

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E  
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

---

LUCIANA LIMA ARAUJO



**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE ÁREAS URBANAS OCUPADAS POR  
ASSENTAMENTOS IRREGULARES UTILIZANDO VISÃO  
ESTEREOSCÓPICA POR IMAGENS ANAGLIFO**

Recife  
2005

---

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E  
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

---

---

**LUCIANA LIMA ARAUJO**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE ÁREAS URBANAS OCUPADAS POR  
ASSENTAMENTOS IRREGULARES UTILIZANDO VISÃO  
ESTEREOSCÓPICA POR IMAGENS ANAGLIFO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de Concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, defendida e aprovada no dia 10/06/2005.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler**

Recife  
2005

---

---

**A663a**

**Araujo, Luciana Lima.**

Avaliação da dinâmica de áreas urbanas ocupadas por assentamentos irregulares utilizando visão estereoscópica por imagens anaglifo. – Recife: O Autor, 2005.

xv, 106 folhas. : il. ; fig., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2005.

Inclui bibliografia.

1. Geoinformação. 2. Planejamento urbano. 3. Assentamentos irregulares. 4. Anaglifos. 5. Fotointerpretação. I. Título.

526      CDD (21.ed.)

UFPE  
**BCTG/2005-34**

**AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE ÁREAS URBANAS  
OCUPADAS POR ASSENTAMENTOS IRREGULARES  
UTILIZANDO VISÃO ESTEREOSCÓPICA POR  
IMAGENS ANAGLIFO**

POR

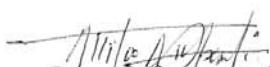
**LUCIANA LIMA ARAUJO**

Dissertação defendida e aprovada em 10.06.05.

Banca Examinadora:

  
**Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER (Orientador)**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

  
**Prof. Dr. ANA LÚCIA BEZERRA CANDEIAS**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

  
**Prof. Dr. ATTILIO ANTONIO DISPERATI**  
Departamento de Engenharia Florestal - Universidade Estadual do Centro-Oeste - Paraná

Aos meus pais e irmãs  
que me ensinaram a viver, me apoiaram e confiaram na minha  
capacidade ...

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Carlos Alberto Borba Schuler, por dividir comigo o seu conhecimento e experiência, sem hesitar, confiando a mim a responsabilidade desta pesquisa.

Aos professores do mestrado, em especial as professoras Ana Lucia Candeias, Lucilene Marques de Sá e Verônica Romão.

A 3<sup>a</sup> DL na pessoa do Capitão Jorge Cerqueira, pela digitalização das fotografias.

A Prefeitura Municipal de Maceió pela disponibilização do material necessário a realização deste trabalho.

A Fapeal pela concessão do auxílio tese e pelo incentivo à pesquisa.

Aos meus pais Paulo Roberto Coelho Araujo e Vera Lúcia Lima Araujo, as minhas irmãs Juliana Lima Araujo Duarte e Taciana Lima Araujo pelos ensinamentos, carinho, estímulo e o apoio os quais sempre contei.

Ao tio João Beltrão e a tia Vilma Ferro que estiveram sempre presentes e ajudaram nas horas de grandes apertos.

Ao Jandyr Souza Filho pelo carinho, paciência, por me incentivar e apoiar, compartilhando os momentos de angustias e alegrias.

Aos amigos José Antônio Cerqueira, Jurandir Nicácio e Almair Camargos pelo companheirismo, apoio... foram longas horas de estrada.

Aos amigos do mestrado, em especial, Hélio Lopes e Ivan Dornelas pelos auxílios nos momentos de dúvidas e a figura mais bonita do trabalho.

A Luciana de Andrade Schuler pela revisão realizada no trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO E PALAVRAS CHAVES .....</b>	<b>V</b>
<b>ABSTRACT AND KEYWORDS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>02</b>
<b>2.1 - Objetivo Geral .....</b>	<b>02</b>
<b>2.2 - Objetivos Específicos .....</b>	<b>03</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>04</b>
<b>3.1 - Assentamentos Irregulares – Favela .....</b>	<b>04</b>
<b>3.2 - Caracterização Geral do Município de Maceió .....</b>	<b>08</b>
<b>3.3 – Fotogrametria .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.1 - Objetivo e Classificação.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3.2 - Histórico da Fotogrametria.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2.1 - Fotogrametria Analógica.....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.2.2 - Fotogrametria Analítica.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.2.3 - Fotogrametria Digital.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.2.3.1 Tecnologias Disponíveis em um Sistema Fotogramétrico Digital.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.2.3.1.1 Orientação Automática dos Modelos.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3.2.3.1.2 Geração Automática de Modelos Digitais do Terreno.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2.3.1.3 Geração Automática de Ortofotos e Mosaicos.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.2.3.1.4 Restituição Digital.....</b>	<b>24</b>

3.3.2.3.2 Imagem Digital.....	25
3.3.2.3.3 Georreferenciamento.....	27
3.3.3 - Filmes Fotográficos.....	30
3.3.4 - Fotografias Aéreas.....	31
3.3.4.1 - Tipos de Fotografias.....	32
3.3.4.1.1 - Fotografias Aéreas Verticais.....	32
3.3.4.1.2 - Fotografias Aéreas Inclinadas.....	33
<b>3.4 – Fotointerpretação .....</b>	<b>35</b>
3.4.1 - Elementos Básicos de Interpretação Fotográfica.....	35
3.4.1.1 - Tom e Cor.....	35
3.4.1.2 - Geometria dos Objetos.....	36
3.4.1.3 - Arranjo de Espaços de Limites Tonais.....	37
3.4.1.4 - Contexto de Objetos e Fenômenos.....	39
<b>3.5 – Estereoscopia .....</b>	<b>40</b>
3.5.1 - Histórico da Estereoscopia.....	41
3.5.2 - Visão Estereoscópica.....	42
3.5.3 - Princípios Básicos da Fotografia Estereoscópica.....	44
3.5.4 - Métodos de Obtenção de Visão Estereoscópica.....	45
3.5.4.1 - Método do Estereoscópio de Lentes ou de Bolso.....	45
3.5.4.2 - Método do Estereoscópio de Reflexão ou de Espelhos.....	46
3.5.4.3 - Método da Luz Polarizada.....	47
3.5.4.4 - Método do Cintilamento ou Luz Intermittente.....	47
3.5.4.5 – Holografia.....	48
3.5.4.6 - Método do Anaglifo.....	49

<b>3.6 - Método de Aquisição de Imagens Fotogramétricas Digitais.....</b>	51
3.6.1 – Scanner.....	51
3.6.1.1 - Sistema de Varredura.....	53
3.6.1.2 – Resolução.....	54
<b>3.7 – Algumas Características dos Programas a Serem Avaliados .....</b>	57
3.7.1 – Adobe Photoshop 7.0.1.....	57
3.7.2 – Anaglyph Maker 1.08 .....	58
3.7.3 – FreeHand 10.....	59
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	60
<b>4.1 - Caracterização da Área Experimental.....</b>	60
4.1.1 - Sub-Área “Vale do Reginaldo” .....	60
4.1.2 - Sub-Área “Lagoa Mundaú” .....	61
<b>4.2 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos .....</b>	62
4.2.1 - Caracterização do Problema das Invasões.....	63
4.2.2 - Levantamento dos Dados Básicos.....	65
4.2.2.1 - Base Cartográfica Existente.....	65
4.2.2.2 - Recobrimento Aerofotogramétrico.....	66
4.2.3 - Documentação do Problema e Planejamento de Ações .....	66
4.2.4 - Obtenção dos Dados para Avaliação.....	67
4.2.5 - Símbolos e Convenções Adotados.....	68
4.2.6 - Procedimentos para Coleta dos Dados e para Verificar a Fotointerpretação Anaglifa.....	69
4.2.7 - Aquisição das Aerofotos de 1974 e 1997.....	69
4.2.8 - Delimitação das Áreas Experimentais.....	70

4.2.9 - Digitalização das Aerofotos.....	73
4.2.10 - Elaboração dos Anaglifos.....	73
4.2.10.1 - Utilizando o Programa Adobe Photoshop 7.0.1.....	73
4.2.10.2 - Utilizando o Programa Anaglyph Maker 1.08 – Anamaker.....	84
4.2.11 - Teste de Validade dos Símbolos e Convenções Adotados.....	85
<b>5. RESULTADO .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1 - Análise e Discussão dos Resultados Obtidos pela Utilização dos Programas Avaliados .....</b>	<b>86</b>
5.1.1 - Fotointerpretação dos Anaglifos Registrando as Feições com o Programa Freehand 10.....	86
<b>5.2 - Verificação, em Campo, da Fotointerpretação.....</b>	<b>98</b>
<b>5.3 - Análise e Discussão dos Resultados da Fotointerpretação X Planta Cadastral.....</b>	<b>99</b>
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>101</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>103</b>

## RESUMO

ARAUJO, Luciana Lima. **Avaliação da dinâmica de áreas urbanas ocupadas por assentamentos irregulares utilizando visão estereoscópica por imagens anaglifo**. Recife, 2005, 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Com o processo de urbanização acelerada alguns fatores negativos passaram a ocorrer devido ao despreparo das cidades para receber o grande número de pessoas e demandas sociais. Um dos principais fatores deste aumento populacional é a proliferação de habitações subnormais em áreas de proteção ambiental. Os assentamentos irregulares estão sempre em constantes alterações, sendo importantes os mapeamentos cadastrais dessas áreas para quantificar as habitações e desenvolver as análises das degradações e evoluções das mesmas, como ferramentas de auxílio no planejamento urbano. Assim, foram analisados os programas Adobe Photoshop 7.0.1, Anaglyph Maker 1.08 e FreeHand 10 e testadas aplicações em duas áreas experimentais, amostras representativas de locais de risco, sujeitas a desmoronamentos e alagamentos, na cidade de Maceió/AL, de coordenadas aproximadas 9º 39'S e 35º 44'WGr. Com a utilização de fotografias aéreas métricas, verticais, P & B, na escala de 1:5000, de 1974, e na escala de 1:6000, de 1997, foram obtidos anaglifos, em meio digital, utilizando o programa Adobe Photoshop 7.0.1. Procedeu-se a fotointerpretação temática tridimensional, diretamente na tela do computador, com o auxílio do programa FreeHand 10, avaliando-se a dinâmica espaço-temporal das áreas experimentais. Complementarmente foram utilizados mosaicos fotogramétricos de 1984 para verificar variações da dinâmica dos assentamentos em uma época intermediária. Pelos resultados observa-se que a maior degradação, no período avaliado, ocorreu, nas duas áreas, entre os anos de 1984 e de 1997, com um aumento de 252.51% no número de habitações na área do Vale do Reginaldo e de 177.65% na área da Lagoa Mundaú. Os programas utilizados e os procedimentos metodológicos adotados constituem uma alternativa adequada e de baixo custo para Prefeituras e órgãos que atuam no planejamento urbano.

**Palavras-chave:** Assentamentos irregulares; Fotografias aéreas; Fotointerpretação; Anaglifos; Planejamento urbano.

## ABSTRACT

ARAUJO, Luciana Lima. **Assessment of the Dynamics of Urbans Áreas Ocupied for Shanty-town Using Stereoscopic Vision for Anaglyph Images.** Recife, 2005, 106 p. Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) – Center of Technology and Geosciences, Federal University of Pernambuco, Brazil.

Due to the fast urbanization process, some negative factors have been happening because cities are not prepared to receive the great number of people and the social demands. One of the main factors is the proliferation of shanty-town in protected environmental areas. The irregular nestings are always changing. Hence, it is important to register these areas in maps to quantify the habitations and to develop the analysis of their degradation and evolution, in order to provide tools to the urban planning. Thus, the softwares Adobe Photoshop 7.0.1, Anaglyph Maker 1.08 and FreeHand 10 were analysed and tested in two experimental areas, representative samples of risky places, subject to collapses and overflows, in Maceió/AL city, coordinates 9° 39'S and 35° 44'WGr. With the use of metric aerial, vertical, P & B photographs, in 1:5000 scale, dating from 1974, and in 1:6000 scale, dating from 1997, anaglyphs were obtained in digital medium using Adobe Photoshop 7.0.1software. Three-dimensional thematic photointerpretation was made directly in the computer monitor, with the aid of FreeHand 10 software, evaluating space-weather dynamics of the experimental areas. Additionally photogrammetric mosaics dated from 1984 were used to verify variations in nesting dynamics in an intermediate phase. The results show that the biggest degradation, in the evaluated period, occurred, in the two areas, between the years 1984 to 1997 – the number of domiciles increased 252.51% in Vale do Reginaldo and 177.65% in Lagoa Mundaú. The used softwares and the methodologies procedures adopted establish an adequate and low cost alternative for counties and agencies that act in the urban planning.

**Keywords:** Shanty-town, aerial photograph, photointerpretation, anaglyphs, urban planning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Assentamento irregular recente, não consolidado. Bom Parto. Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198754 e y= 8931928.....	05
Figura 2 – Assentamento irregular, consolidado. Bom Parto. Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198714 e y= 8932058.....	05
Figura 3 – Localização do Município de Maceió/AL. ....	09
Figura 4 – Assentamento irregular em área alagável - “Lagoa Mundaú”, Bom Parto. Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198582 e y= 8931552.....	10
Figura 5 - Assentamento irregular em área de encosta – “Vale do Reginaldo”. Feitosa. Maceió/AL, novembro de 2004. Coordenadas x= 200510 e y= 8932322....	10
Figura 6 – Componentes fundamentais de uma estação de trabalho da fotogrametria de imagens digitais, e a relação dos dispositivos de entrada e saída, ferramentas e produtos. Fonte: Digital Photogrammetry – An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 1996. ....	21
Figura 7 – Corte esquemático de um filme de emulsão simples.....	30
Figura 8 - Corte esquemático de um filme de emulsão complexa. ....	30
Figura 9 – Aerofoto vertical (parte), pancromática P&B, escala original 1:6000, Maceió/AL, 1997. Fonte: Esteio.....	33
Figura 10 – Aerofoto oblíqua alta, pancromática colorida, 35mm. Pina, Recife/PE, 1996. Fonte Carlos Alberto Borba Schuler, acervo particular.....	34
Figura 11 - Aerofoto oblíqua baixa, pancromática colorida, 35mm. Pina, Recife/PE, 1996. Fonte Carlos Alberto Borba Schuler, acervo particular .....	34
Figura 12 – Estereoscópio de lentes. Fonte: Catálogo da ZEISS, 1984.....	46

Figura 13 – Estereoscópio de reflexão ou de espelhos. Fonte: Catálogo da ZEISS. 1984.....	47
Figura 14 – Anaglifo de parte do “Vale do Reginaldo” Maceió/AL, novembro de 2004.....	49
Figura 15 – Scanner fotogramétrico DSW – Leica. Fonte: Catalogo LEICA.....	51
Figura 16 – Fluxograma da metodologia empregada para avaliação da dinâmica de áreas urbanas ocupadas por assentamentos irregulares – Maceió/AL .....	63
Figura 17 – Assentamento Irregular no “Vale do Reginaldo”, Maceió/AL, novembro de 2004. Coordenadas x= 200642 e y= 8932402.....	64
Figura 18 – Assentamento Irregular na “Lagoa Mundaú”, Maceió/AL, novembro de 2004.Coordenadas x= 198582 e y= 8931552.....	65
Figura 19 – Área experimental da “Lagoa Mundaú”. Fonte: Base Cartográfica Digital de Maceió, 2000.....	71
Figura 20 - Área experimental do “Vale do Reginaldo”. Fonte: Base Cartográfica Digital de Maceió, 2000.....	72
Figura 21 - Fotografia aérea 18(E) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.....	74
Figura 22 - Fotografia aérea 17(D) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.....	74
Figura 23 – Recorte da fotografia aérea 18 (E).....	74
Figura 24 – Recorte da fotografia aérea17 (D) .....	74

Figura 25 – Recorte da fotografia aérea 18 (E) com extração das bandas azul e verde.....	75
Figura 26 – Recorte da fotografia aérea 17 (D) com extração da banda vermelha.....	75
Figura 27 – Anaglifo da área de estudo do “Vale do Reginaldo”(1974).....	75
Figura 28 – Fotografia aérea 687 (E) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.....	76
Figura 29 – Fotografia aérea 685(D) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul,1974 .....	76
Figura 30 – : Recorte da fotografia aérea 687 (E).....	76
Figura 31 – Recorte da fotografia aérea 685 (D).....	76
Figura 32 – Recorte da fotografia aérea 687 (E) com extração das bandas azul e verde.....	77
Figura 33 – Recorte da fotografia aérea 685 (D) com extração da banda vermelha.....	77
Figura 34 – Anaglifo 1 da área de estudo da “Lagoa Mundaú”(1974).....	77
Figura 35 – Fotografia aérea 688(E) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974. .....	78
Figura 36 – Fotografia aérea 687(D) Escala nominal: 1/5000 (original). Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974. .....	78
Figura 37 – Recorte da fotografia aérea 688 (E). .....	78
Figura 38 – Recorte da fotografia aérea 687 (D).....	78

Figura 39 – Recorte da fotografia aérea 688 (E) com extração das bandas azul e verde.....	79
Figura 40 – Recorte da fotografia aérea 687 (D) com extração da banda vermelha.....	79
Figura 41 – Anaglifo 2 da área de estudo da “Lagoa Mundaú”(1974).....	79
Figura 42 - Fotografia aérea 405/Fx 9 (E) Escala nominal: 1/6000 (original).Fonte: Esteio, 1997.....	80
Figura 43 – Fotografia aérea 403/Fx 9 (D) Escala nominal: 1/6000 (original).Fonte: Esteio, 1997.....	80
Figura 44 – Recorte da fotografia aérea 405/Fx 9 (E).....	80
Figura 45 - Recorte da fotografia aérea 403/Fx 9 (D). .....	80
Figura 46 – Recorte da fotografia aérea 405/Fx 9 (E) com extração das bandas azul e verde.....	81
Figura 47 – Recorte da fotografia aérea 403/Fx 9 (D) com extração da banda vermelha.....	81
Figura 48 – Anaglifo da área de estudo do “Vale do Reginaldo”(1997).....	81
Figura 49 – Fotografia aérea 411/Fx 9 (E) Escala nominal: 1/6000 (original).Fonte: Esteio, 1997.....	82
Figura 50 – Fotografia aérea 409/Fx 9 (D) Escala nominal: 1/6000 (original).Fonte: Esteio, 1997.....	82
Figura 51 – Recorte da fotografia aérea 411/Fx 9 (E).....	82

Figura 52 – Recorte da fotografia aérea 409/Fx 9 (D).....	82
Figura 53 - Recorte da fotografia aérea 411/Fx 9 (E) com extração das bandas azul e verde.....	83
Figura 54 - Recorte da fotografia aérea 409/Fx 9 (D) com extração da banda vermelha.....	83
Figura 55 – Anaglifo da área de estudo da “Lagoa Mundaú” (1997).....	83
Figura 56 – Tela do programa Anamaker.....	84
Figura 57 – Área experimental da Lagoa Mundaú, ano de 1997.....	87
Figura 57 a – Tela inicial do programa FreeHand10.....	87
Figura 57 b – Tela inicial com a área ampliada em 600%.....	87
Figura 58 – Área experimental do “Vale do Reginaldo”, ano de 1997.....	87
Figura 58 a – Tela inicial do programa FreeHand 10.....	87
Figura 58 b – Tela inicial com a área ampliada em 400%.....	87
Figura 59 – Interpretação da sub-área do “Vale do Reginaldo”, ano de 1974.....	91
Figura 60 – Interpretação do anaglifo 1 da sub-área da “Lagoa Mundaú”, ano de 1974.....	92
Figura 61 – Interpretação do anaglifo 2 da sub-área da “Lagoa Mundaú”, ano de 1974.....	93
Figura 62 – Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e áreas verdes da sub-área do “Vale do Reginaldo”, ano de 1997.....	94

Figura 63 – Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e habitações da sub-área do “Vale do Reginaldo”, ano de 1997.....	95
Figura 64 - Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e áreas verdes da sub-área da “Lagoa de Mundaú” , ano de 1997.....	96
Figura 65 - Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e habitações da sub-área da “Lagoa Mundaú”, ano de 1997.....	97

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resumo dos resultados para a área experimental do “Vale do Reginaldo”.....	100
Tabela 2 – Resumo dos resultados para a área experimental da “Lagoa Mundaú”.....	100

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ADF	Automatic Document Feed
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
CAD	Computer Aided Design
CASAL	Companhia de Águas e Saneamento do Estado de Alagoas
CCD	Charge Coupled Devices
COHAB	Companhia de Habitação Popular de Alagoas
CPU	Central Process Unit
DPI	Dots per inch
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISM	International Systemap
ISP	International Society for Photogrammetry
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
MDT	Modelo Digital do Terreno
NASA	National Aeronautical and Spatial Administration
PIXEL	Picture Unit
PMM	Prefeitura Municipal de Maceió
PMT	Photo Multiplier Tube
RGB	Red Green Blue
RIA	Resolução de Imagem Analógica
RID	Resolução de Imagem Digital

SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPOT	Systeme Pour l' Observation de la Terre
UTM	Universal Transversa de Mercator

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil se consolida e aprofunda a partir de 1930, passando por um modelo de urbanização acelerada, desigual e excludente resultante, em boa parte, do êxodo rural, caracterizando a população como predominantemente urbana. De acordo com dados do IBGE, divulgados em 2000, o Brasil ultrapassou a marca de 80% de população residente nas áreas urbanas. Este fato estimula e exige a definição de novas estratégias e políticas de desenvolvimento (FREITAS, 2004).

