UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

**ANÁLISE DO BALANCEAMENTO DE IMAGENS
APLICADO A FOTOGRAMETRIA**

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para concorrer ao título de
Mestre em Engenharia, pelo curso de
Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes – Área de concentração:
Informações Espaciais

São Paulo
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

**ANÁLISE DO BALANCEAMENTO DE IMAGENS
APLICADO A FOTOGRAMETRIA**

Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para concorrer ao título de
Mestre em Engenharia, pelo curso de
Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes – Área de concentração:
Informações Espaciais

Orientador:
Prof. Dr. José Alberto Quintanilha

São Paulo
2002

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EPUSP

Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque

Análise do balanceamento de imagens aplicado a Fotogrametria /
Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega – São Paulo, 2002.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo, 2002.

Orientador: Profº Dr. José Alberto Quintanilha

1. Balanceamento de Imagens Digitais. 2. Processamento Digital
de Imagens. 3. Fotogrametria

Aos meus pais, irmãos e esposa.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo Prof. Dr. José Alberto Quintanilha
pela confiança depositada.

Aos amigos da Aerocarta Engenharia de Aerolevantamentos
pela colaboração e pelo respeito.

Aos meus familiares, pelo incansável apoio e incentivo.

Aos amigos que indiretamente colaboraram na execução
deste trabalho.

SUMÁRIO

	p.
RESUMO	
SUMMARY / ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Aspéctos Gerais	1
1.2 Descrição da Pesquisa	4
1.3 Justificativa	5
1.4 Objetivos	6
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1 Considerações sobre Processamento Digital de Imagens	8
2.1.1 Conceitos de Processamento Digital de Imagens Utilizados na Pesquisa	11
2.2 Considerações sobre Fotogrametria	16
2.3 Imperfeições Radiométricas nas Imagens Aéreas	21
2.3.1 <i>Hot Spot</i>	21
2.3.2 Vinhete	23
2.3.3 Material Fotográfico	26
2.3.4 Vôo	27
2.3.5 <i>Scanner</i>	29
3 RECURSOS FOTOTGRÁFICOS DE BALANCEAMENTO DE IMAGENS	31
3.1 Ajuste Manual da Intensidade Luminosa	33
3.2 Ajuste Eletrônico da Intensidade Luminosa	36
3.3 Revelação Não Uniforme por Processos Químicos	38

4 BALANCEAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS	40
4.1 A Fotografia Aérea Digital	40
4.2 O Tratamento das Imagens Digitais	43
4.3 Processamento Local Automatizado	47
4.3.1 O Princípio do Algoritmo Adaptativo <i>Local Range Modification</i>	49
4.3.2 Adaptações da LRM para o Balanceamento de Imagens	53
4.3.3 Balanceamento de Múltiplas Imagens	58
5 ANÁLISE DESCRITIVA DOS RECURSOS DIGITAIS DE BALANCEAMENTO DE IMAGENS DISPONÍVEIS NO MERCADO	64
5.1 Solução Z/I Imaging	64
5.2 Solução LH Systems	67
5.2.1 Dodger	68
5.2.2 Image Equalizer	71
5.3 Solução ERDAS	74
5.4 Solução ER Mapper	79
6 ANÁLISE QUALITATIVA DAS IMAGENS BALANCEADAS	85
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	90
7.1 Aspéctos Gerais	90
7.2 Conclusões Finais	91
7.3 Recomendações	92
7.3.1 Análise da Visualização Estereoscópica em Imagens Balanceadas	92
7.3.2 Utilização de Informações Georeferenciadas para o Balanceamento	93
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXO A	105
ANEXO B	107
ANEXO C	114

LISTA DE FIGURAS

	p.
Figura 1	Estrutura matricial de uma imagem. Valores de intensidade associados ao nível de cinza 11
Figura 2	Ilustração de um histograma de uma imagem digital 14
Figura 3	a) Imagem com baixo contraste e seu histograma,. b) imagem com alto contraste e seu histograma 15
Figura 4	Ilustração da ocorrência de <i>hot-spot</i> em espelhos d'água em imagens aéreas adjacentes. Escala aproximada das fotografias 1:8000, região de Criciúma SC, Novembro/2001 23
Figura 5	Exemplo de vinhete óptico e variação de abertura do obturador da câmara para compensar o efeito. Esq: f5/6, Dir: f1/4 24
Figura 6	Incidência de luz no plano interno da câmara 25
Figura 7	Intensidade luminosa nas bordas menor que no centro. Diferença entre os ângulos de incidência e entre as distâncias percorridas 26
Figura 8	Fotoíndice de um vôo fotogramétrico com diferentes épocas de recobrimento 28
Figura 9	Ilustração dos efeitos causados pela distribuição irregular de iluminação em fotos aéreas. Esq: Influência dos raios solares inclinados, Dir: posição solar a zênite 33
Figura 10	Instrumento copiador de fotografias aéreas 35
Figura 11	Fotocopiadora de contato com controle eletrônico de exposição e uma ilustração dos principais sistemas envolvidos. RTF-100 Dodging Contact Printer by Egoltronics Corporation 37
Figura 12	Fotografia aérea obtida através da cópia fotográfica em laboratório: a) sem a utilização de tratamentos; b) utilizando a combinação de filtros atenuantes e processos químicos localizados 39
Figura 13	Balanceamento manual de imagens a partir de um aplicativo padrão de mercado. Esq: mosaico de imagens Ikonos pancromáticas da região metropolitana de São Paulo, Dir: mosaico após o balanceamento 46
Figura 14	Padrões distintos de histograma em uma fotografia aérea digital 50
Figura 15	Blocos e parâmetros utilizados na <i>Local Range Modification</i> para processamento adaptativo 51

