

ORIGIN (Centre of Pixel): 702529.000 5487565.000

NUMBER OF ROWS : 16095

NUMBER OF COLUMNS : 20427

NUMBER OF PIXELS : 328772565

PIXEL SIZE : 0.75000000

SCANLINE ORIENTATION: Row-Major Upper Left Origin

ROTATION (Degrees counter-clockwise positive X-axis): 0.000000000

IMAGE EXTENTS

UPPER LEFT (X Y) UPPER RIGHT (X Y)

702528.625 5487566.375 ----- Edge of Pixels ----- 717848.875 5487566.375

702529.000 5487566.000 ---- Centre of Pixels ---- 717848.500 5487566.000

LOWER LEFT (X Y) LOWER RIGHT (X Y)

702529.000 5475495.500 ----- Centre of Pixels ----- 717848.500 5475495.500

702528.625 5475495.125 ----- Edge of Pixels ----- 717848.875 5475495.125

TRANSFORMATION MATRIX

c1 c2 c3 c4

r1 7.500000000000e-01 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 -1.44095464800e+06

r2 0.000000000000e+00 7.500000000000e-01 0.000000000000e+00 -1.95591764800e+06

r3 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.000000000000e-03 0.000000000000e+00

r4 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 0.000000000000e+00 1.000000000000e-03

OBS: ESTE ARQUIVO É GERADO AUTOMATICAMENTE NA GERAÇÃO DE ORTOFOTOS NO SISTEMA FOTOGRAFAMÉTRICO
SOCET SET DA LEICA GEOSYSTEMS.

ANEXO 10

ANEXO 10- EXEMPLO RETIRADO DO TEXTO REFERENTE AOS PROCEDIMENTOS DE VALIDAÇÃO DA DSG, CEDIDOS PELA 1ª DL

1. Sequências Operacionais de Validação

4.1. Sequência Inicial

1. Criar o esquema ODBC

2. Criar o projeto no MGE

A criação do projeto no MGE engloba a ligação do Schema e a criação de uma estrutura particular de diretórios e subdiretórios, que irão conter os dados gráficos. Esses dados consistem de arquivos gráficos, arquivos de configuração, arquivos de sistema, entre outros.

3. Importar o projeto BÁSICO

Logo após criar o Projeto deveremos importar, do diretório "e:\UtilProjeto_Modelo\Basico3.mdb", o PROJETO MODELO, que é um projeto anteriormente criado no qual já irá conter as tabelas e feições previstas na TBCD. Este passo é feito apenas uma vez para cada projeto criado.

4. Criar o arquivo DGN (observando o Meridiano Central do Fuso)

Deve-se verificar qual o meridiano central do fuso que a folha se enquadra, qual o datum utilizado pela aquisição e copiar do diretório "e:\semente" para o diretório "seed" do projeto criado o arquivo semente referentes a estes dados;

Atentar para a escolha do *seed* no datum correto:

- Astro Chuá.....ACH_33, ACH_39, ACH_45, ACH_51, ACH_57, ACH_63, ACH_69, ACH_75
- Córrego Alegre.....CAL_33, CAL_39, CAL_45, CAL_51, CAL_57, CAL_63, CAL_69, CAL_75
- SAD-69S69_33, S69_39, S69_45, S69_51, S69_57, S69_63, S69_69, S69_75

5. Copiar o original de restituição através da função "attach" utilizando a função "fence clip" no limite da folha
6. Quebrar todos os elementos do arquivo(exceto células e dimension) deixando marcada apenas a opção "complex" no comando "drop"
7. Suavizar as linhas do arquivo (VALSX)
8. Unir os segmentos de linha (JOINSEG)
9. Eliminar células duplicadas e marcar células próximas (delete duplicates | flag similar | 15/30 m)(DDUPCELL)
10. Separar os elementos do arquivo em níveis de acordo com as categorias (SEPARAC)
11. Criar os arquivos de validação (CRIACAT)