Nesse contexto de cidades despreparadas para receber a grande quantidade de pessoas e absorver as demandas sociais, eram previsíveis algumas consequências negativas, como o colapso do sistema de transportes, os congestionamentos no trânsito, o aumento de processos erosivos, os assoreamentos dos rios e as inundações causadas pela impermeabilização do solo, a proliferação de habitações subnormais, a ocupação de áreas de proteção ambiental, a precariedade do saneamento básico, a "favelização", o desemprego e a violência.

A falta de emprego e a grande procura por espaços para habitação salientam os problemas sociais na cidade, onde há competição entre classes e setores da sociedade civil, cenário de proprietários litigando entre si e com os não-proprietários, onde as forças produtivas formais e informais brigam com as atividades comerciais e residenciais, disputando um lugar no meio físico.

O agravamento na procura por moradia se dá por uma lógica do mercado imobiliário que evidencia a ocupação, pelas classes média e alta, das áreas bem localizadas e dotadas de melhor infra-estrutura. A população carente é excluída e passa a ocupar a periferia das cidades ou locais sem atrativos, sobretudo localidades de topografia e condições geológicas com restrições ambientais para uma regular ocupação.

A explicação para uma das causas do desequilíbrio e da degradação ambiental quer do meio ambiente natural, quer do artificial ou construído, é dada pelo processo de exclusão social e territorial que a população de baixa renda sofre levando estas a ocuparem as encostas íngremes dos morros, para viver em constante risco com seus filhos ou invadir áreas públicas ocupando as margens de córregos, mangues ou áreas de preservação permanente.

Diante desses fatos percebe-se a importância dos mapeamentos cadastrais realizados nas áreas ocupadas. A dificuldade da quantificação das ocupações subnormais – favelas – conduz à busca de novos procedimentos para atingir esse objetivo. Normalmente essa quantificação é realizada diretamente em campo, porém o deslocamento dentro dessas áreas é difícil porque a comunidade não vê com bons olhos a circulação de estranhos em seu espaço. Uma das maneiras de resolver esse problema é o emprego de fotografias aéreas e a respectiva interpretação tridimensional realizada a partir do uso de pares estereoscópicos. O processo convencional sugere a utilização de estereoscópios de reflexão. Segundo LOCH (2004) o processo de imagens anaglifo pode ser usado para obter a visão tridimensional em ambiente computacional, a um baixo custo, utilizando aerofotos “escannerizadas” e programas gratuitos, encontrados na internet, como o “Anaglyph Maker 1.08”.

Desta forma este trabalho se propõe avaliar a metodologia de fazer uma análise qualitativa e quantitativa das ocupações subnormais através da interpretação estereoscópica, em ambiente computacional, a partir de fotografias aéreas digitalizadas e formando imagens anaglifo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 - Objetivo Geral**

Desenvolver a interpretação de estereopares de fotografias aéreas, utilizando visão estereoscópica de imagens anaglifo, em meio digital para aplicação na quantificação de habitações em assentamentos irregulares em diferentes épocas,

fazendo-se uma avaliação da ação antrópica e evolução da área no decorrer dos anos e suas consequências.

## **2.2 - Objetivos Específicos**

- Investigar “softwares” que conduzam a elaboração de imagens anaglifo a partir de aerofotos digitalizadas;
- Avaliar “softwares” livres ou de baixo custo para visualização tridimensional das fotografias aéreas digitalizadas e vetorização dos aspectos fotointerpretados;
- Desenvolver uma metodologia utilizando os programas avaliados aplicando-a em duas áreas urbanas com ocupações irregulares;
- Analisar, a partir dos resultados obtidos, a dinâmica de assentamentos irregulares utilizando a técnica de anaglifo.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 - Assentamentos Irregulares - Favela**

Ao longo dos tempos o termo favela tem apresentado várias mudanças, as quais acompanham quase sempre a evolução da situação sócio-econômica de seus moradores. A definição mais apropriada para favela, nos dias atuais, seria: assentamento habitacional espontâneo, localizado em área pública ou particular, de forma ilegal em relação à propriedade do solo e cujas edificações encontram-se em desacordo com as leis de uso e ocupação do solo, independentemente do número de unidades habitacionais existentes e das tipologias construtivas dos domicílios (ALMEIDA e ABIKO, 2000).

Uma das marcas mais salientes do insucesso do sistema econômico-social existente em nosso país são as favelas e, desde o surgimento das primeiras, sua população sempre foi, de alguma forma, marginalizada socialmente.

O baixo índice de atendimento à demanda habitacional de baixa renda tanto pode ser consequência da incapacidade de gerência das autoridades encarregadas, como da falta de recursos ou da não priorização das demandas pelo governo. Em qualquer dos casos para reverter este quadro de pobreza periférica ao pólo metropolitano é difícil, pois depende de políticas públicas eficientes para uma melhoria da renda, o que ocorre como consequência de uma melhor formação profissional e da existência de ofertas de emprego e renda.

Segundo SOUZA (2003), as favelas apresentam algumas características, mas nenhuma delas é tão específica quanto o seu *status jurídico* ilegal, na qualidade de ocupação de terras públicas ou privadas pertencentes a terceiros. Em uma favela existem vários níveis de pobreza, observados entre a própria população, como também entre outras favelas. Uma favela recente de periferia tende a ser mais pobre (Figura 1), na média, que uma antiga e consolidada (Figura 2) localizada nas imediações de bairros privilegiados. Encontramos também no interior das favelas

grandes e consolidadas, especialmente quando situadas em áreas valorizadas, diferentes níveis de pobreza.



Figura 1: Assentamento irregular recente, não consolidado. Bom Parto.  
Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198754 e y= 8931928



Figura 2: Assentamento irregular, consolidado. Bom Parto.  
Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198714 e y= 8932058

Os assentamentos destes tipos de ocupações são realizados sem uma preparação preliminar do terreno, onde não existe infra-estrutura urbana nem padronização de parcelamento e de ocupação dos lotes. O que determina o traçado urbano, caracterizado pela irregularidade, são as limitações impostas pelo meio, as necessidades de acessibilidade às edificações e as limitações técnicas da

comunidade. Essas características implicam em problemas com relação à dotação de infra-estrutura, trafegabilidade, etc., produzindo valores espaciais marcados pela variedade e singularidade dos ambientes (SCHULER et al., 2004).

Grande parte dos moradores de favelas, cortiços, vilas e demais assentamentos irregulares habitam de maneira precária em casebres cujas dimensões comprometem a vida em família. A renda insuficiente para sustentar a família ou a falta de emprego, junto a uma jornada de trabalho exaustiva, sem uma moradia confortável e adequada que dê condições do trabalhador descansar o corpo, provocam brigas e discussões familiares, afetando a todos os moradores da residência (CORDEIRO e SILVEIRA, 2004).

A moradia é uma necessidade básica do ser humano, sendo uma condição indispensável à produção de energia para o trabalho. Quando as condições da moradia são desfavoráveis ocorre uma diminuição no desempenho do trabalhador, pois é na sua moradia que o homem renova e repõe as suas energias, através do descanso, da alimentação e da sua higiene pessoal. Morar de maneira inadequada implica também em problemas de cunho socioeconômico. O aumento da violência nas cidades é um dos fatores do crescimento excludente das cidades brasileiras, onde uma grande parcela da população não tem acesso aos serviços de infra-estrutura urbana básica que lhe dêem uma vida com um pouco de dignidade.

O solo urbano, ao ser incrementado pelas determinações do planejamento urbano, passa a ter um valor comercial que exclui uma grande parte da população, de menor renda, da inserção legal na malha urbana (LIMA, 2001).

Por outro lado, os aspectos da ocupação do território, como o caso das ocupações irregulares que contribuem de forma negativa para a degradação de recursos naturais, estão ligados diretamente ao sucesso ou insucesso de políticas mais abrangentes.

Diante da impossibilidade de acesso ao mercado imobiliário formal, famílias inteiras de trabalhadores de baixa renda e sem qualificação são forçadas a ocuparem áreas impróprias e de risco, tais como terrenos alagáveis e encostas dos

morros, como única alternativa de habitar nas cidades. Dessa maneira, há um aumento do número de habitações irregulares caracterizadas pela concentração de uma população mal remunerada, sem infra-estrutura básica para o seu crescimento e por condições precárias de habitabilidade e salubridade.

Geralmente essas habitações irregulares são autoconstruídas, ou seja, são habitações construídas pelo próprio morador e sua família, nas horas de folga do seu trabalho, comumente nos finais de semana. É a forma mais comum de obtenção habitacional pela população de baixa renda nas cidades brasileiras e acarreta em uma série de problemas, pois as edificações não têm nenhum acompanhamento profissional na sua construção.

Dependendo do seu local de implantação, a construção irregular e improvisada submete os seus ocupantes a situações de grandes riscos, como incêndios e desabamentos. Entretanto, algumas vantagens são observadas no processo de autoconstrução se aliado ao acompanhamento técnico, como a melhora na qualidade dos espaços, pois o usuário desenvolve a sua habitação de acordo com as suas exigências funcionais e econômicas tendo, portanto, uma maior consciência do espaço construído, apropriando-se com mais facilidade (CORDEIRO e SILVEIRA, 2004).

Por outro lado, a impotência do Estado em resolver a questão dos assentamentos irregulares prejudica não só uma parte da sociedade, mas ela como um todo, pois ao ocuparem as diferentes áreas urbanas, acabam provocando alterações em relação ao uso pretendido, penalizando tanto o meio ambiente quanto a população moradora da cidade em geral (ALMEIDA e ABIKO, 2000).

De acordo com estudos realizados nas cidades brasileiras, constatou-se que elas cresceram desordenadamente, com carência de recursos e serviços públicos. As redes de infra-estrutura quando existentes estão obsoletas. Nos espaços urbanos, as sérias agressões ao meio ambiente apontam para a necessidade de mudanças no processo de decisão, com integração de variáveis sociais, ambientais, de desenvolvimento econômico e de qualidade do ambiente urbano. Deve-se procurar novos modelos de políticas públicas urbanas que aliem o espaço de

crescimento econômico com ações firmes para a obtenção de condições dignas de vida para a população e redução nas taxas de degradação ambiental (ROSSETTO et al, 2004).

A exclusão territorial em nossas cidades é bastante acentuada. Segundo a pesquisa do IBGE 2000 em quase 100% das cidades com mais de 500 mil habitantes existem grandes contingentes de assentamentos irregulares com grandes concentrações de favelas e também, ainda que em menor quantidade, nas cidades médias e pequenas com até 20 mil habitantes (Ministério das Cidades, 2004).

Com a falta de apoio dos sistemas financeiros formais, os assentamentos irregulares foram aumentando em terrenos inadequados, como as encostas e as áreas alagáveis, conhecidas como áreas de risco e passíveis de tragédias em períodos chuvosos.

Os problemas urbanos não se limitam às irregularidades. Aproximadamente 60 milhões de brasileiros, moradores em 9,6 milhões de domicílios urbanos, não possuem coleta de esgoto, uma deficiência encontrada principalmente nos bolsões de pobreza das grandes metrópoles, assim como nas cidades pequenas com até 20 mil habitantes e nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. Com relação ao esgoto coletado também encontramos grande deficiência, pois quase 75% dos esgotos sanitários coletados nas cidades são despejados “in natura”, poluindo os cursos d’ água e as praias (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2004).

Além disso, como exposto pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, cerca de 15 milhões de pessoas (3,4 milhões de habitações) não tem acesso à água encanada e uma parcela da população que possui não tem água diariamente e nem água potável com qualidade. Um outro problema é a coleta de lixo: cerca de 16 milhões de brasileiros não são atendidos pelo serviço, em grande parte pela falta de infra-estrutura viária nas localidades.

### **3.2 - Caracterização Geral do Município de Maceió**

Maceió, capital de Alagoas, está localizada no Nordeste brasileiro, entre o Oceano Atlântico, a margem nordeste da lagoa Mundaú e o município de Paripueira,

com coordenadas geográficas aproximadas de  $9^{\circ} 39'57''$  S e de  $35^{\circ} 44'07''$  WGr de latitude e de longitude, respectivamente (Figura 3). Possui uma superfície de  $508 \text{ km}^2$ , sendo  $200 \text{ km}^2$  de superfície urbanizada, além de uma grande quantidade de riachos, rios e lagoas cortando a zona urbana.

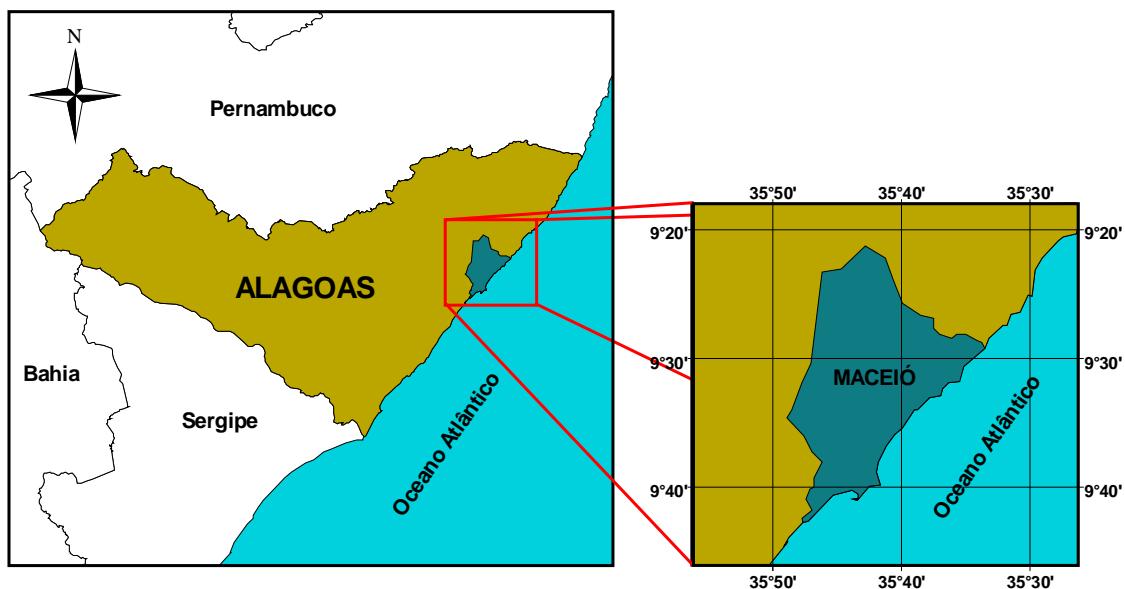


Figura 3: Localização do Município de Maceió/AL

Com o lançamento de esgotos domésticos, todos esses recursos hídricos estão comprometidos. Apenas 23% da população de Maceió possuem rede de esgotos. Portanto isso acarreta poluição dos riachos e rios em torno dos quais vivem estas comunidades, como também das praias litorâneas de Maceió, visto que os riachos ali deságuam. Com relação aos dois sistemas de coleta de esgotos destinados a 23% da população existem um emissário submarino e um sistema de disposição do Riacho Pratagy. Por causa das falhas de manutenção funcionam precariamente, o que ocasiona o lançamento *in natura* do esgoto. Verifica-se ainda um outro fator de poluição hídrica, a ocupação de áreas inundáveis por favelas, como ocorre na Lagoa Mundaú (LIMA, 2003). A Figura 4 mostra um exemplo disto.



Figura 4: Assentamento irregular em área alagável – “Lagoa Mundaú”. Bom Parto. Maceió/AL, março de 2005. Coordenadas x= 198582 e y= 8931552

Segundo LIMA (2003), o solo de Maceió está sendo degradado devido a fatores como a ausência de proteção vegetal, decorrente da ocupação irregular em encostas (Figura 5) e da coleta deficiente dos resíduos sólidos no município, apesar da existência de empresas contratadas para a coleta do lixo urbano.