Figura 16	Exemplo ilustrativo da técnica <i>Local Range Modification</i> , adaptado ao balanceamento de imagens pela extração de parâmetros estatísticos, utilizados nos aplicativos Dodger e Image Equalizer da LH Systems	55
Figura 17	Decomposição de uma imagem aérea colorida de 24 <i>bits</i> em canais RGB ..	57
Figura 18	Análise comparativa em área rural com intensa presença de água. Esq: imagem original, Dir: imagem balanceada	58
Figura 19	Divisão esquemática das fotografias aéreas em blocos para o balanceamento digital e os respectivos valores de brilho e contraste extraídos dos canais RGB	60
Figura 20	Fotoíndice de imagens aéreas. Acima: imagens originais, abaixo: imagens balanceadas em conjunto	62
Figura 21	Mosaico de fotografias aéreas de escala aproximada 1:25000, antes e após o balanceamento, Criciúma SC	63
Figura 22	Janela principal do Dodger em meio aos demais aplicativos do Socet Set ..	69
Figura 23	Ilustração da janela de ajustes dos parâmetros utilizados no Dodger	70
Figura 24	Parâmetros utilizados para o balanceamento através do Image Equalizer. Vale ressaltar a semelhança ao Dodger	72
Figura 25	Janela principal do Image Equalizer. Interface amigável contendo recursos gráficos de seleção e visualização das imagens	73
Figura 26	Visualização das informações sobre a estatística extraída dos blocos das imagens processadas	74
Figura 27	Janela inicial do balanceamento de imagens do Imagine	76
Figura 28	Modelos de superfície disponíveis no Imagine para balanceamento de imagens: a) Parabólica; b) Linear; c) Exponencial e d) Cônica	77
Figura 29	Janela principal para balanceamento do Imagine	78
Figura 30	Exclusão da região do lago que apresenta <i>hot-spot</i>	79
Figura 31	Painel principal de ferramentas do ER Mapper 6.2	80
Figura 32	Ilustração geral da interface gráfica de balanceamento de imagens do ER Mapper 6.2: a) Janela inicial; b) Janela apresentada após o cálculo dos valores médios dos blocos; c) Janela de seleção do modo de balanceamento das imagens; d) Seleção do modo de ajuste das cores	81
Figura 33	Seleção do algoritmo para edição das parâmetros	83
Figura 34	Comparação de valores de brilho e contraste entre lados opostos da imagem	87
Figura 35	Histogramas das respectivas áreas selecionadas	87

Figura 36	Redução de imagens por processo de pirâmide	107
Figura 37	Imagem processada por blocos sem suavização no sistema MatLab	110
Figura 38	Esq: imagem original; Dir: imagem processada por blocos	113
Figura 39	Ilustração da análise comparativa dos resultados da triangulação automática. Esq: imagens originais; Dir: imagens balanceadas	119

LISTA DE TABELAS

	p.
Tabela 1 - Relação entre número de <i>bits</i> e número de cores de uma imagem	13
Tabela 2 - Relação dos tipos de sistemas de lentes de câmaras aéreas utilizados em Fotogrametria	26
Tabela 3 - Exemplo de valores de média e desvio padrão dos blocos das imagens e do conjunto de imagens	61
Tabela 4 - Relação dos projetos cujos processamentos foram utilizados na pesquisa ..	61

RESUMO

Entende-se como balanceamento de imagens o procedimento capaz de atenuar as discrepâncias radiométricas entre regiões de uma mesma imagem, bem como entre imagens contíguas. De modo geral, as principais consequências sofridas são de caráter visual, em especial na composição de mosaicos, realçando as discrepâncias de coloração, brilho e contraste entre diferentes porções da imagem ou entre imagens distintas. O desenvolvimento da pesquisa contou inicialmente com o levantamento detalhado das causas e dos efeitos ocorridos nas imagens, seguido do levantamento das técnicas e dos instrumentos necessários a sua correção, envolvendo as técnicas analógicas, eletrônicas e a evolução para os procedimentos computacionais. Desta forma, foram relatadas as principais soluções digitais empregadas no balanceamento, tendo as técnicas de processamento digital de imagens como base do processo. O objetivo deste trabalho é apresentar o atual “estado da arte”, as necessidades e as principais soluções relacionadas ao balanceamento de imagens, desenvolvendo análises comparativas e descritivas entre diferentes técnicas e diferentes aplicativos. Como etapa final, a pesquisa contou com a avaliação qualitativa os benefícios obtidos pela adoção do balanceamento de imagens nas atividades da Fotogrametria, relatando melhorias significativas na composição de mosaicos e ortofotos a partir de imagens balanceadas, se comparados aos mosaicos compostos de imagens convencionais.

Palavra-chave: Balanceamento de Imagens, Processamento Digital de Imagens, Fotogrametria, Radiometria.

SUMMARY / ABSTRACT

Image Balancing is a process able to minimize radiometric divergences at one image or several adjacent images. Normally, the main consequences involve visual aspect, specially during the mosaic composition, enhancing colors discrepancies, as well as different brightness and contrast pattern for different images or regions of one image. The research development starts with the detailed surveying of the causes and the effects occurred to the images, and complemented with the study of the techniques and the instruments used to its correction, involving analogical procedures, electronics and their evolution for digital world. Furthermore, this research relates the main digital solutions used for image balancing, based on the digital image processing computational techniques. The objective of this research is to relate the actual *state of the art*, as well as the necessities and the principal solutions used to image balancing, through comparative and descriptive analysis between different techniques and different software. The conclusions relates the benefits of the image balancing applied to Photogrammetry projects through qualitative analysis, specially for mosaics compositions, if compared to mosaics of common images.

Key-words: Image Balancing, Digital Image Processing, Photogrammetry, Radiometry