1.2. Sequência Operacional nas Categorias em Geral

- 1) Quebrar todos os elementos lineares (DROPLS)

- 2) Eliminar linhas duplicadas (mesmas coordenadas) (DDUPLINE)

- 3) Gerar as interseções entre os elementos lineares (FIXIN)

ANEXO 11

Nome do Entrevistado:	Data / /
Organismo/Prefeitura:	Cargo:

1. O organismo é usuário de algum SIG? ☐ não ☐ sim, qual(is)?	4. Quais são os produtos cartográficos utilizados pelo organismo? <i>cartas/mapas (restituição fotogramétrica) nas escalas:</i> ☐ 1:1.000 - 1:10.000 ☐ 1:10.000 - 1:25.000 ☐ 1:50.000 <i>Ortofotos, nas escalas:</i> ☐ 1:1.000 - 1:10.000 ☐ 1:10.000 - 1:25.000 ☐ Imagens de Satélite ☐ Outros
2. Solicitou/adquiriu produtos cartográficos para uso no SIG: ☐ sim ☐ não	5. Nº de eng^{os} cartógrafos na empresa/prefeitura: ☐ um ou dois ☐ mais de dois ☐ não possui engenheiros cartógrafos
3. Os produtos cartográficos são adquiridos para finalidades de: ☐ planejamento urbano ☐ planejamento rural ☐ redes e infraestruturas ☐ outros	7. Após o recebimento do produto cartográfico, o organismo, verifica a qualidade dos dados antes de utilizá-los? ☐ sim ☐ não
6. As especificações técnicas para obter a conformidade dos produtos cartográficos desejados são fornecidas: ☐ pelo organismo ☐ pela empresa contratada ☐ por ambos, através de acordos	9. Quanto tempo é gasto na verificação de qualidade do produto cartográfico? ☐ + 6 meses ☐ 6-3 meses ☐ -3 meses ☐ nenhum ☐ não sabe
8. De acordo com as necessidades do organismo, o produto cartográfico fornecido pelas empresas é: ☐ excelente 5 ☐ satisfatório 4 ☐ aceitável 3 ☐ insatisfatório 2 ☐ péssimo 1 ☐ não sabe	10. O organismo deve adequar (ajustar, editar) os dados cartográficos de acordo com suas finalidades? ☐ sim ☐ não
11. Quais são, geralmente, os erros ou problemas mais frequentes detectados pelo organismo ao utilizar o produto cartográfico? ☐ não há grandes problemas, o produto é adequado ☐ deslocamentos de pontos ou feições (posicionamento) ☐ erros de interpretação (níveis e traços trocados, textos) ☐ duplicidade de níveis ☐ superposição dos elementos ☐ precisão incompatível a aplicação ou a escala. ☐ outros. Especifique:	12. Opiniões e outras informações que achar relevante:

Agradeço sua colaboração. Se você deseja receber o resultado desta pesquisa coloque o seu endereço abaixo:

Nome:

Endereço:

E-mail:

¹ Doutoranda pela EESC – USP

Endereço de correspondência: Rua Américo Jacomino Canhoto, 171 – Jd. Nova Sta Paula - São Carlos – SP – 13.560-350

Empresa:	Data / /
Endereço:	Privado ☐ Público ☐
Contato:	