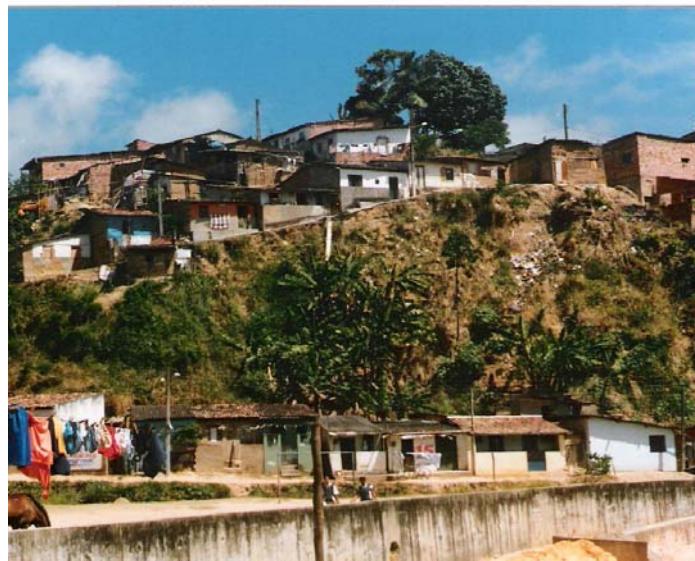


Figura 5: Assentamento irregular em área de encosta – “Vale do Reginaldo”. Feitosa. Maceió/AL, novembro de 2004. Coordenadas x= 200510 e y= 8932322

Apesar de possuir um plano diretor elaborado com base nos Códigos de Urbanismo, Edificações e Posturas sancionados em 1985, Maceió não possui um

plano diretor de acordo com a Constituição Federal, de modo que os referidos códigos não constituem uma lei específica e ordenada que disponha acerca do ordenamento do crescimento da cidade e dos interesses da comunidade.

Assim, o plano diretor, composto por legislações que disciplinariam o uso do solo urbano de Maceió, não controla, na realidade, essa ocupação de forma a evitar a degradação de áreas verdes que deveriam ser preservadas desse uso desordenado, a exemplo da ocupação por favelas.

A ineficiência do poder público acarreta na invasão de áreas verdes, devido à insuficiência de programas de habitação popular para comunidades de baixa renda, junto com a fragilidade da estrutura de fiscalização da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Maceió (LIMA, 2003).

Dessa forma, o meio ambiente natural de Maceió vem sendo degradado de diversas maneiras, o que tem se agravado pelo alto índice de exclusão social no Estado, uma vez que há interferência direta nesse espaço natural por pessoas que não têm acesso a serviços públicos essenciais de saneamento, educação e habitação, vivendo em áreas de encostas, às margens de rios e lagoas.

Segundo ALENCAR (2003), a cidade de Maceió sofreu, nos últimos trinta anos, um crescimento populacional acelerado como reflexo do intenso fluxo migratório campo-cidade, em decorrência do fechamento de unidades agro-industriais originadas da crise da agroindústria canavieira, tendo como consequência o surgimento e adensamento de aglomerados de baixo padrão habitacional ocupados, em sua maior parte, por famílias sem fonte de renda fixa, que desenvolvem atividades que se caracterizam pela baixa qualificação e rendimentos.

A cidade de Maceió, em 1960, possuía 168.055 habitantes; de acordo com o Censo do IBGE, realizado em 2000, sua população atingiu 797.759 habitantes, observando-se, então, um aumento populacional de 4,74 vezes, nesses 40 anos. Por outro lado verificou-se que no ano de 2000, o município de Maceió tinha 99,75% do total de habitantes residindo na área urbana.

E, ainda segundo ALENCAR (op. cit.), de acordo com informações da Coordenadoria das Regiões Administrativas da Prefeitura Municipal de Maceió, existe uma estimativa de 286.908 pessoas residindo em grotas, favelas e conjuntos na situação de exclusão social, representando, aproximadamente, 36% da população urbana.

### **3.3 - Fotogrametria**

Fotogrametria é definida pela American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) como “a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos”.

Duas áreas distintas estão incluídas na definição de fotogrametria: fotogrametria métrica e fotogrametria interpretativa. A fotogrametria métrica consiste em obter medidas precisas em fotografias e a localização de pontos, possibilitando determinar distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações, tamanhos e formas de objetos. A aplicação mais comum da fotogrametria métrica é a preparação de mapas planimétricos e topográficos de fotografias e a produção de ortofotos digitais de fotografias escaneadas (WOLF e DEWITT, 2000).

Na fotogrametria interpretativa é realizado o reconhecimento e a identificação de objetos através de análises cuidadosas e sistemáticas.

#### **3.3.1 - Objetivo e Classificação**

O objetivo principal da fotogrametria é a reconstrução de um espaço tridimensional, denominado espaço objeto, a partir de imagens bidimensionais, chamadas espaço imagem, ou seja, é uma transformação entre sistemas.

Um sistema bidimensional, denominado sistema fotográfico e um sistema tridimensional que seria o próprio espaço objeto. O sistema bidimensional é próprio da câmara e o sistema tridimensional representa o sistema de coordenadas do

terreno sobre o qual se obtém as imagens, podendo ser representado em coordenadas cartesianas (X, Y, Z), coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altura ou altitude) ou planimétricas (E,N e altitude). No entanto, pode-se criar um sistema de referência próprio, de origem arbitrária para objetos pequenos ou monumentos (BRITO e COELHO, 2002).

Um conjunto de pontos de controle é necessário para que a transformação seja implementada.

A qualidade dos resultados obtidos será em função do número de pontos de controle, porém deve-se também avaliar a viabilidade econômica na obtenção de vários pontos de controle. Em consequência disso, foram desenvolvidos alguns processos como, por exemplo, a aerotriangulação, para que a partir de alguns pontos de controle, possam ser gerados uma infinidade de outros a precisões aceitáveis.

Por espaço objeto entende-se qualquer elemento, ou conjunto de elementos tridimensionais, a serem imageados.

Devido ao rápido desenvolvimento tecnológico da fotogrametria e suas múltiplas aplicações sentiu-se a necessidade de dividi-la em grupos segundo o tipo e posição espacial da câmara e a finalidade da fotogrametria, classificando-a em: fotogrametria terrestre, fotogrametria aérea (aerofotogrametria) e fotogrametria orbital. A aerofotogrametria é a mais envolvida com a geomática; a fotogrametria terrestre, por outro lado tem várias aplicações, como na arquitetura, controle industrial, engenharia civil e artes plásticas. Já a fotogrametria orbital é uma tendência para o futuro, mas já está sendo empregada atualmente em escala crescente (BRITO e COELHO, 2002).

A quantidade de imagens envolvidas é variável, porém é necessário pelo menos duas, tomadas de ângulos diferentes, com sobreposição, de modo a obter a visão estereoscópica (tridimensional), possibilitando uma maior acurácia na restituição tridimensional do espaço objeto.

### **3.3.2 - Histórico da Fotogrametria**

A descoberta da fotografia foi um marco inicial para o seu surgimento, mas na verdade as áreas matemáticas, com as quais os profissionais lidam desde o início, são do mesmo modo representativas.

Um dos primeiros estudos geométricos sobre perspectivas centrais foi realizado por Leonardo da Vinci em meados de 1492. Em seguida podemos citar Carpeller que no ano de 1726 realizou levantamentos preliminares dos acidentes geográficos, através de perspectivas centrais desenhadas a mão (ANDRADE, 1998).

Segundo ANDRADE (1998), em 1759 Lambert, um matemático alemão, publicou o livro “*Freie Perspektive*” (livro de perspectiva), onde foram desenvolvidos os princípios matemáticos de uma imagem perspectiva, utilizando recessão espacial para encontrar pontos no espaço em que é feito o desenho.

Em consequência dos trabalhos pioneiros de Nicéphore Niépce, em 1826 e Louis- Jacques Daguerre, em 1839 com a descoberta da fotografia, apareceram propostas, como a do francês Arago, em 1840, com o objetivo de utilizar em levantamentos topográficos, o que não se concretizou por algum tempo (WOLF e DEWITT, 2000).

Os primeiros princípios e técnicas fotogramétricas foram desenvolvidos por Aimé Laussedat; em 1851 construiu o primeiro instrumento que é atualmente o fototeodolito (teodolito e câmara fotográfica), apropriado para levantamentos de mapas através de fotografias terrestres e estabeleceu também o primeiro método de restituição. Foi seguido por trabalhos como a documentação de edifícios e prédios históricos, como os de Meydenbauer e Ernest Mach (BRITO e COELHO, 2002).

Em 1888, o capitão Eduard Deville escreveu o primeiro tratado sobre métodos de levantamentos fotográficos (PAREDES, 1986).

De acordo com BRITO e COELHO (2002), o primeiro livro sobre fotogrametria foi lançado em 1889, denominado *Manual de Fotogrametria*, do alemão Carl Koope.

Theodore Sheimpflug em 1898, desenvolveu a teoria do duplo projetor, onde uma imagem direta das projetadas era oferecida. Posteriormente, este apresentou a condição de Sheimpflug, que relata que a interseção do plano do negativo, do plano do aparelho de retificação e do plano da objetiva é uma reta (ROCHA et al, 2003).

### **3.3.2.1 – Fotogrametria Analógica**

Em 1901 foi construído um instrumento denominado “estéreo-comparador” pelo alemão Carl Pullfrich; pressupunha observações de pares de fotografias tomadas de diferentes estações e superpostas e, através dele, foi possível facilitar o trabalho dos usuários devido à substituição dos cálculos matemáticos por aparelhos óptico-mecânicos.

O processo de utilização de fotografias para mapeamento de extensas superfícies teve seu início em 1911, quando Theodore Sheimpflug criou o método de retificação de fotografias aéreas, utilizando retificadores analógicos. Posteriormente foram substituídos por restituidores analógicos que permitiam a visão estereoscópica com a utilização de um par de fotografias.

A partir do uso de vários desses aparelhos foi possível a obtenção de cartas topográficas a precisões surpreendentes. Para trabalhar com estes aparelhos foram necessários treinamentos específicos e aprofundados para o seu manuseio aparecendo então a figura do técnico em fotogrametria.

Para facilitar o trabalho no campo foi introduzido o processo de aerotriangulação que permite o adensamento dos pontos de campo no laboratório.

Juntamente com estes desenvolvimentos apareceram as câmaras métricas que dispunham de mecanismos que imprimiam nas fotos informações referentes ao sistema de coordenadas de imagem, aumentando a precisão das medições efetuadas. As marcas fiduciais que estão em todas as fotos são um exemplo; através delas as coordenadas no sistema fotográfico podem ser determinadas em laboratório.

Neste período foram criadas várias associações e entidades como a ISP (International Society for Photogrammetry), atualmente ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing), fundada em 1910 por E. Polezal na Áustria.

### **3.3.2.2 - Fotogrametria Analítica**

A fotogrametria analítica surgiu como um desenvolvimento natural das facilidades computacionais, pois as grandes quantidades de cálculos necessários, substituídos pelos aparelhos mecânicos, passaram a ser executados no computador.

Em 1953 foi desenvolvido o primeiro estudo nessa área, pelo Dr. Helmet Schmidt dos Estados Unidos. Neste foram feitos o tratamento matricial, as soluções por mínimos quadrados, a solução simultânea com a utilização de múltiplas imagens e a análise da propagação dos erros.

O conceito de restituidor analítico foi desenvolvido pelo finlandês Uki Helava, em 1957, onde foram utilizados servo-mecanismos para medir as coordenadas das marcas fiduciais nas imagens. Todos os outros cálculos eram realizados por computadores o que simplificava o processo final.

No congresso da ISP (atual ISPRS) em 1976, foram mostrados os primeiros restituidores analíticos. Estes aparelhos revolucionaram o conceito de fotogrametria e a partir daí foi permitido a aerotriangulação de blocos cada vez maiores e a utilização de câmaras não métricas.

### **3.3.2.3 - Fotogrametria Digital**

A fotogrametria digital é a descrição genérica para a nova forma de fotogrametria, baseada em imagens digitais, ao contrário da fotogrametria convencional, baseada em imagens de filmes (cópias em papel ou transparências -

diapositivos). Os instrumentos fotogramétricos são formados por três gerações: a primeira analógica, a segunda analítica e a terceira o sistema digital (ISM, 2000).

Segundo SILVA (2004), a fotogrametria digital iniciou no mercado no começo dos anos 90 e, desde então, várias inovações têm sido introduzidas à fotogrametria, principalmente a partir do ano de 2000, com a capacidade de armazenamento da ordem de gigabytes na informática, o surgimento de placas de vídeo de alto desempenho e da popularização dos *scanners* de alta resolução geométrica, o que enfatiza as vantagens da fotogrametria digital.

Em 1988 foi comercializado o primeiro instrumento completamente digital, após vários estudos e desenvolvimentos conceituais de estéreo plotadores de fotogrametria digital (GÜLCH, 1996).

No período de 1988 a 1992, a ISPRS definiu o sistema fotogramétrico como *hardware* e *software* que derivam produtos fotogramétricos de imagens digitais usando tecnologias manuais e automatizadas. As técnicas manuais e automáticas foram um dos principais assuntos para pesquisas e desenvolvimento em 1988 e, mais adiante, uma grande variedade de estações de trabalho de fotogrametria digital surgiu no mercado (GÜLCH, 1996).

No congresso da ISPRS, em 1988 em Kyoto, a empresa Kern expôs um sistema de visualização estéreo, reforçando a especulação que a mudança tecnológica era iminente.

Em 1989, Dowman descreveu o sistema para mapear dados SPOT. As estações de trabalho das imagens digitais oferecem uma ligação direta da fotogrametria com o sensoriamento remoto. Devido à flexibilidade do sistema, diferentes modelos de sensores podem ser introduzidos e a mesma plataforma pode ser usada para correção da imagem, extração do MDT e para criação de um mapa de linhas de características culturais e físicas.

Na assembléia da ASPRS, em Denver, Colorado, em 1990 foi exibida a primeira imagem escanerizada, mostrando, assim que a era digital havia realmente

começado. Na convenção de Baltimore (ASPRS), de 1991, foram introduzidos os sistemas para produção de ortofoto digital por Galileu; e Helava mostrou um protótipo de estação de trabalho estéreo (ISM, 2000).

No congresso da ISPRS, em 1992, foram introduzidas várias estações de trabalho estéreo com adicionais comerciais. A exibição desses novos sistemas digitais (e um grande número de *scanners* comerciais) foi proeminente e dominou a exposição.

A partir da Convenção de Charlotte de 1995, da ASPRS, ficou claro que a era digital havia chegado e pela primeira vez na história deixavam de se mostrar plotadores estéreo analíticos. Foi um período de expectativa, onde alguns insistiam que a nova tecnologia estava pronta para uso de produção, e outros acreditavam que o estéreo que vem dos diapositivos causava cansaço ocular (ISM, 2000).

No entanto, a rápida comercialização da fotogrametria digital surpreendeu a comunidade acadêmica cujas publicações de pesquisa são as primeiras a anunciar os desenvolvimentos das novas tecnologias.

A tarefa da fotogrametria é extrair informações de imagens incluindo informações geométricas e semânticas. Förstner (1991), apud GÜLCH (1996), apresentou algumas soluções algorítmicas para a extração de características, raciocínio geométrico e avaliação de desempenho, conduzindo da medida pura para a semântica. As coordenadas são convertidas sob a orientação do operador utilizando o *mouse*.

No Brasil, com a consolidação da fotogrametria digital, começaram novas discussões técnicas abrangendo o uso de sensores digitais, os vôos apoiados por GPS, à geração automática de MDT e, recentemente, a restituição combinada para a coleta de dados para Sistemas de Informações Geográficas, o melhoramento do fluxo de produção e a normalização para garantir a qualidade esperada pelos usuários a partir de um sistema de controle de qualidade aplicado à linha de produção.

A fotogrametria digital tem como principal característica a sua capacidade de utilizar imagens digitais ao invés de imagens de películas. A obtenção desta imagem digital é realizada por câmaras digitais e *scanners*.

Novas funções foram atribuídas à fotogrametria digital quando comparada às demais a partir dessa característica e citadas por SILVA (2004):

- Recursos para processamento de imagens, como a correlação de imagens, funções de contraste, brilho, nitidez, equalização e análises multi-espectrais;
- Geração automática de Modelos Digitais de Terrenos;
- Medição automática de pontos fotogramétricos no processo de orientação e de aerotriangulação;
- Facilidade de seleção, identificação e remediação de pontos fotogramétricos e dos pontos de controle;
- Flexibilidade de visualização e de medição simultânea de conjuntos de imagens;
- Ausência do processamento de diapositivos para o uso nos restituídores;
- Conexão, em tempo real, do ambiente do estéreo-modelo com os sistemas CAD e, mais recentemente, também com o sistema GIS;
- Superposição, em tempo real, das feições coletadas sobre os estéreo-modelos (imagens);
- Geração de ortofotos e mosaicos digitais;
- Criação de vistas em perspectivas do modelo;
- Mapeamento a partir de imagens de outros sensores, como SPOT, LANDSAT, JERS, IKONOS, QUICKBIRD, e outros;
- Detecção automática de feições alteradas do terreno a partir de uma mesma cena fotografada em diferentes períodos.

Uma outra característica importante é a facilidade do uso da tecnologia da fotogrametria para setores técnicos, devido à redução no custo dos equipamentos e da existência de processos automatizados, tornando-os usuários potenciais.

O processo fotogramétrico começa com a aquisição da imagem digital e, a partir daí, todo o trabalho é realizado numa estação fotogramétrica digital que é considerada uma combinação de hardware e software. Um único computador pode efetuar a aerotriangulação, a restituição, a geração de Modelos Digitais do Terreno e ortofotos (SILVA, 2004).

A estação de trabalho da fotogrametria de imagens digitais é uma plataforma satisfatória para a ligação de tarefas centrais de fotogrametria e a visão no computador. Esta permite o armazenamento e acesso aos modelos, para modelos de imagem comprehensivos para análise e interpretação. Hoje, as estações de trabalho de fotogrametria digital pertencem à segunda geração, com funcionalidade estendida, arquitetura aberta e desempenho aumentado (GÜLCH, 1996).

Os componentes essenciais de uma estação de trabalho são: o computador, banco de dados, a interação e automatização (Figura 6). Estes, em conjunto com os periféricos e os dispositivos de entrada e saída, formam um sistema de fotogrametria digital.

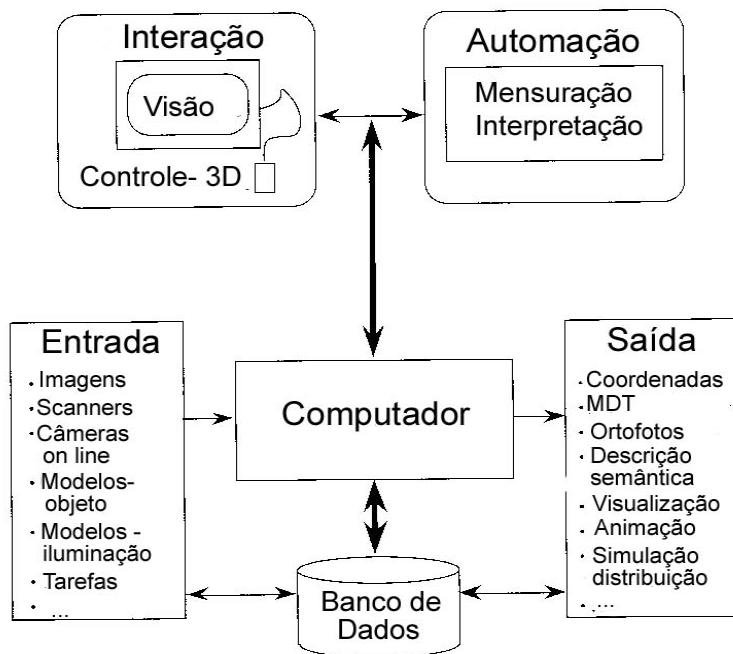


Figura 6: Componentes fundamentais de uma estação de trabalho da fotogrametria de imagens digitais, e a relação dos dispositivos de entrada e saída, ferramentas e produtos

Fonte: Digital Photogrammetry - An Addendum to the Manual of Photogrammetry, 1996.