1. Produtos cartográficos numéricos (produção): ☐ Restituição, escalas: ☐ 1:1.000 – 1:5.000 ☐ ≤ 1:10.000 ☐ Orthophotos ☐ 1:1.000 – 1:5.000 ☐ ≤ 1:10.000 ☐ Ortofotos/Mosaicos ☐ Outros	2. N° de pessoas empregadas: ☐ ≤ 10 ☐ ≈ 10 – 50 ☐ ≥ 50 3. Certificação ☐ ISO 9000 ☐ Outros
4. Numere na ordem de solicitações de serviços (os clientes importantes) ☐ Empresas Estatais (Públicas) ☐ Empresas Privadas ☐ Administração Pública ☐ Outros	5. As especificações do produto cartográfico fornecidas pelos clientes: ☐ 100% ☐ 50% e o restante é influenciado pela empresa/outros ☐ 25% e o restante é realizado pela empresa ou outros.
6. O processo de trabalho que é considerado o mais complexo para a garantia da qualidade num projeto corriqueiro: ☐ 1. cobertura aérea Degré de complexité ☐ 2. scanner ☐ 3. Campo A B C D ☐ 4. Orientações (preparação para aerotriangulação) ☐ 5. Aerotriangulação ☐ 6. Restituição ☐ 7. Geração do MDT ☐ 8. Geração de Ortofoto ☐ 9. Edição/ajuste de dados ☐ 10. impressão ☐ Outros	7. Materiais e equipamentos ☐ A-8 ☐ A-10 ☐ B-8 ☐ PG-2 ☐ B-8 ☐ PG-21 ☐ Planitop ☐ Planimat ☐ Planicart ☐ Outros ☐ DPW PHODIS ☐ DPW ISM ☐ DPW INTERGRAPH ☐ DPW LH SYSTEM ☐ Outros ☐ Scanner Helava ☐ Intergraph ☐ RM1 ☐ AGFA ☐ Outros 8. Formato de dados especificados ou utilizados ☐ DGN ☐ DXF ☐ INTERLIS ☐ ATKIS ☐ Outros ☐ TIFF ☐ COT ☐ Sun Raster ☐ PostScript ☐ RLE ☐ LZW ☐ JPEG
9. Sistema de Gestão de Qualidade no processo: ☐ produtivo ☐ organizacional ☐ fornecedor ☐ pessoal ☐ gestão ☐ Outros Notes :	10. Observações do controle de qualidade adotado? ☐ Esquemas de produção 1. Très accessibles ☐ Especificações documentadas 2. Accessibles ☐ Especificações esquematizadas 3. compréhensible ☐ Documentação da qualidade

11. Notas do método de trabalho - Destaque

Agradeço a sua colaboração. Caso deseje os resultados desta pesquisa, preencha o requerimento abaixo:

Nome:

Endereço:

E-mail:

¹ Endereço de correspondência: Rua Américo Jacomino Canhoto, 171 – Jd. Nova Sta Paula - São Carlos – SP – 13.560-350

ANEXO 12

ANEXO 12: EXEMPLO DE RECURSOS GRÁFICOS DE UMA AEROTRIANGULAÇÃO DIGITAL

1. A visualização dos resultados do ajustamento bi-dimensional feito pelo ORIMA TE/GPS da Leica Geosystems é apresentada conforme a Figura 1.0. Outros exemplos e suas aplicações, são vistos em seguida.

Figura 1.0: (a) informação do ajustamento realizado e (b) o eixo da câmera, as conexões dos pontos de enlace com os seus respectivos centros de projeção.

Usado para identificar áreas fracas do bloco após a realização das medições automáticas.

Usado para encontrar erros grosseiros ou com resíduos acima do esperado. Analisado logo após a realização das medições automáticas dos pontos fotogramétricos.

"Overlay" dos pontos medidos sobre as imagens. O identificador de pontos é apresentado na tela quando o ponto é selecionado. A medição interativa pode ser feita a partir desta seleção.

ANEXO 13

ANEXO 13: MODELO DE DADOS GERADO PARA O EXPERIMENTO DE RESTITUIÇÃO

NÍVEIS DE INFORMAÇÕES - TEMA: COBERTURA DO SOLO

Edificações

Código	Descrição	Geometria	Representação Gráfica	Comando MicroStation	Restrições	Semiologia	Comando System9	Semiologia	Transferência de Dados
						Atributos Gráficos		Restituição	
10	Edificação (bem definida)	Polígono		PLACE SHAPE CONSTRAINED		LV=10 CO=3 LC=0 WT=1	BAT1ATL Building1 Buildings	CO=15 CL=2 SY=0 Vermelho	
11	Edificação (indefinida)	Polígono		PLACE SHAPE CONSTRAINED PLACE LSTRING SPACE		LV=11 CO=5 LC=0 WT=0	BAT1ATL Building2 BAT2	CO=25 CL=4 SY=0 Azul	PLACE LSTRING SPACE
12	Construções	Polígono		PLACE SHAPE CONSTRAINED PLACE LSTRING SPACE		LV=12 CO=3 LC=2 WT=1	BAT1ATL Field Construction	CO=31 CL=22 SY=0 Vermelho	PLACE LSTRING SPACE 0.5mm
13	Telhado	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=13 CO=9 LC=0 WT=1	BAT1ATL Building2 Construction	CO=32 CL=23 SY=0 Vermelho	PLACE LSTRING SPACE 0.5mm

Tabela de Legenda: Colcha de Informação - Cobertura do Solo

Nível: Revestimento construído - rodovias e estradas

Código	Descrição	Geometria	Apresentação	Comando MS	Dimensão Original	Semiologia		Comando S9	Observação
						Restituição	CTL		
1	Estrada	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=10 CO=1 LC=0 WT=0	LV=10 CO=1 LC=0 WT=0	ROUTE.ATL boundary Route	
2	Caminhos	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=11 CO=3 LC=2 WT=1	LV=11 CO=3 LC=2 WT=1	ROUTE.ATL way Chemin	
3	Calçadas	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=12 CO=6 LC=6 WT=0	LV=12 CO=6 LC=6 WT=0	ROUTE.ATL (Garden) Trottoir	
4	Ferrovias	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=13 CO=253 LC=0 WT=4	LV=13 CO=253 LC=0 WT=4	ROUTE.ATL	
5	Estacionamento	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=14 CO=253 LC=2 WT=0	LV=14 CO=253 LC=2 WT=0	ROUTE.ATL (Power) Parkin	
6	Ilhas	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=15 CO=90 LC=7 WT=0	LV=15 CO=90 LC=7 WT=0	ROUTE.ATL (Field)	

Tabela de Legenda: Colcha de Informação - Cobertura do Solo

Nível: Superfícies Verdes

Código	Descrição	Geometria	Apresentação	Comando MS	Dimensão Original	Semiologia		Comando S9	Observação
						Restituição	CTL		
1	Área Verde (Gral)	Polígono Preenchido		PLACE SHAPE CONSTRAINED PLACE LSTRING SPACE		LV=30 CO=2 LC=0 WT=0	LV=30 CO=2 LC=0 WT=0	ROUTE.ATL wall	Fill Type: Opaque
2	Jardim	Polígono Preenchido		PLACE LSTRING SPACE		LV=31 CO=7 LC=0 WT=0	LV=31 CO=7 LC=0 WT=0	ROUTE.ATL wall	Fill Type: Opaque
3	Jardineira	Linha		PLACE LSTRING SPACE		LV=32 CO=7 LC=0 WT=0	LV=32 CO=7 LC=0 WT=0	ROUTE.ATL wall	Fill Type: Opaque

ANEXO 14

ANEXO 15

ANEXO 15: RESULTADO DO TESTE DE DUPLICIDADE DOS ELEMENTOS TEXTUAIS

P

P

P

Rue St. Etienne

R. Pierre Viret

R. Mercerie

R. Curtat

R. Curtat

R. Curtat

PONT BESSIERE

R. entrale

Ch. de Bourg

Rue St. Martin

Rue Caroline

Rue de Lagallerie

Ruelle de Bourg

Rue du Rotillon

Rue de St-Pierre

Rue Enning

Escalier

BATIMENTS

CORPS DE BATIMENT, RESERVATOIRE, TERRACE

SURFACE VERTE

PARK, PLACE

PONTS

ESCALIERS

TROTTOIR

LIMITE DE PARKING

ILOTS

MURS

P

PARKING

ARBRES

EGLISE

PONT BESSIERE – LAUSANNE

índice de variáveis

P – Estacionamento