O computador é o elemento principal de uma estação de trabalho da fotogrametria digital. Todos os softwares de fundamentos e aplicações, a interface do usuário, a transferência dos dados e a comunicação são controlados por uma ou mais unidades do processador. Alguns sistemas são baseados em processadores paralelos para acelerar as operações.

O fator determinante para o desempenho da estação de trabalho é a velocidade da unidade de processamento central (CPU) e os dados transferidos do disco rígido à CPU e da CPU para a interface do usuário em exibição (GÜLCH, 1996).

### **3.3.2.3.1 Tecnologias Disponíveis em um Sistema Fotogramétrico Digital**

As tecnologias disponíveis no sistema fotogramétrico digital podem ser enumeradas como orientação automática dos modelos, geração automática de modelos digitais do terreno, geração automática de ortofotos e mosaicos e restituição digital. Elas são mostradas a seguir.

#### **3.3.2.3.1.1 Orientação Automática dos Modelos**

O processo de orientação interior na fotogrametria digital funciona no modo automático ou semi-automático (auxiliado por operador). A orientação automática é realizada com o posicionamento e medição automática do 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. No caso da orientação semi-automática, o operador mede manualmente duas marcas fiduciais e, posteriormente, comanda a medida das marcas fiduciais restantes automaticamente (SILVA, 2004).

A orientação exterior é geralmente efetuada através do processo de aerotriangulação em bloco, devido à facilidade que o sistema digital proporciona, tais como:

- Capacidade de transferência de pontos e de medição diretamente da imagem digital;
- Capacidade para unir e aerotriangular grandes blocos de imagens e faixas numa única operação;
- Com o uso de técnicas de correlação tem-se a possibilidade de efetuar a medição automática;
- Através da resseção espacial (usando somente os pontos fotogramétricos como parâmetros de entrada) pode-se obter os parâmetros da câmara.

Na aerotriangulação digital os pontos fotogramétricos de imagens originadas de diferentes sensores ou câmaras podem ser triangulados e ajustados, ou seja, é possível a triangulação em bloco a partir de imagens de satélites juntamente com as imagens aerofotogramétricas. O sistema permite ainda a identificação e medição automática dos pontos fotogramétricos reduzindo o procedimento cansativo de selecionar e medir as coordenadas da imagem dos pontos fotogramétricos. Na triangulação digital é realizada também a detecção automática de erros grosseiros (SILVA, 2004).

Caso os resultados não sejam satisfatórios, o operador pode adicionar ou remover pontos a partir de janelas de visualização onde são exibidos os pontos medidos e o que se deseja remedir. A visualização do ponto sobre o modelo é feita clicando sobre o ponto com o cursor do mouse. Este processo de busca automática de pontos é conhecido como medição interativa de pontos.

### **3.3.2.3.1.2 Geração automática de Modelos Digitais do Terreno**

O Modelo Digital do Terreno (MDT) de um bloco de imagens orientadas pode ser gerado automaticamente em uma única operação, através dos sistemas fotogramétricos digitais. Os principais métodos de correlação automática atuais são baseados em algoritmos de correlação, conhecidos em inglês como “*matching*”.

A produtividade tem sido um fator importante da geração automática de MDT; esta é expressa em termos de aumento de número de pontos medidos e coletados por segundos, pois em alguns sistemas pode-se medir de 19000 a 25000 pontos por segundo, dependendo do espaçamento entre eles e do nível de precisão necessitado.

Em alguns casos a qualidade do MDT gerado automaticamente é maior que o padrão de precisão dos processos usuais. No entanto, o processo automático é ineficiente para casos de áreas de alta densidade urbana, com corpos d’água e vegetação densa, sendo então necessárias edições interativas semi-automáticas ou

manuais. No caso de áreas rurais o procedimento é utilizado sem restrições (SILVA, 2004).

### **3.3.2.3.1.2 - Geração Automática de Ortofotos e Mosaicos**

Uma estação fotogramétrica digital realiza o processo de produção de ortofotos de maneira bastante funcional e rápida com poucos segundos por megabyte. É necessário apenas que as fotografias estejam orientadas e que o MDT da área a ser representada tenha sido gerado. A partir daí a geração da nova imagem retificada é feita automaticamente sem a intervenção do operador.

Na geração dos mosaicos utilizam-se algoritmos especiais tais como detectores de linhas de corte e equalizadores de imagem para complementação do trabalho, gerando o mosaico formado por ortofotos individuais sem as junções descontínuas e visualmente suavizadas.

### **3.3.2.3.1.4 - Restituição Digital**

A possibilidade de visualização das feições cartográficas sobre o estéreo-modelo é a maior vantagem da restituição digital, além da interface direta “on line” com os sistemas CAD e recentemente SIGs.

A superposição gráfica dos elementos sobre o modelo estereoscópico digital é a condição facilitadora da localização e retorno na área de trabalho, reduzindo os erros de omissão e de duplicidade dos elementos na fase de restituição, como também os erros de atributos gráficos.

A restituição fotogramétrica é integrada a um Sistema de Informação Geográfica através da capacidade do sistema fotogramétrico digital de permitir que a restituição seja realizada com a pré-definição de uma topologia (SILVA, 2004).

### 3.3.2.3.2 - Imagem Digital

Uma imagem digital pode ser considerada uma matriz de linhas (x) e colunas (y) que correspondem a um ponto na imagem. É uma matriz dos valores dos elementos que identificam os níveis de cinza de cada ponto (GONZALEZ e WOODS, 1993).

As imagens são constituídas por um arranjo de elementos no formato de uma malha ou grid. Cada cela desse grid é chamada de *pixel* e possui a sua localização definida por um sistema de coordenadas do tipo linhas (x) e colunas (y). O *pixel* representa uma área com as mesmas dimensões na superfície da terra (CRÓSTA, 1992).

Dessa forma uma imagem digital pode ser definida como uma matriz de *pixels* e um *pixel* pode representar tons de cinza por associação com dígitos, onde cada número pode representar um tom de cinza, ou por cores. Em uma representação de oito bits ( 1 byte) é possível se obter para cada *pixel* uma variação de 256 tons de cinza onde o 0 (zero) corresponde ao preto e o 255 ao branco (ANDRADE, 1998).

Uma imagem digital pode ser obtida diretamente por um sensor ou através de uma imagem analógica digitalizada por um *scanner*. Nesse processo a imagem analógica é transformada em uma matriz com o número de linhas e colunas e o tamanho de cada cela pré- definidos. Cada cela recebe um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original.

Imagens digitais são produzidas através de um processo referente a amostragens discretas, que tem duas características fundamentais: resolução geométrica e resolução radiométrica. A resolução geométrica refere-se ao tamanho físico de um *pixel* individual, com tamanhos de *pixels* menores correspondendo à resolução geométrica mais alta. Esta é importante para o reconhecimento de características em fotografias digitais.

A resolução radiométrica é obtida pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza que expressam os elementos adquiridos pelo sensor.

Quanto maior o número de níveis maior é a resolução radiométrica. O número de níveis é expresso em função do número de dígitos binários (“bits”) cujo valor é sempre uma potência do número 2, dessa maneira, “6 bits” representa  $2^6$  igual a 64 níveis.

O sistema visual humano não consegue perceber mais que trinta diferentes tons de cinza numa imagem pois possui pouca sensibilidade a variações em intensidade, no entanto o computador consegue diferenciar qualquer quantidade de níveis, sendo portanto importante a obtenção de alta resolução radiométrica.

O uso de cores em processamento de imagens coloridas é motivado pela análise de imagens automatizadas, onde a cor geralmente simplifica a identificação do objeto e a extração de uma cena, e pela análise de imagens desempenhada por seres humanos, pois o olho humano pode discernir milhares de tons e intensidades de cores, comparado a apenas duas dúzias de tons de cinza.

Para a exibição em cores, no computador, são necessárias cores aditivas como o verde, o azul e o vermelho em virtude da tela ser preta. A cor de cada *pixel* pode ser representada por coordenadas em três dimensões, que são conhecidas como espaço colorido RGB (Red, Green e Blue). Os números digitais de cada canal podem ser representados com um *byte* de 8 *bits*, resultando para a combinação 24 *bits*, e a cor do *pixel* é representada por um valor de azul, um valor de verde e um valor de vermelho podendo cada um percorrer de 0 a 255. Se a imagem for pobre em termos das cores que apresenta, com apenas um *byte* pode-se representar as suas cores, adotando o conceito de palheta, que corresponde a um determinado número de combinações de cores aditivas (RGB), realizada de maneira arbitrária que pode ser otimizada para uma dada imagem, tendo como exemplo 256 cores (ANDRADE, 1998).

O tratamento das imagens pode ser realizado através de fórmulas matemáticas, devido às cores serem representadas por dígitos associados a uma determinada posição. A submissão de imagens digitais à matemática torna o manejo dessas imagens ilimitado, potencializando a sua utilização tecnológica (ANDRADE, 1998).

### 3.3.2.3.3 – Georreferenciamento

Na fotogrametria digital tem-se um ponto importante denominado georreferenciamento.

Antes de abordarmos o georreferenciamento, faz-se necessário explicar o conceito de registro. O registro de uma imagem corresponde a uma relação de coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas de um sistema de referência, através de uma transformação geométrica, geralmente transformações polinomiais de primeiro e segundo graus.

Segundo FEDOROV (2002), registro de imagens é um processo de casamento de duas imagens, que possuem uma área em comum, de forma que os pontos com coordenadas correspondem entre si nas duas imagens.

Georreferenciamento é o registro executado quando as coordenadas de referência modelam a superfície terrestre como por exemplo: latitude, longitude e coordenadas UTM. O georreferenciamento pode ser realizado em vários objetos, como em uma carta digitalizada matricialmente que apresenta um sistema de coordenadas planas definidas pela linha e pela coluna dos *pixels*, ou em dados originados por uma mesa digitalizadora onde o sistema de coordenadas considerado é o da própria mesa (BRITO e COELHO, 2002).

Os parâmetros criados no georreferenciamento, como em toda transformação, permitem, a partir da leitura de coordenadas do *pixel* da imagem, adquirir as coordenadas correspondentes a aquele ponto no terreno. Pode-se utilizar vários modelos, no entanto o mais comum é a transformação afim com seis parâmetros, que considera o sistema inicial, neste caso, o sistema da imagem digital.

Para a obtenção de coordenadas tridimensionais a partir de um sistema bidimensional têm-se dificuldades naturais inerentes a esse processo; no entanto, no caso de um registro entre coordenadas planas com outro tipo de coordenadas planas (mesa e carta), estes problemas são menos visíveis. São necessários pelo menos três pontos de controle e, para que tenham precisão adequada, recomenda-

se um número maior, ou seja, uma redundância de pontos (BRITO e COELHO, 2002).

Geralmente o georreferenciamento está associado a uma reamostragem. A reamostragem é o processo que envolve a interpolação dos valores de cinza das locações de *pixels* na imagem original não corrigida.

Qualquer alteração na geometria de uma imagem digital implica na reamostragem de todos os *pixels* da imagem nova.

Segundo ANDRADE (1998), um processo de reamostragem é necessário, pois não existe correspondência biunívoca entre os *pixels* da imagem retificada e os da imagem original. O grande problema da reamostragem é a determinação exata do tom de cinza a ser destinado aos *pixels* da nova imagem.

De acordo com o exposto, pode-se dizer que georreferenciamento é uma adequação entre sistemas de coordenadas, não possuindo a precisão de métodos fotogramétricos que operam na reconstrução dos feixes perspectivos na tomada de cada uma das imagens. No entanto, pode ser aplicado em imagens que não têm grandes deslocamentos devido ao relevo e em sistemas de características de câmara desconhecida, sendo portanto bastante útil em processos rápidos, em detrimento da precisão final. Para exemplificar tem-se as aplicações na atualização cartográfica e na elaboração de mapas temáticos.

Tendo em vista que as fotografias aéreas são imagens obtidas por sensores remotos e apresentam uma série de distorções espaciais causadas no processo de sua formação pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (aeronave), deve-se realizar o registro nas fotografias a serem utilizadas.

Para a realização do registro, é necessário:

- A escolha dos pontos de controle identificados nas fotografias e na base cartográfica de onde foram obtidas as coordenadas de referência;

- A definição da equação de mapeamento – equação polinomial de primeiro ou segundo grau;
- A definição do processo de reamostragem – interpolação dos *pixels* por vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica.

Para a transformação polinomial de primeiro grau é necessária a seleção de quatro pontos de controle, e para a de segundo grau são seis, que devem ser bem escolhidos para que se obtenha um bom resultado. Após a realização do registro obtém-se o erro médio quadrático que é uma medida do desvio dos valores calculados em relação aos valores originais e é estimado tomando-se uma amostra dos valores calculados e comparando-a com seus valores reais.

O processo de reamostragem envolve a interpolação dos valores de cinza das locações de *pixels* na imagem original não corrigida e pode ser realizado através dos métodos do vizinho mais próximo, interpolação bilinear ou convolução cúbica (ANDRADE, 1998).

O método do vizinho mais próximo é um dos mais simples. Consiste em atribuir o valor do nível de cinza de determinado *pixel* da imagem reamostrada ao *pixel* da imagem original que estiver mais próxima. Este método possui a vantagem do seu processamento ser mais rápido e simples, além de evitar alterações nos valores de brilho dos *pixels* que formam a imagem original. No entanto, pode ocorrer uma aparência de disjunção na imagem de saída devido ao deslocamento espacial sofrido pelas feições existentes na imagem de saída.

No método da interpolação bilinear o valor do nível de cinza é determinado a partir do valor médio dos quatro *pixels* que são mais próximos da imagem inicial, constituindo-se na visualização de duas interpolações lineares.

Segundo RICHARDS (1986), in ARRUDA (2002), este processo de interpolação produz uma aparência de homogeneização na imagem reamostrada, mas poderão ocorrer problemas nas análises posteriores dos dados, pelo fato do valor de brilho da imagem original ser alterado, sendo então recomendada uma classificação da imagem antes da reamostragem.

Na reamostragem por convolução cúbica o *pixel* reamostrado tem por base uma vizinhança de nove *pixels*. Este método ao contrário do método do vizinho mais próximo, evita a aparência de desarticulação e resulta em uma ligeira suavização na imagem de saída, alterando o nível de brilho da imagem original (ARRUDA, 2002).

### 3.3.3 - Filmes Fotográficos

De acordo com SCHULER (1995), os filmes fotográficos são detectores capazes de registrar, em função da quantidade de radiação eletromagnética ou exposição que recebem, as imagens de objetos situados à frente de uma câmara escura, equipada com um sistema ótico, composto por uma ou mais lentes. Esses detectores são constituídos, basicamente, por uma emulsão simples (Figura 7) ou complexa (Figura 8), sensível à luz, sobre uma base de acetato de celulose ou poliéster; sob esta, existe uma camada anti-halo ou anti-reflexiva, para absorver alguma radiação que passe por ela, evitando sua reflexão, que sensibilizaria, novamente, a emulsão.

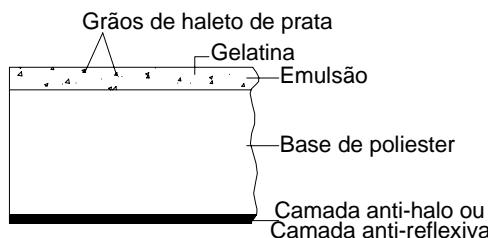


Figura 7: Corte esquemático de um filme de emulsão simples

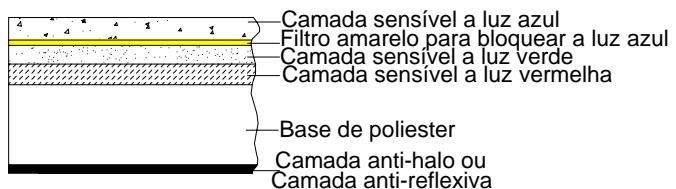


Figura 8: Corte esquemático de um filme de emulsão complexa

Ainda segundo SCHULER (op. cit.) de acordo com o tipo de emulsão, sensível a determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético, tem-se os

filmes em preto e branco (P & B) e colorido. Estes dois tipos dividem-se em: a)pancromáticos P & B, de emulsão simples, sensível à radiação, cujos comprimentos de onda oscilam entre 0,3 µm e 0,7 µm, aproximadamente igual à sensibilidade do olho humano; b) infravermelho P & B, que é sensível a comprimentos de onda entre 0,3 µm e 0,9 µm e, no seu processamento, utiliza-se um filtro preto, que absorve todas as ondas de comprimento abaixo de 0,7 µm - é também chamado de infravermelho verdadeiro; c) pancromático colorido, de emulsão complexa, formada por três camadas sensíveis às radiações azul, verde e vermelha; intercalada entre as camadas sensíveis às radiações azul e verde existe um filtro amarelo, evitando a passagem da radiação azul que sensibilizaria as duas outras, também sensíveis àquele tipo de radiação; d) infravermelho colorido ou falsa-cor, assim denominado porque nele resultam cores que não correspondem às verdadeiras cores da cena registrada.

### **3.3.4 - Fotografias Aéreas**

Fotografias aéreas são aquelas obtidas com uma câmara fotográfica instalada em um avião sendo possível também obtê-las manualmente posicionando a câmara fotográfica dentro ou fora da aeronave possibilitando assim o uso do helicóptero e do ultraleve (DISPERATI, 1995).

Segundo MARCHETTI e GARCIA (1986), as fotografias aéreas não podem ser consideradas como mapas, mas através de métodos fotogramétricos, usando-se geometria plana e sólida, podem-se construir mapas planimétricos e topográficos a partir de fotografias. O método usado é o dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas, onde a posição dos objetos no mapa é determinada pelas fotografias, que registram as direções e a intersecção de pelo menos duas direções de objetos da Terra.

A fotografia aérea é uma perspectiva e o deslocamento dos pontos das imagens é dado por:

- a relativa elevação da Terra;
- a distância focal das lentes; e.
- pela inclinação da câmara aérea no momento da exposição.

De acordo com LOCH e LAPOLLI (1989), as fotografias aéreas são úteis na identificação e mapeamento dos recursos naturais e seu potencial de utilização é uma ferramenta de trabalho nos mais diversos estudos, como: Geografia, Hidrologia, Ecologia, Agronomia, Engenharia, Geologia, Urbanismo, dentre outros.

Em relação a outros tipos de sensores, os sistemas fotográficos têm realizado imagens da superfície terrestre com resolução espacial raramente igualada. Considerando que as fotografias são obtidas na região visível do espectro e suas proximidades, o seu conteúdo apresenta uma aparência natural com relação à forma, tamanho e cor dos objetos fotografados, o que torna mais fácil a interpretação (LOCH e LAPOLLI, 1989).

### **3.3.4.1 - Tipos de Fotografias**

As fotografias aéreas podem ser classificadas segundo a inclinação do eixo da câmara em relação ao terreno como: vertical e inclinada, sendo as inclinadas também chamadas de oblíquas, podendo ser oblíqua alta ou oblíqua baixa.

#### **3.3.4.1.1 - Fotografias Aéreas Verticais**

São as fotografias tomadas com o eixo ótico da câmara fotográfica na vertical (Figura 9), equivalente à linha do fio de prumo ou o mais próximo possível dela. Quando o eixo ótico coincide exatamente com a linha do fio de prumo a inclinação é zero, no entanto, admite-se uma inclinação de até no máximo 3º para as fotografias verticais (DISPERATI, 1995).

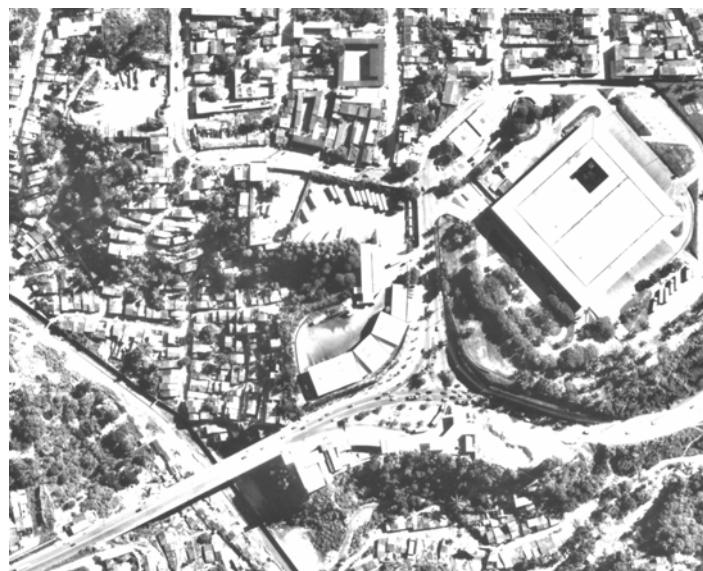


Figura 9: Aerofoto vertical (parte), pancromática P & B, escala original 1:6000, Maceió/AL, 1997. Fonte: Esteio.

A verticalidade pode ser melhorada com a qualidade dos acessórios acoplados à câmara para minimizar os erros, porém estes são inevitáveis devido à aeronave não ter uma estabilidade absoluta e às condições atmosféricas, no momento da tomada da fotografia. Portanto para a correção da inclinação do eixo ótico existem fórmulas matemáticas (LOCH e LAPOLLI, 1989).

Segundo LOCH e LAPOLLI (1989), no Brasil as fotografias verticais podem ser obtidas em escalas que variam de 1:5000 até 1:60000. Utilizam-se vários tipos de filmes como os pancromáticos, coloridos e infravermelhos e também vários tipos de câmaras fotogramétricas com precisão variada e de diversas marcas.

### 3.3.4.1.2 - Fotografias Aéreas Inclinadas

São as fotografias obtidas com o eixo ótico da câmara fotográfica inclinado para qualquer posição entre a horizontal e a vertical. As fotografias aéreas inclinadas são também chamadas de panorâmicas ou oblíquas e podem ser classificadas como oblíqua alta onde a linha do horizonte aparece (Figura 10), ou seja, o ângulo é grande, e oblíqua baixa, quando o horizonte não aparece (Figura 11), isto é, o ângulo de inclinação é pequeno.

De acordo com DISPERATI (1995), as fotografias oblíquas altas são obtidas com ângulo de inclinação maior que 30°, enquanto que as oblíquas baixas são tomadas com ângulo menor que 30°. Os termos alta e baixa a que nos referimos não dizem respeito à altura de vôo da aeronave, mas ao ângulo de inclinação da câmara durante a obtenção das fotografias.



Figura 10: Aerofoto oblíqua alta, pancromática colorida, 35 mm  
Pina, Recife/PE, 1996.

Fonte: Carlos A. B. Schuler, acervo particular.



Figura 11: Aerofoto oblíqua baixa, pancromática colorida, 35 mm  
Pina, Recife/PE, 1996.

Fonte: Carlos A. B. Schuler, acervo particular.

### **3.4 - Fotointerpretação**

#### **3.4.1 - Elementos Básicos de Interpretação Fotográfica**

TENG (1997), citando RABBEN (1960) e ESTES et al. (1983), afirma que a interpretação de uma fotografia é realizada através de observações e da compreensão de dez elementos básicos: tamanho, forma, sombra, tom ou cor, textura, padrão, altura, local, associação e tempo. Complementarmente, ANDERSON (1982) cita a densidade como mais um elemento importante para a fotointerpretação. No entanto, o elemento fundamental da fotointerpretação é o tom, ou mais precisamente a diferença de tons; sem essa diferença ou contraste não é possível observar e interpretar. Todos os outros elementos básicos são uma abstração do elemento tonal.

##### **3.4.1.1 - Tom ou Cor**

Tom é o primeiro elemento observado diretamente. São 256 níveis de cinza para fotografias P & B, e cor, com cerca de 2000 matizes, para fotografias pancromáticas coloridas e coloridas infravermelho ( GARCIA, 1982). São os limites ou bordas formados por essa diferença de tons ou contrastes, que permitem a detecção de objetos na fotografia. Nas fotografias em preto e branco, os tons de cinza são expressos entre os valores de preto e branco e nas fotografias coloridas, são expressos por várias matizes de cor, intensidade e saturação.

As matizes de cor fornecem muito mais informações sobre o ambiente que os tons de cinza. O olho humano pode distinguir entre 130 e 200 diferentes tonalidades de cinza, e 2000 combinações diferentes entre cores e, embora cor nem sempre seja um elemento crítico para interpretação, é porém, o preferido, pois é mais natural na interpretação, já que vemos os objetos que nos cercam coloridos. Os tons de cinza de objetos em fotografias preto e branco muitas vezes não correspondem à percepção interpretada desses objetos no ambiente e as matizes de cor dos objetos em fotografias com cores verdadeiras são mais familiares e, portanto mais facilmente interpretadas.

### **3.4.1.2 - Geometria dos Objetos**

Segundo TENG (1997), são quatro os elementos básicos de fotointerpretação que representam a geometria ou a forma dos objetos na fotografia: tamanho, forma, altura e sombra.

O tamanho de um objeto é um dos elementos de reconhecimento mais úteis à sua identidade. Conhecendo o tamanho de um objeto desconhecido pode-se identificar em uma fotografia aérea de escala conhecida o objeto, pois o intérprete pode eliminar muitos objetos identificados, tendo em vista que objetos podem se parecer menor em tamanho, e uma medida simples pode ser o bastante para diferenciá-los.

A forma de um objeto na fotografia aérea pode muitas vezes fornecer indicações não só da sua identidade, mas também do seu significado e função, no entanto devemos lembrar que a forma que aparece é a de uma vista aérea, sendo este um dos grandes problemas devido ao fato de se estar acostumado a ver os objetos pelos seus perfis, ou numa visão oblíqua, e, quando se depara com uma vista aérea, muitas vezes cometem-se erros. Quando se obtém a habilidade de entendimento do novo ponto de visada, tem-se um grande potencial de reconhecimento, principalmente quando se utiliza pares estereoscópicos obtendo a sensação de profundidade (GARCIA, 1982).

Geralmente quando observamos formas com traçados retos e uniformes nas fotografias aéreas, estas representam alguns aspectos antrópicos como casas, estradas, cercas, pois as formas dos objetos construídos pelos homens freqüentemente são mais regulares.

Para estudos da geomorfologia, engenharia florestal, urbanismo, e outros, o elemento de reconhecimento de mais fácil percepção é a forma, mas se não forem considerados os outros elementos básicos, como tamanho e/ou conjunto de formas, o intérprete pode facilmente se enganar (ANDERSON, 1982).

A forma permite ao intérprete delimitar a classe à qual um objeto desconhecido provavelmente pertence, permitindo uma identificação conclusiva.

O elemento altura pode, em muitos casos, ser derivado de indicações indiretas como tamanho, sombra, perspectiva e oclusão de um objeto por outro. Essas indicações indiretas, no entanto, podem ser enganosas, e em geral é necessário um par de fotografias para a visão estereoscópica. O exagero de altura presente em fotografias aéreas pode auxiliar o intérprete a obter melhor separabilidade dos objetos. A experiência do intérprete pode estimar a altura ou diferença de profundidade de objetos em um par estereoscópico de fotografias com precisão suficiente para algumas aplicações. Essa habilidade pode ser desenvolvida por comparações repetidas de estimativas visuais com medidas de fotografias ou observações de campo. As alturas ou medidas de profundidade também podem ser estimadas sem medidas reais, por comparação de objetos de interesse perto de objetos com altura conhecida.

Com relação às sombras, estas promovem uma visão adicional e em parte redundante do objeto em fotografia aérea e são utilizadas para fornecer a impressão da altura do objeto, contribuindo para a identificação dele; no entanto, às vezes, as sombras atrapalham o reconhecimento de algum objeto que foi obscurecido pela sombra de um outro maior. Normalmente a sombra é observada próxima ao objeto, embora possa ser separada dos objetos que ficam situados sobre elas como uma ponte ou nuvens.

A quantidade de informação que provém das sombras depende da orientação de objetos com respeito ao azimute e à elevação do Sol. A natureza dos objetos e os ambientes deles também afetam a utilidade das sombras.

### **3.4.1.3 - Arranjo de Espaços de Limites Tonais**

Os elementos de fotointerpretação que tratam do arranjo de espaços de limites tonais são dois: textura e padrão. Diferentemente dos elementos da geometria dos objetos, textura e padrão são diretamente definidos por limites tonais (TENG, 1997).

A textura vem da composição de muitos elementos iguais ou similares que estão numa mesma área ou que, em conjunto, formam um objeto. Por exemplo, às vezes não podemos visualizar uma árvore ou uma casa individualmente numa fotografia aérea, mas podemos visualizar a textura do conjunto das árvores, identificando uma área de floresta ou o traçado de ruas delimitando quadras com casas (ANDERSON, 1982).

A textura classifica-se de muito grosseira até super fina e áspera ou aveludada quando expressa qualitativamente. Os termos usados para descrever textura são relativos para uma escala particular, conhecidos ou não os objetos podem ser identificados dependendo da escala da fotografia.

Em fotografias aéreas, a textura é uma disposição espacial e freqüente de limites tonais de objetos que são tão pequenos para serem discernidos, ou se distinguidos são mais informativos se considerados juntos.

Exemplificando textura temos uma fotografia na escala de 1:100000, onde uma floresta aparece de maneira uniforme, com textura fina. Aumentando a escala para 1:20000, a mesma floresta apresenta-se com uma textura grosseira onde alguns galhos são visíveis. Se for possível fotografar a baixa altitude, com escala de 1:2000, cada árvore será distinguível, sendo a textura da floresta bem mais grosseira, e as folhas das árvores passam a ter uma textura fina. Por outro lado quando temos como exemplo casas, ruas ou jardins que podemos identificar cada uma das unidades, em escalas grandes como 1:10000, fala-se em densidade em vez de textura (ANDERSON, 1982).

Podemos encontrar áreas na natureza com formas, padrões, etc, que têm propriedades similares, mas não com a mesma intensidade por quilômetro quadrado. A intensidade ou freqüência, ou seja, a quantidade de unidades de um objeto que aparecem por unidade de área, na fotointerpretação é chamada densidade.

A densidade de casas, por exemplo, pode variar de uma cidade ou local para outra. Uma maneira de quantificar essa densidade é relacionar a área real

(km<sup>2</sup>, hectare, etc) do terreno, levando-se em conta a escala das respectivas fotografias. Por exemplo, a densidade de uma área na escala de 1:60000 será bem maior que a da mesma área na escala de 1:20000, entretanto as densidades reais no terreno são iguais (ANDERSON, 1982).

O padrão em fotografia aérea pode ser considerado como a arquitetura dos elementos que compõem um determinado objeto. Como exemplo temos os loteamentos, as áreas urbanas planejadas com seus aspectos retilíneos e axadrezados devido às ruas, as redes de drenagem formadas por rios e córregos e os padrões culturais.

Os padrões de drenagem são de grande importância porque revelam muito sobre o terreno, relacionando estruturas geológicas, litológicas, tipos de solo, vegetação, rios, e a exploração dos recursos naturais e do meio ambiente pelo homem, incluindo a construção de cidades e auto-estradas (ANDERSON, 1982).

#### **3.4.1.4 - Contexto de Objetos e Fenômenos**

Os três últimos elementos da fotointerpretação são local, associação e tempo. Estes concernem à relação entre objetos, fenômenos e o ambiente. Esses objetos e fenômenos são definidos não só pelo seu aparecimento, mas também pelas suas relações com os arredores (TENG, 1997).

O local é a relação entre o objeto e o fenômeno em fotografia aérea relacionando a sua localização geográfica ou condição do terreno; a partir desse conhecimento pode-se eliminar várias hipóteses que um objeto apresenta quando está sendo identificado. O estudo anterior da região por meio da literatura ou por visita prévia à área, auxilia o intérprete na identificação dos objetos. A posição geográfica se refere ao conhecimento genérico do tipo de região.

Muitas vezes, para se identificar um objeto ou fenômeno é necessário que se faça uma associação espacial destes com outros próximos; considerados juntos esses indicadores convergem para uma provável interpretação. A identificação de

um objeto às vezes é feita através da necessidade deste estar próximo a outros bem visíveis e de interpretação mais fácil.

O tempo é um elemento referente à relação temporal de objetos e fenômenos, que é estabelecido por seqüências ou coberturas fotográficas de várias datas. Alguns objetos são facilmente detectados em tempos particulares.

### **3.5 – Estereoscopia**

Em nossas atividades cotidianas, inconscientemente medimos profundidade ou calculamos distâncias para um vasto número de objetos através do nosso processo normal de visão. Os métodos de cálculo de profundidade podem ser classificados em estereoscopia ou monoscopia. Pessoas com visão normal (capacidade de ver com ambos os olhos simultaneamente) tem visão binocular e a percepção de profundidade através da visão binocular é chamada visão estereoscópica (WOLF e DEWITT, 2000).

Segundo AMORIM (2000), estereoscopia é o fenômeno natural que resulta do emprego dos princípios da visão binocular à visualização de duas fotografias de um mesmo objeto, obtidas de pontos de vista diferentes, fazendo com que cada imagem seja vista com um olho, resultando na percepção de profundidade ou terceira dimensão.

Atualmente militares, arqueólogos, topógrafos, geólogos e químicos utilizam fotografias e ilustrações estereoscópicas tridimensionais para facilitar os seus estudos. Uma das aplicações práticas da estereoscopia é a visualização do relevo terrestre através de fotografias aéreas. É também utilizada por cartógrafos, especialistas florestais, planejadores urbanos e outros especialistas em ciências da terra (SÁNCHEZ, 2000).

### **3.5.1 - Histórico da Estereoscopia**

O fenômeno da tridimensionalidade visual remonta à Grécia antiga, quando o matemático Euclides estudou em seu tratado chamado ótica, a relação entre a visão estereoscópica e o fato de que os seres humanos dispõem de dois olhos. Outros grandes pensadores como Leonardo da Vinci, Kepler e Descartes foram também os pioneiros no estudo da representação em três dimensões na superfície plana (SÁNCHEZ, 2000).

A estereoscopia precedeu a fotografia. Em 1838 o físico escocês, Sir Charles Wheatstone descobriu com certo rigor o fenômeno da visão tridimensional e construiu vários equipamentos e invenções para apreciar o desenho geométrico do relevo: o estereoscópio (GONZALEZ, 2000).

Anos mais tarde, em 1849, surgiu a primeira câmara fotográfica estereoscópica, desenhada e construída por Sir David Brewster, com que obtiveram as primeiras fotografias em relevo. Este construiu também um visor com lentes para observações. Em 1862, Oliver Wendell Holmes, construiu outro modelo de estereoscópio que se tornou popular no final do século XIX. Com ele se podia ver o relevo de fotografias estereoscópicas montadas sobre um papelão: Foram, então, criadas e vendidas várias coleções, podendo-se encontrar fotografias em relevo em qualquer parte do mundo (GONZALEZ, 2000).

Durante os anos 30, surgiram as câmaras 3D com películas de 35mm. Atualmente não se fabricam mais estas máquinas, sendo objetos de coleção.

Na arte, alguns pintores usaram a representação estereoscópica como, por exemplo, Salvador Dali que utilizou um dispositivo de espelhos similar ao de Wheatstone para mostrar alguns dos seus trabalhos (GONZALEZ, 2000).

Segundo o mesmo autor, nos anos 50 as películas 3D foram exploradas comercialmente e apareceram os primeiros títulos, mas com pequena incidência no mercado cinematográfico. As películas não passaram de curiosidade para o público

e algumas apresentaram problemas de visão, que fez com que uma parte do público rejeitasse este tipo de cinema.

Os melhores resultados foram alcançados nos anos 80 com os sistemas de películas de grande formato para conseguir imagens de alta resolução em telas gigantescas, obtidos por causa dos grandes investimentos realizados. Nos anos 90, com avanços da informática foram apresentadas imagens 3D na tela dos computadores, utilizando-as em apresentações CAD, medicina, cartografia e muitas outras aplicações.

### **3.5.2 - Visão Estereoscópica**

A sensação de profundidade pode ser obtida por dois tipos de visão: a visão monocular e a visão binocular. Na visão monocular ou método monoscópico, a posição e a direção dos objetos são observadas em um único plano dentro do campo da visão humana. As diferentes formas de percepção de profundidade são observadas com um olho só e permitem reconhecer nos objetos as cores, a tonalidade, o tamanho e a forma, sendo possível à individualização de habitações; um exemplo dessa visão é a fotografia comum.

A visão binocular ou método estereoscópico produz uma sensação bastante precisa da profundidade sendo, portanto, fortemente aplicada na fotogrametria (PAREDES, 1986).

Para que exista a sensação de tridimensionalidade espacial no solo são necessários dois olhos, duas retinas e o cérebro normais sendo este o responsável pela integração, totalização e restituição da tridimensionalidade. A percepção de profundidade nos humanos começa a manifestar-se aproximadamente aos dois meses de vida, desenvolvendo esta habilidade aos cinco ou seis anos (SÁNCHEZ, 2000).

A percepção da terceira dimensão (3D) pode ocorrer de várias maneiras: através das sombras, do tamanho relativo dos objetos ou da perspectiva, no entanto

são necessários dois fatores fundamentais para estimar ou medir a distância dos objetos em profundidade, a dupla imagem (visão binocular) e a convergência dos eixos visuais para objetos de distâncias variáveis (PAREDES, 19860).

A convergência ocorre quando os olhos enfocam um objeto, e esta convergência binocular acontece pela ação dos músculos que controlam os movimentos dos olhos indicando a distância relativa do objeto. Quanto maior for a convergência mais próximo está o objeto que se vê.

Uma das maneiras de se ver profundidade é a visão estéreo binocular. Para objetos próximos o que funciona é só a convergência. Quanto mais distante está o objeto, as imagens são formadas tão pequenas que são praticamente idênticas. Em realidade, para distâncias superiores a seis metros somos monoculares e a partir dessa distância nosso organismo faz uso de outros pontos monoculares, que também proporcionam a visão próxima.

A convergência dos eixos visuais dos olhos e a diferença de paralaxe produzida pelas duas imagens são dois fatores que combinados formam a base da estereoscopia, a sensação binocular de profundidade. O cérebro reconstrói a tridimensionalidade a partir das imagens que chegam aos olhos ligeiramente diferentes (SÁNCHEZ, 2000).

De maneira natural nosso mecanismo de visão é estéreo. Podemos dizer que o homem é capaz de apreciar, utilizando a visão binocular, as diversas distâncias e volumes das áreas do seu entorno. Nossos olhos possuem uma distância interpupilar média de 65mm, podendo variar de 45mm a 75mm, e devido a essa separação obtendo-se duas imagens com pequenas diferenças entre elas denominada disparidade. Essas diferenças entre ambas as imagens são processadas e interpretadas pelo cérebro para a percepção de profundidade (GONZALEZ, 2000).

Na estereopsia entrevêm diversos mecanismos. Os eixos óticos de nossos olhos são paralelos, quando observamos objetos muito distantes e quando o objeto está próximo, os olhos giram para que os eixos óticos estejam alinhados sobre eles,

convergindo, produzindo uma acomodação para ver nitidamente o objeto. Esse processo conjunto é chamado fusão; no entanto nem todo mundo tem a mesma capacidade de fusão de um par de imagens; aproximadamente 5% da população tem problemas de fusão.

A capacidade de discernir, mediante estereopares, detalhes localizados em planos diferentes e a uma distância mínima é estereoscopia. Existe uma distância mínima que varia de uma pessoa a outra, a partir da qual somos capazes de apreciar a separação dos planos. Assim, a distância limite a qual percebemos a sensação estereoscópica pode variar desde uns sessenta metros a cem metros (GONZALEZ, 2000).

Quando se tem uma separação interpupilar maior que a habitual, os objetos parecem menores que o normal e a técnica é denominada hiperestereoscopia. Com a distância interpupilar reduzida, imprescindível para obter imagens estereoscópicas de objetos pequenos, as macrofotografias em microscópios, a técnica denomina-se hipoestereoscopia (GONZALEZ, 2000).

Deve-se lembrar, no entanto, que estereoscopia é o processo de obtenção de uma visão tridimensional e a visão estereoscópica constitui a visão tridimensional.

### **3.5.3 - Princípios Básicos da Fotografia Estereoscópica**

A fotografia estereoscópica, também chamada fotografia 3D, tenta reproduzir a sensação de profundidade da visão estereoscópica natural. Na falta de fotografias convencionais pode-se recriar a sensação de profundidade se obtivermos fotografias com uma separação adequada, correspondente a visão que se obteria com cada olho e se observando com um visor apropriado (GONZALEZ, 2000).

Existe uma diversidade de sistemas onde uns são mais complexos que outros, com a introdução de dificuldades adicionais às fotografias normais. Há tempos atrás foram vendidas câmaras 3D e estes tipos de fotografias foram muito populares, mas

se deterioraram devido às dificuldades de se encontrar fotógrafos aficionados na hora de visualizar as imagens.

Diferentes procedimentos podem ser usados para se obter um par estéreo. Com uma câmara só, podemos obter as duas imagens em tempos diferentes, deslocando a câmara a uma distância similar a separação dos olhos, uns 65mm. No entanto, este procedimento só serve para fotografar objetos imóveis. Se quisermos obter fotografias 3D em movimento devemos utilizar uma câmara estéreo especial que é uma câmara convencional dotada de um acessório especial com espelhos ou duas máquinas fotográficas disparadas sincronizadamente (GONZALEZ, 2000).

### **3.5.4 - Métodos de Obtenção de Visão Estereoscópica**

Um dos principais problemas na forma de observar as fotografias é fazer com que cada olho veja somente uma imagem. Os visores estereoscópicos permitem a visão quase perfeita e os sistemas empregados na projeção de películas e diapositivos permitem ver imagens tridimensionais por um grupo numeroso de pessoas com a utilização de óculos especiais. Existem sistemas livres, como o lenticular, que permitem observar a fotografia em papel com uma boa qualidade (GONZALEZ, 2000).

#### **3.5.4.1 - Método do Estereoscópio de Lentes ou de Bolso**

O estereoscópio de lentes ou de bolso (Figura 12) é o mais comum e de baixo custo. Consiste de um par de lentes convergentes montadas em um suporte, a uma distância focal de aproximadamente 12cm, aumento ótico de 2,2 vezes e geralmente possuem ajuste móvel para a distância interpupilar. No entanto, deve-se evitar no seu manuseio a visão divergente ou muito convergente por períodos extensos, sendo este aspecto controlado muito mais pela separação das fotografias do que pela separação interpupilar dada pelo estereoscópio.

Quando se utilizam fotografias 18x18cm ou 23x23cm tem-se a principal desvantagem do estereoscópio de lentes que é a superposição parcial das fotografias (ANDERSON, 1982).

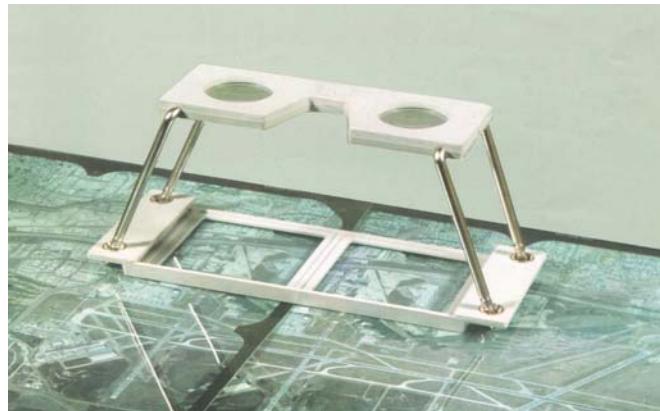


Figura 12: Estereoscópio de lentes

Fonte: Catálogo da Zeiss,1984.

### **3.5.4.2 - Método do Estereoscópio de Reflexão ou de Espelhos**

O estereoscópio de espelhos (Figura 13) desvia os raios óticos com o auxilio de espelhos (ou prismas), permitindo um afastamento maior entre as linhas de visão; desta forma pode-se ver todo o modelo tridimensional com 60% de recobrimento sem superposição das fotografias. Este fato permite a fixação das fotografias na mesa de trabalho. Os espelhos são feitos com vidros planos e espelhados pela face externa.

As desvantagens são o seu custo elevado e o tamanho, que impede a sua utilização no campo.



Figura 13: Estereoscópio de reflexão ou de espelhos

Fonte: Catálogo da Zeiss, 1984.

#### **3.5.4.3 - Método da Luz Polarizada**

Este processo consiste na projeção de duas imagens, que formam um par estereoscópico, em uma única tela, cada uma com luz polarizada num plano perpendicular ao da outra, e o observador tendo diante dos olhos um par de filtros polaróides, com planos de polarização coincidentes com os das imagens projetadas, vê as imagens separadas para os olhos correspondentes. A fusão das duas imagens no cérebro resultará em uma imagem 3D (ANDRADE, 1998).

#### **3.5.4.4 - Método do Cintilamento ou Luz Intermitente**

Este método baseia-se no fato de que a imagem projetada na retina do olho humano permanece no cérebro cerca de 1/20 a 1/8 de segundo, depois de cessada a projeção. Utilizando a inércia do olho humano, as imagens são apresentadas alternadamente para cada olho, em intervalos de tempo curtos, de 1/20 ou 1/60 de segundo. Os slides do par estereoscópico são projetados alternadamente de forma que cada olho só possa ver a sua imagem, a exposição é feita durante 1/60 de segundos e vedada durante o mesmo tempo.

Atualmente, para a fotogrametria digital, são utilizados sistemas compostos por monitores de computadores e óculos cintilizadores criando o efeito do cintilamento.

Segundo WOLF e DEWITT (2000), os melhores resultados visuais são obtidos em monitores com freqüência de 120Hz. No entanto, a maioria dos monitores apresentam uma freqüência maior que 60Hz e esta técnica aproveita este fato para separar os campos visuais dos olhos, projetando durante aproximadamente 1/60 segundos, de maneira alternada, as imagens da direita e da esquerda, usando o entrelaçamento dos monitores de vídeo e vedando, com óculos de cristal líquido, o campo visual da direita, enquanto a imagem da esquerda está sendo projetada e vice-versa.

Desta maneira, cada retina irá receber apenas uma das imagens de forma contínua e sincronizada, obtendo-se a almejada visão tridimensional.

#### **3.5.4.5 - Holografia**

É o método de registrar informações e reproduzir uma imagem tridimensional de um objeto tridimensional. O registro fotográfico é feito através de ondas de luz coerente (laser) que são refletidas num objeto, com as mesmas refletidas em espelho plano (frente de ondas planas) sobre uma placa fotográfica.

A obtenção de um holograma é feita com um feixe de luz coerente (igual comprimento de onda e fase) dividido em dois: um, chamado de feixe objeto, é refletido no objeto antes de atingir uma placa fotográfica; o outro, chamado feixe de referência, é direcionado diretamente para a placa fotográfica. O registro dos padrões de interferência é realizado na placa fotográfica.

A imagem tridimensional segundo vários ângulos de observação é visível quando se ilumina um holograma com luz potente, preferencialmente com luz coerente da mesma freqüência que gerou o holograma. É um método que não utiliza pares de fotografias para observações estereoscópicas e que até hoje não encontrou aplicação na área da fotogrametria (ANDRADE, 1998).

### 3.5.4.6 - Método do anaglifo

Segundo AMORIM (2000), este é um dos mais antigos métodos, muito usado em instrumentos fotogramétricos de projeção ótica. De modo geral, pode-se dizer que este método consiste em direcionar para cada um dos campos de visão uma fotografia, utilizando filtros de cores complementares, geralmente vermelho e azul ou vermelho e verde, para separar as projeções da esquerda e da direita. Assume-se que o filtro azul ou verde é colocado sobre a fonte de luz do projetor esquerdo ao tempo que o filtro vermelho é colocado na direita; desta forma, se o operador vir a imagem projetada com um óculos no qual a lente azul ou verde está no olho esquerdo e a lente vermelha no olho direito, o estereomodelo pode ser visto em 3D (Figura 14).

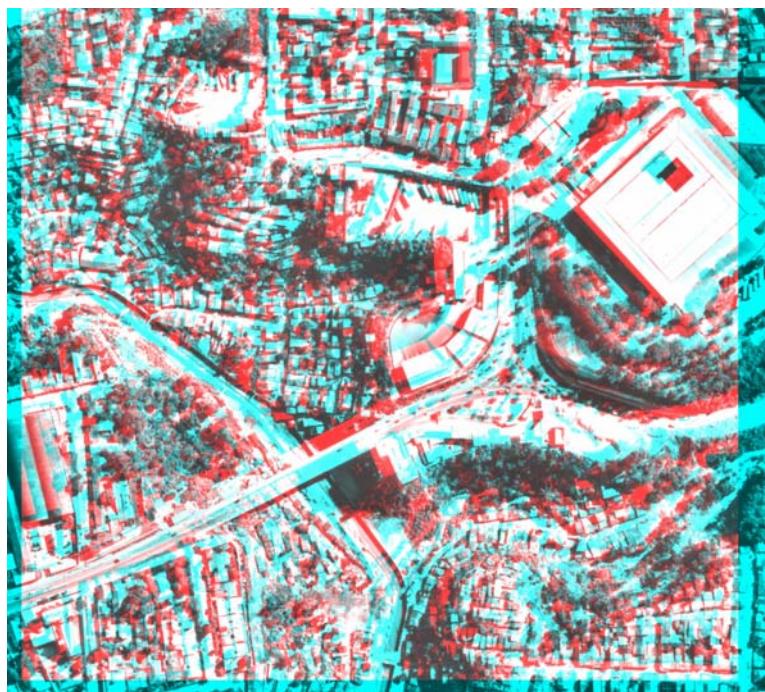


Figura 14: Anaglifo de parte do “Vale do Reginaldo”

Maceió/AL, novembro de 2004

O método anaglifo pode ser facilmente utilizado para observações terrestres, como planejamento e estudo de áreas ocupadas, pois se tem uma visão global dos problemas. Este pode ser obtido a um baixo custo com a vantagem também de poder ser visto e analisado por várias pessoas ao mesmo tempo e em um mesmo local.

Existem três maneiras de se obter o anaglifo: por projeção (uso de projetores), por impressão (em papel) e por meio digital.

No anaglifo por projeção, os diapositivos (slides) do par estereoscópico são projetados sobre uma mesma tela. Os projetores são dotados de um filtro verde ou azul e o outro de um vermelho, onde se observam as imagens através de óculos com as duas cores. No entanto, a linha que une os dois projetores deve ser paralela ao plano da tela, para se obter uma projeção ortogonal ou sem deformações (PAREDES, 1986). Este tipo de anaglifo foi muito utilizado em restituidores fotogramétricos de dupla ou de múltipla projeção, como o multiplex, por exemplo, visando à confecção de mapas topográficos com curvas de nível.

No anaglifo por impressão, imprime-se sobre um papel em branco uma das fotografias do par estereoscópico em vermelho e a outra em azul ou verde, superpostas com um pequeno deslocamento. Este deslocamento deve ocorrer na direção da linha de vôo e deve corresponder às diferenças de paralaxe (PAREDES, 1986). O anaglifo por impressão pode ser facilmente disponibilizado devido a sua praticidade de impressão em papel e desta forma tem sido usado para ensinar a leitura e a interpretação de mapas topográficos.

Com os avanços na área da informática, durante os anos noventa, foi possível a apresentação de imagens em 3D de grande qualidade na tela do computador através do anaglifo digital. Os computadores geram boas imagens do relevo, para aplicações científicas, industriais ou de entretenimento (SANCHEZ, 2000).

Para facilitar a observação em 3D de um modelo fotografado, foram desenvolvidos aplicativos computacionais de geração de anaglifo na tela do computador. As fotografias digitais do par estereoscópico são adquiridas por câmaras digitais ou pela digitalização através de scanner (DISPERATI e OLIVEIRA, 2004).

Recentemente a NASA tem utilizado a estereoscopia como ferramenta para ver em 3D e analisar as imagens de Marte enviadas por sondas espaciais, utilizando o anaglifo. Algumas dessas imagens estão disponíveis em NASA (1999) e PARKER

(2000). Para exemplificar esta técnica, a NASA tem também recebido numerosas vistas em 3D de fotografias da Terra obtidas de satélites (SANCHES, 2000).

### 3.6 – Método de Aquisição de Imagens Fotogramétricas Digitais

#### 3.6.1 - Scanner

Uma imagem fotogramétrica digital pode ser obtida de duas maneiras: pela digitalização matricial de fotografias ou de qualquer imagem analógica através de *scanner* (Figura 15), ou pela aquisição direta no formato digital, a partir de câmaras fotogramétricas digitais.



Figura 15: Scanner fotogramétrico DSW - LEICA

Fonte: Catálogo LEICA

O processo de digitalização ou “escanerização” determina, em grande parte, a precisão geométrica das fotografias escanerizadas, a quantidade de informação que pode ser extraída e a velocidade com que as imagens podem ser processadas.

A função básica do *scanner* é converter a fotografia em papel para o formato digital. Os *scanners* são projetados para capturar dados de imagem em reflexão (impressão em papel) e/ou modos de transmissão (transparência de filme). Os

diapositivos tendem a ter altas resoluções espaciais e uma maior escala de valores de cinza que impressões em papel. Eles são a fonte de material preferido ao converter fotografias aéreas em imagens digitais (WELCH e JORDAN, 1996).

Para a obtenção da imagem digital pela digitalização matricial podem ser utilizados vários tipos de *scanners*, sendo o mais usual o *scanner* de mesa. Neste a imagem analógica é colocada sobre a mesa de vidro, para que a matriz de CCD's percorra a imagem para frente e para trás, fazendo a gravação dos números digitais dos *pixels* que irão compor o arquivo digital. Existem também os *scanners* com alimentação automática (ADF), em que o movimento é realizado pelo documento enquanto a lâmpada e o conjunto de sensores ficam parados.

O CCD é um dispositivo eletrônico para armazenar dados e é encontrado na maioria dos *scanners*.

Na realidade, CCD é um conjunto de pequenos diodos sensíveis à determinada radiação (luz) que convertem fótons em elétrons, gerando uma pequena corrente em cada um dos detectores. Essa corrente vai gerar proporcionalmente a quantidade de energia que chega ao detector, ou seja, quanto maior a quantidade de energia maior a corrente gerada no mesmo (BRITO e COELHO, 2002).

Na fotogrametria digital são geralmente usados os *scanners* de tambor, ou os *scanners* a vácuo que utilizam a tecnologia PMT, onde a imagem ou documento a ser digitalizado nos *scanners* de tambor é posicionado em um cilindro de vidro ou, no caso dos *scanners* a vácuo, são unidos a vácuo a uma superfície lisa. A luz refletida pelo documento é separada em três raios por um sensor localizado no centro do sistema. De maneira semelhante aos *scanners* de mesa, cada raio é enviado a um filtro colorido que transforma a luz em um sinal elétrico.

A definição dos parâmetros radiométricos, como a digitalização em tons de cinza ou colorido, a quantidade de *bits* por *pixel* e outros, é realizada através de um programa de configuração que geralmente vem nos *scanners*.

Os diferentes tons da imagem são definidos de acordo com uma graduação onde o tom mais claro corresponderá à corrente mais alta gerada para aquela imagem, o tom mais escuro à corrente mais baixa gerada para aquela imagem e dentro deste intervalo a variação entre corrente mais alta e corrente mais baixa será dividida pelo número de tons envolvidos.

Como uma imagem original possui uma grande complexidade radiométrica, é inevitável a perda de informação no processo de digitalização, pois ainda não existem dispositivos capazes de registrar uma imagem na íntegra. No entanto, a perda de resolução geométrica pode ser evitada como veremos a seguir, porém, freqüentemente é desejável, assim como a radiométrica para a redução no tamanho dos arquivos finais.

Os valores mais usados para a resolução radiométrica são os 256 níveis de cinza (*8bits*) ou 16 milhões de cores (*8 bits* em três bandas), porém para a resolução geométrica deve-se considerar alguns fatores importantes.

A resolução espacial de uma imagem analógica é expressa em linhas/mm. Determina-se o seu valor calculando o valor de uma linha em unidades métricas. Exemplificando temos que 40 linhas/mm equivalem a resolução espacial de uma imagem analógica de 0,025mm/linha, ou 25  $\mu\text{m}$ /linha. Analogicamente, devem-se expressar os valores de resolução da imagem digital em unidades métricas /pixel. Atualmente encontram-se *scanners* com capacidade de digitalizar *pixels* do tamanho de 3,5  $\mu\text{m}/pixel$ , a 16 *bits* por banda com precisão geométrica em cada eixo de digitalização de menos de 2 $\mu\text{m}$  (BRITO e COELHO, 2002).

### **3.6.1.1 Sistema de Varredura**

Os *scanners* apresentam sistema de varredura variável dependendo da tecnologia empregada de acordo com as diferentes demandas dos usuários. Alguns modelos de *scanner* de mesa têm custo mais baixo por possuírem apenas um único sistema ótico que “varre” três vezes a figura, uma para captar o vermelho, uma para

o verde e outra o azul. Em cada uma das vezes são utilizados internamente filtros apropriados para captar a cor que se deseja. A desvantagem deste tipo de *scanner* é de demorar três vezes mais para capturar uma figura. Existem alguns modelos chamados de “one pass scanner” que possuem três sistemas óticos independentes realizando a captura completa da figura com apenas uma varredura.

Os efeitos de distorções em bordas podem ser minimizados pelos *softwares* que possuem técnicas de utilização de algoritmos que empregam operadores diferenciais de primeira e segunda ordem. Além disso, os equipamentos apresentam mecanismos que melhoram e otimizam o sistema de varredura, reduzindo os efeitos de distorções.

Alguns *scanners* utilizam o rolo de precisão (ex: Evolution 4 e 8 da Anatech) para realizar o deslocamento dos documentos, permitindo que mesmo os originais que foram guardados durante anos possam ser rasterizados com desvio mínimo. Esses equipamentos apresentam, ainda, um sistema estabilizador triangular para eliminar qualquer vibração externa.

Uma nuvem de pontos de elevada densidade é obtida no resultado da varredura e esta varia em função do tipo de *scanner* usado, da velocidade do avião e da topografia do terreno.

A varredura pode ser uni ou bi-direcional, existindo diferentes opções para se efetuar o redirecionamento do feixe do laser, como por exemplo o uso de espelhos móveis.

### **3.6.1.2 – Resolução**

A resolução é referente ao número específico de *pixels* e padrões que podem ser capturados pelo *scanner*, sendo medida em dpi (dots per inch). Esta varia de 200 a 400 dpi nos documentos administrativos, enquanto que na área de artes gráficas e engenharia são mais usadas as resoluções de 200, 400 e 800 dpi.

Para que se tenha uma imagem com consistência e legível deve-se utilizar uma resolução mínima de digitalização de 200 dpi. Quando se aumenta a qualidade da imagem, consequentemente a quantidade de pontos por polegada, reduz-se a velocidade da digitalização. Por exemplo, para 300 dpi, a velocidade chega a ser 50% mais lenta que em 200 dpi por página, pois a imagem a 300 dpi é 2,25 vezes maior que a 200 dpi.

A resolução de uma imagem tem relação direta com a quantidade de informação digitalizada. De acordo com a resolução utilizada e as dimensões da figura pode-se calcular com facilidade o número de *bytes* necessário ou o tamanho do arquivo. Inicialmente calcula-se o número de *pixels* na largura da figura, usando a seguinte expressão:

$$PL \text{ (número de } pixels \text{ na largura)} = \text{largura (cm)} \times \text{resolução (dpi)} / 2,54$$

Para a altura tem-se, de forma análoga,

$$PV \text{ (número de } pixels \text{ na altura)} = \text{altura (cm)} \times \text{resolução (dpi)} / 2,54$$

A largura e a altura devem ser dadas em centímetros, a resolução em dpi e o fator 2,54 é a conversão entre centímetros e polegada. Como resultado dessa expressão, tem-se os números de *pixels* nos sentidos horizontal e vertical. Como exemplo usaremos uma fotografia 23cmx23cm escanerizada a 800 dpi/ 8 bits, conforme a que será utilizada nesse trabalho. O número de *pixels* no sentido horizontal será:

$$PL = \text{largura} \times \text{resolução} / 2,54$$

$$PL = 23 \times 800 / 2,54$$

$$PL = 7.244 \text{ pixels}$$

Para o sentido vertical teremos:

$$PV = \text{altura} \times \text{resolução} / 2,54$$

$$PV = 23 \times 800 / 2,54$$

$$PV = 7.244 \text{ pixels}$$

Podemos então observar que, como a altura é igual à largura, teremos o mesmo número de *pixels* tanto para o sentido horizontal como o vertical.

Desta maneira o número total de *pixels* armazenados na memória será igual a  $PL \times PV$ . No exemplo dado teremos:

$$7.244 \times 7.244 = 52.475.536 \text{ pixels}$$

Portanto, para cada fotografia como a do exemplo, ter-se-á um arquivo de 52.475.536 *bytes* ou grupos de 8 *bits*. Transformando para MB resulta:

$$52.475.536 / (1024 \times 1024) = \underline{50,0446MB}$$

Outro exemplo seria uma fotografia com 23 cm x 23 cm, na escala de 1:6000 e resolução espacial de 1m x 1m. Para calcular com quantos dpi a fotografia deverá ser digitalizada tem-se:

Para a escala 1:6000, temos que:

$$\begin{array}{ccc} 1\text{m da fotografia} & \rightarrow & 6000\text{ m no terreno} \\ x & \leftarrow & 1\text{m no terreno} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \times 1}{6000} = 0,0001667\text{m} = 0,01667\text{cm}$$

Ou seja, para cada 0,01667 cm tem-se um *pixel* ou um ponto e, transformando para dpi, resulta:

$$0,01667\text{ cm} \text{ ----- } 1\text{ ponto}$$

$$2,54\text{ cm (1 polegada)} \text{ ----- } x\text{ (dpi)}$$

$$x = 2,54 / 0,01667$$

$$x = 152,37\text{dpi}$$

Em termos de resolução de scanner verifica-se um outro aspecto importante que está relacionado com dois conceitos: resolução ótica e resolução interpolada. A capacidade de um scanner capturar figuras nos mínimos detalhes é representada

pela resolução ótica, onde os melhores *scanners* de mesa operam com 600 x 600 dpi, 600 x 1200 dpi, 1200 x 1200dpi ou superiores resoluções óticas.

No entanto através de interpolação com fundamento na utilização de algoritmos e princípios matemáticos / estatísticos, podem-se simular resoluções mais altas, como por exemplo 9600x 9600dpi. Essas resoluções mais altas obtidas por uma mudança de escala através de interpolação podem ser atingidas a partir de uma figura com resolução baixa (300dpi) utilizando-se *software* para tratamento de imagens.

Portanto a resolução ótica em um *scanner* é mais importante que a interpolada.

### **3.7 - Algumas Características dos Programas a Serem Avaliados**

#### **3.7.1 - Adobe Photoshop 7.0.1**

O Adobe Photoshop fornece ferramentas de composição, retoque de fotos e edição de imagens para que se possam obter resultados de qualidade profissional.

Oferece dois métodos básicos de ajuste de cores nas imagens. As opções do menu Ajustes de Imagem, incluindo o comando Cor Automática, que analisa a imagem para fazer correções de cores instantâneas e confiáveis, para alterar a imagem permanentemente. Ou, pode-se usar uma camada de ajuste para aplicar correções de cores e de tons editáveis.

O Photoshop oferece uma gama de opções de seleção de formas: desde as ferramentas de marca de seleção, clicar e arrastar até as ferramentas de seleção magnéticas, que se ajustam às arestas de um elemento, até a ferramenta caneta, que permite definir uma forma com precisão. Utiliza um demarcador de corte para recortar um elemento do primeiro plano, removendo-o do plano de fundo, sem alterar realmente a imagem original.

No Photoshop, é possível utilizar o comando Extrair para isolar um objeto de seu plano de fundo e apagar o plano de fundo até a transparência. Também é possível criar seleções sofisticadas utilizando máscaras.

As camadas permitem trabalhar em um elemento da imagem sem interferir nos outros. Quando não há imagem em uma camada, é possível ver as camadas de baixo. É possível alterar a composição de uma imagem alterando a ordem e os atributos das camadas. Além disso, recursos especiais como camadas de ajuste, camadas de preenchimento e estilos de camada permitem criar efeitos sofisticados.

### **3.7.2 – Anaglyph Maker 1.08**

O Anaglyph Maker ou AnaMaker é um *software* livre, direcionado para plataformas Windows98/Me/NT/2000/XP e elaboração de imagens em 3D, do tipo anaglifo, para observação com óculos de filtros vermelho e azul ou verde, obtidas a partir de pares estereoscópicos de fotografias aéreas ou terrestres. É possível gerar anaglifos coloridos ou em preto e branco. A sua utilização requer que se trabalhe com o recorte da área estereoscópica de cada fotografia. Isso é feito em programas tipo Adobe Photoshop e Microsoft Photo Editor, salvando com extensão .jpg, que é compatível com o AnaMaker.

O programa, produzido por Takashi Sekitan, pode ser encontrado no endereço: [www.stereoeye.jp/software/index\\_e.html](http://www.stereoeye.jp/software/index_e.html)

Utilizando o programa é necessário que se escolha o tipo de anaglifo (cinza, colorido), em função do tipo de fotografia utilizada (P & B ou colorida). É possível pequenos movimentos horizontal e vertical entre as duas imagens para melhor ajuste no resultado, permitindo uma melhor visualização tridimensional. O arquivo final pode ser salvo nos formatos .bmp ou .jpg

### **3.7.3 – FreeHand 10**

O Programa Macromedia FreeHand versão 10 permite projetar, criar e publicar documentos com gráficos e ilustrações em diversas mídias. Com ele é possível criar elementos gráficos vetoriais que podem ser redimensionados e impressos com qualquer resolução, sem perda de detalhes ou nitidez. Esta versão admite inclusive que se passe, sem problemas de material impresso para a Web.

Existem páginas-mestras, páginas especiais que permitem criar objetos com facilidade e definir atributos de páginas compartilhadas por um intervalo de páginas em um documento. Podem-se alterar essas páginas a qualquer momento. Elas podem ser salvas com o documento e ser importadas ou exportadas como item de biblioteca.

Basicamente, para o trabalho de fotointerpretação a ser desenvolvido, o principal recurso desse programa é a ferramenta caneta. Com ela é possível exibir pontos como uma forma sólida para edição mais fácil. Lembra do último ponto ativo de um caminho, permitindo que se efetuem outras ações e, em seguida, retorne com facilidade para editar o caminho. Pode-se estabelecer a espessura, a cor e o tipo da linha. Para melhor visualização da imagem a ser interpretada o programa admite, com o uso da ferramenta zoom, várias ampliações.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 - Caracterização da Área Experimental

A área experimental é composta por duas sub-áreas ocupadas por assentamentos irregulares. Uma delas está situada em trecho de encosta no local denominado “VALE DO REGINALDO”. A outra sub-área está localizada às margens da “LAGOA MUNDAÚ”.

#### 4.1.1 - Sub-Área “Vale do Reginaldo”

A área experimental de um trecho do “Vale do Reginaldo” é parte do bairro do Feitosa, formada por encostas e uma parte plana às margens do canal.

Segundo ANJOS (1992), os solos das encostas de Maceió são constituídos de areias finas de baixa permeabilidade e baixa plasticidade. A constituição mineralógica é de quartzo, caulinita e traços de ilita. Quando na umidade natural, possuem elevada resistência à ruptura, no entanto seus parâmetros de resistência decrescem intensamente com o aumento da umidade até a saturação, o que torna as encostas instáveis, segundo a análise de instabilidade. De acordo com o processamento computadorizado para análise da instabilidade, quando submetidas ao processo de saturação através de chuvas de longa duração, as encostas são inevitavelmente rompidas.

A porção norte do município de Maceió é totalmente recortada por encostas, abrangendo tanto a área urbana como a área rural. As encostas da área urbana apresentam geralmente a mesma configuração de problemas como a degradação do meio ambiente devido à ocupação irregular do solo, os desmatamentos, a retirada de material, o corte indiscriminado dos terrenos, o que provoca o desmonte dos taludes naturais, alterando o sistema e desestabilizando as encostas, tornando as áreas de risco sujeitas à erosões, deslizamento de solo, e poluindo o solo e a água (ANJOS, 1992).

#### **4.1.2 Sub-Área “Lagoa Mundaú”**

A área experimental nas margens da lagoa Mundaú é parte do bairro do Bom Parto, constituindo-se de terrenos acrescidos de marinha criados sobre solo turfoso à custa de aterro de antigo manguezal. Apresenta problemas de drenagem e de estabilidade das edificações que tem suas estruturas afundadas, completamente desniveladas em relação à rua por causa da acomodação do solo (COHAB, 1990).

Devido a sua localização e topografia, está sujeita a inundações quando das precipitações mais intensas ao longo das bacias hidrográficas que deságuam na lagoa Mundaú.

Quanto ao tipo de moradia, predominam casas de alvenaria. Existem, entretanto, um grande número de moradias construídas em madeira, taipa ou zinco, sobre palafitas. Geralmente as moradias possuem um único cômodo, de uso múltiplo, para toda a família.

É importante ressaltar também a existência de inúmeras “vilas” que são uma subdivisão de um único imóvel onde habitam famílias numerosas geralmente em condições sub-humanas.

A principal via de acesso é pavimentada e as demais são de chão batido, cortados por valas de esgoto a céu aberto. Não existe sistema de drenagem pluvial. Desta forma, o escoamento é feito sobre o leito das ruas, de maneira irregular havendo pontos de estagnação.

O abastecimento de água pela Companhia de Águas e Saneamento do Estado de Alagoas (CASAL) é precário. O fornecimento só é feito à noite, o que leva as pessoas a perfurarem “cacimbas” (poços rudimentares) e coletarem água do lençol freático contaminado.

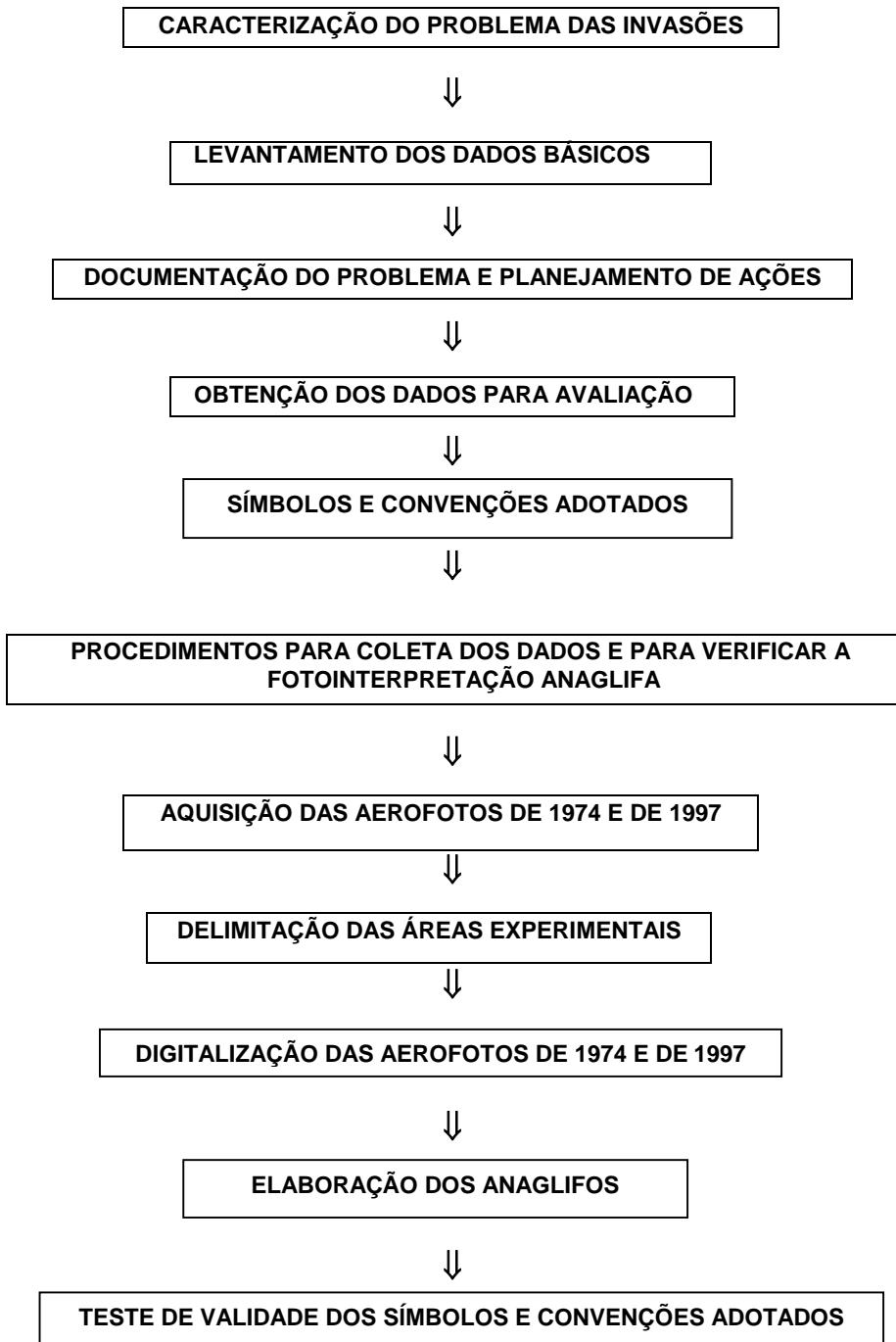
A iluminação pública é deficiente, com lâmpadas frequentemente queimadas e o fornecimento de energia elétrica atende de forma regular a apenas uma parte da população visto que a maioria utiliza ligações clandestinas.

A população da área é de baixa renda, com alto índice de desemprego e baixa qualificação profissional. A população economicamente ativa desenvolve atividades ligadas ao comércio autônomo, empregos domésticos remunerados e biscates. Convém ressaltar que um número expressivo de crianças em idade escolar está fora das salas de aula, trabalhando como carregadoras no mercado, utilizadas portanto como mão de obra para a obtenção de renda familiar na luta pela sobrevivência.

Existe também a população que vive da atividade pesqueira na lagoa Mundaú; o peixe e o sururu (*Mytella charruana*) são os produtos que servem tanto para a subsistência quanto para a comercialização no mercado e na própria lagoa.

## **4.2 Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos**

Para estabelecer as fases da metodologia e desenvolver a posterior análise dos resultados, alguns procedimentos foram realizados. O fluxograma a seguir, figura 16, sumariza essas diversas etapas.



#### 4.2.1 - Caracterização do Problema das Invasões

Esta fase consistiu em percorrer as áreas de estudo para reconhecimento e caracterização dos assentamentos irregulares, observando a população residente, a tipologia das habitações, o comércio e os riscos decorrentes da implantação das

casas ou “barracos” nos locais inadequados. A seguir tem-se uma caracterização do Vale do Reginaldo e da Lagoa Mundaú.

#### Vale do Reginaldo

As habitações encontradas foram construídas nas encostas, com o corte do terreno de maneira irregular tornando o local vulnerável a desmoronamentos, e na parte plana as margens do riacho sujeitas a inundações em épocas chuvosas, no entanto existindo ainda áreas desocupadas.

A maioria das habitações é de alvenaria com telha de barro, caracterizando desta forma um assentamento consolidado (Figura 17). Nas áreas abaixo do viaduto foram encontradas habitações recentes feitas de madeira, papelão e lona.

Com relação à população, existem aqueles que exercem alguma atividade remunerada, biscates, e os mais recentes que sobrevivem de catar papelão ou pedir esmolas.

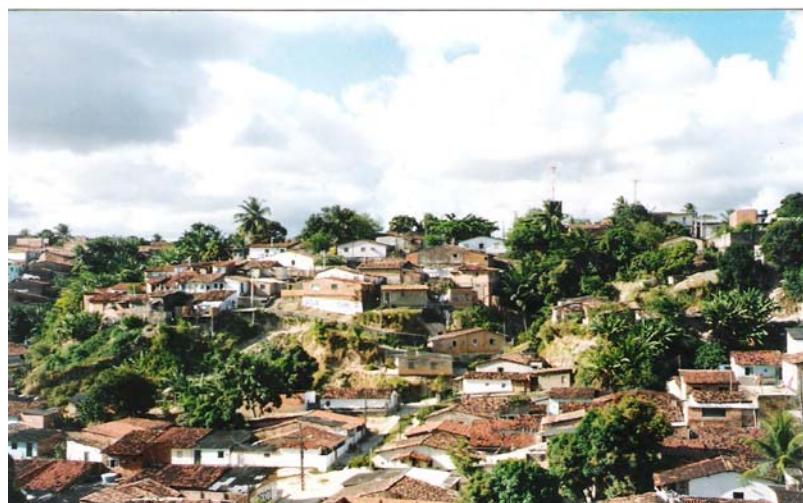


Figura 17: Assentamento Irregular no “Vale do Reginaldo”

Maceió/AL, novembro de 2004. Coordenadas x= 200642 e y= 8932402

#### Lagoa Mundaú

Na área da Lagoa Mundaú o número de habitações de taipa ou madeira é bem maior que o encontrado no Vale do Reginaldo, existindo também um número bastante significativo de habitações em alvenaria o que caracteriza um assentamento parcialmente consolidado. As habitações mais recentes e mais precárias estão localizadas nas áreas às margens da lagoa, onde foi observado um

avanço de construções na área da lagoa e consequentemente um aumento nos riscos de inundações nos períodos chuvosos.

Um fator decorrente da localização das habitações e da falta de infra-estrutura é a poluição da lagoa, que prejudica tanto o meio ambiente como a população que vive da atividade pesqueira (Figura 18).



Figura 18: Assentamento Irregular na “Lagoa Mundaú”

Maceió/AL, novembro de 2004. Coordenadas x= 198582 e y= 8931552

#### **4.2.2 - Levantamento dos Dados Básicos**

Nesta etapa foi feita uma verificação da existência da base cartográfica e de aerorecobrimentos das áreas e a obtenção de informações e descrições das áreas de estudo, para duas diferentes épocas.

##### **4.2.2.1 - Base Cartográfica Existente**

O Município de Maceió possui uma base cartográfica digital obtida do mapeamento aerofotogramétrico nas escalas 1:2000, 1:10000 e 1:35000, abrangendo a área urbana e de expansão urbana da cidade de Maceió, Estado de Alagoas. Inicialmente foi contratada pela Prefeitura Municipal de Maceió uma área de 205 km<sup>2</sup>, que com posterior aditivamento passou a ser de 233 km<sup>2</sup>.

A elaboração da base cartográfica, em 1:2000 deu-se a partir do vôo fotogramétrico na escala nominal de 1:6000, realizado pela empresa Esteio-

Engenharia e Aerolevantamentos S.A., em 1997 e restituição estereofotogramétrica numérica, planialtimétrica, resultando planta cadastral na escala de 1:2000, com coleta de todas as feições naturais e artificiais identificáveis nas imagens e compatíveis com a escala do mapeamento.

#### **4.2.2.2 - Recobrimento Aerofotogramétrico**

Inicialmente foram levantadas fotografias aéreas convencionais (verticais, pancromáticas P & B, 230mm x 230mm), na escala 1:5000, de 1974, resultantes de vôo realizado pela empresa Cruzeiro do Sul, e na escala de 1:6000, de 1997. As fotografias aéreas de 1997 são resultantes do vôo aerofotogramétrico executado pela empresa Esteio-Engenharia e Aerolevantamentos S.A. Em 1984 a empresa Aerosul S/A realizou um sobrevôo em Maceió obtendo fotografias convencionais na escala de 1:5000, para a Prefeitura Municipal. Os trabalhos resultantes, mosaicos não controlados, na mesma escala das fotografias estão arquivados na Secretaria de Controle e Convívio Urbano da PMM.

Para o vôo de 1997 a área levantada foi dividida em três blocos, conforme segue:

Bloco 1

Faixas 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 30 (aux), 31(aux) e 32 (aux), totalizando 179 modelos fotogramétricos.

Bloco 2

Faixas 14 (parte), 15 (p), 16 (p), 17 (p), 18 (p), 19 (p), 20 (p), 21, 22, 23, 24 e 25, totalizando 254 modelos fotogramétricos.

Bloco 3

Faixas 14 (p), 15 (p), 16 (p), 17 (p), 18 (p), 19 (p), 20 (p), 21, 22, 23, 24-A, 25-A, 26, 27 e 28, totalizando 130 modelos fotogramétricos.

#### **4.2.3 - Documentação do Problema e Planejamento de Ações**

As informações preliminares mostraram, na base cartográfica digital da cidade de Maceió, a existência do registro de ocupações irregulares anteriores em

quantidades menores, como também alguns relatórios contendo informações dos assentamentos irregulares às margens da Lagoa Mundaú e do Vale do Reginaldo.

Diante dos dados obtidos, foram planejadas algumas ações visando adequar metodologias para a avaliação do problema de forma rápida, tendo-se uma visão geral das áreas, a um baixo custo e com uma documentação permanente. Atendendo a estas condições, optou-se por uma interpretação temática das fotografias aéreas existentes, posterior verificação de campo e comparação dos resultados em diferentes épocas.

Foram escolhidas duas áreas de estudo, uma em região de planície, às margens da Lagoa Mundaú e outra em área de encosta, para possibilitar uma avaliação dos resultados da metodologia aplicada em duas áreas distintas.

#### **4.2.4 - Obtenção dos Dados para Avaliação**

Os dados para a avaliação das invasões foram obtidos a partir da interpretação das fotografias aéreas em laboratório, identificando-se e classificando-se as feições a serem observadas, sendo estas determinadas da seguinte maneira:

Rede viária - Vias pavimentadas, vias de pavimento solto e vias só para pedestre;

Rede hidrográfica – Canal, riacho intermitente (talvegue), lagoa e área alagada;

Áreas verdes – Vegetação arbórea composta por frutíferas como: mangueiras, jaqueiras e coqueiros; espécies diversas; vegetação arbustiva, vegetação herbácea;

Habitações.

Após a escolha das feições a serem analisadas, foi realizada a fotointerpretação das fotografias nas diferentes datas e posteriormente a verificação de campo, que permitiu obter o nível de concordância, desenvolver a interpretação definitiva e a análise dos valores obtidos nas fotografias com a Base Cartográfica de Maceió.

A contagem das habitações em diferentes épocas, foi tabulada para uma posterior análise percentual dos resultados e verificação da eficiência da fotointerpretação.

#### 4.2.5 - Símbolos e Convenções Adotados

Para desenvolver a fotointerpretação temática foi estabelecida uma simbologia de acordo com as feições necessárias a análise da dinâmica nos assentamentos irregulares. Desta forma, os símbolos e convenções adotadas foram as seguintes:

##### FEIÇÕES

###### Rede viária

- Vias pavimentadas
- Vias de pavimento solto
- Vias só para pedestre

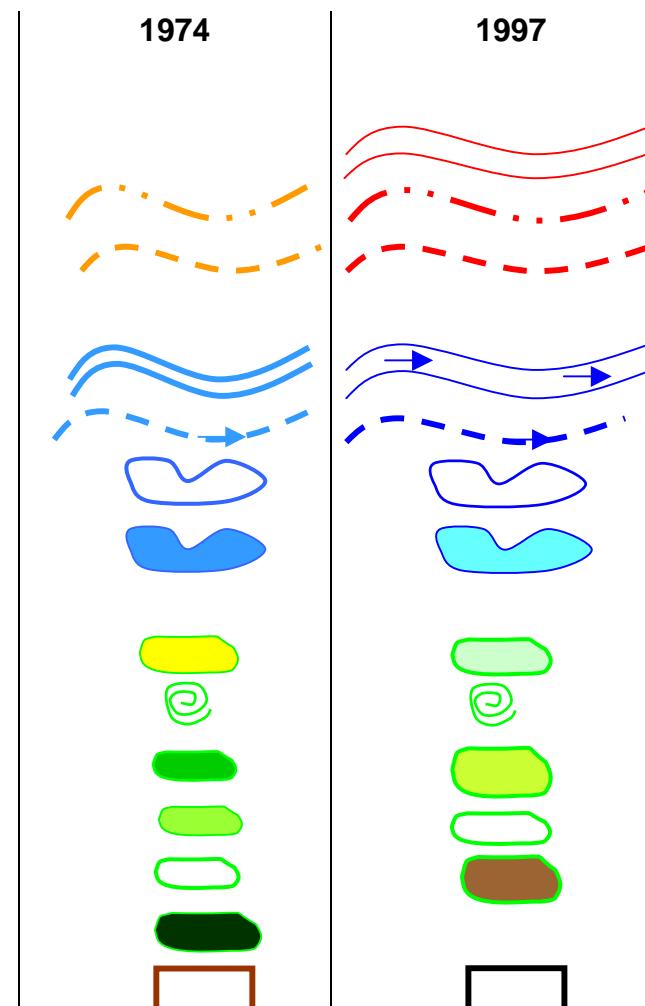
###### Rede hidrográfica

- Canal
- Rio intermitente (talvegue)
- Lagoa
- Área alagada

###### Áreas verdes

- Vegetação frutífera
- Vegetação frutífera (Coqueiro)
- Vegetação arbustiva
- Vegetação herbácea
- Solo exposto
- Horta

###### Habitação



#### **4.2.6 - Procedimentos para Coleta dos Dados e para Verificar a Fotointerpretação Anaglifa.**

O trabalho deve ser realizado com base na avaliação combinada da fotointerpretação e posteriormente a sua verificação em campo. Na obtenção dos dados, o trabalho é desenvolvido sobre amostras que devem representar a área objeto do levantamento.

Independente do nível de treinamento e conhecimentos do fotointérprete, os resultados obtidos na fotointerpretação sempre requerem, posteriormente, uma verificação de campo para comprovar, em relação à verdade-terrestre, sua exatidão e possíveis dúvidas quanto aos objetos que não foram identificados.

Esta etapa é desenvolvida geralmente sobre amostras que podem ser identificadas nas fotografias e no campo, extrapolando-se, depois, os resultados obtidos para as áreas como um todo.

São determinadas amostras em locais de diferentes características topográficas como altitude, declividade, face de exposição do terreno e localização dentro do município. Observa-se que as áreas com relevo acidentado são mais facilmente interpretadas, sendo mais cômoda a identificação das feições analisadas, assim como a sua verificação em campo.

#### **4.2.7 - Aquisição das Aerofotos de 1974 e 1997**

As fotografias aéreas de 1974 pertencem a Universidade Federal de Alagoas, sendo fotografias aéreas verticais, pancromáticas P & B, 230mm x 230mm. Foram utilizadas as fotografias 17 e 18 para a área do Vale do Reginaldo e as fotografias 685, 687 e 688 para a área da Lagoa Mundaú, suficientes para recobrir as áreas em estereoscopia.

As fotografias aéreas de 1997 foram obtidas na Secretaria de Planejamento da Prefeitura Municipal de Maceió. São fotografias aéreas verticais, pancromáticas

P & B, 230mm x 230mm, pertencentes à faixa de vôo 09, sendo utilizadas na área do Vale do Reginaldo as fotografias 403 e 405 e na área da Lagoa Mundaú a 409 e a 411, com recobrimento estereoscópico suficiente.

#### **4.2.8 - Delimitação das Áreas Experimentais**

As áreas escolhidas para executar o trabalho estão localizadas na cidade de Maceió em duas regiões compreendidas por dois grandes comportamentos distintos, partes de zonas baixas (planícies costeiras) e zonas altas (região de tabuleiro), com altitudes variando entre 0 e 50m. A área de planície costeira é definida pelo retângulo envolvente com canto inferior esquerdo de coordenadas UTM:  $x = 198600m$  e  $y = 8931672m$  e canto superior direito com coordenadas UTM:  $x = 198950m$  e  $y = 8932170m$ , que corresponde à parte do bairro do Bom Parto às margens da Lagoa Mundaú (Figura 19). A área de tabuleiro corresponde a um trecho de encosta do Vale do Reginaldo definido pelo retângulo envolvente com canto inferior esquerdo de coordenadas UTM:  $x = 200337m$  e  $y = 8932120m$  e canto superior direito com coordenadas UTM:  $x = 200800m$  e  $y = 8932666m$ , que corresponde à parte do bairro do Feitosa (Figura 20).



Figura 19: Área experimental da Lagoa Mundaú  
Fonte: Base Cartográfica Digital de Maceió, 2000

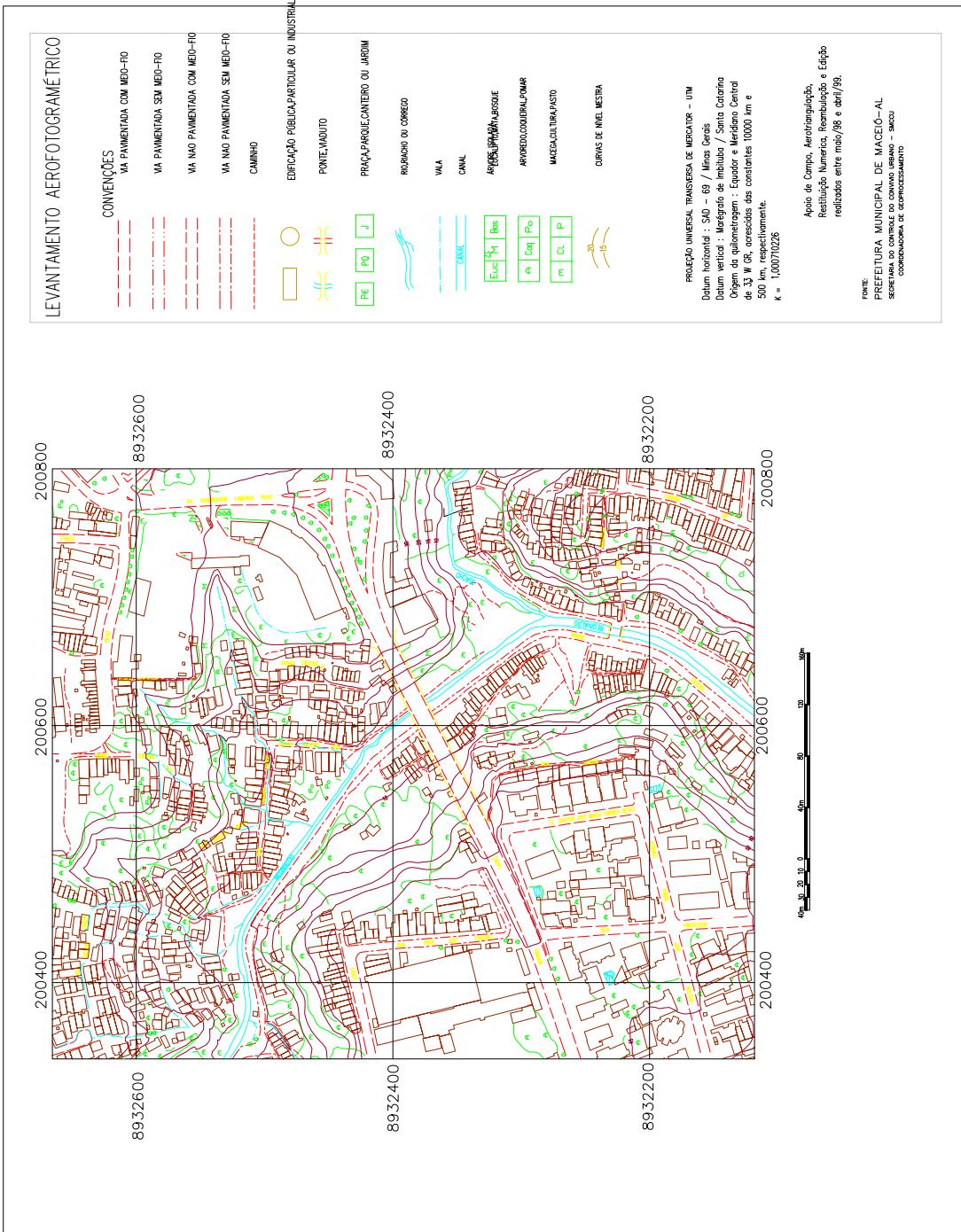


Figura 20: Área experimental Vale do Reginaldo  
Fonte: Base Cartográfica Digital de Maceió, 2000

#### **4.2.9 - Digitalização das Aerofotos de 1974 e 1997**

As aerofotos de 1974 e 1997 foram digitalizadas em scanner fotogramétrico da marca Vidar, modelo TruScan Titan, com largura máxima de 914,4mm utilizando o software Vidar Truinfo com resolução de 800 dpi. Este scanner opera no modo de cinza em 8 *bits* (256 níveis) e no modo colorido em 36 *bits*, e seu sistema imageador é composto de matrizes CCD, com extensão .tif.

#### **4.2.10 - Elaboração dos Anaglifos**

##### **4.2.10.1 - Utilizando o Programa Adobe Photoshop 7.0.1**

Os anaglifos no programa Adobe Photoshop 7.0.1 foram elaborados em aproximadamente 10 minutos, fazendo-se inicialmente uma seleção das fotografias aéreas digitalizadas das áreas de interesse (Figuras 21, 22, 28, 29, 35, 36, 42, 43, 49 e 50)e, depois, recortando-as de acordo com as delimitações estabelecidas no item 4.2.8 e transformando-as em RGB.

As duas fotografias recortadas na área de sobreposição de 60% (Figuras 23, 24, 30, 31, 37, 38, 44, 45, 51 e 52) foram arquivadas no formato .psd (photoshop). Com o auxilio do programa foram abertas as duas imagens. Em seguida, fez-se ativa a imagem da esquerda eliminando-se a banda que estava no canal azul e em seguida no canal verde (Figuras 25, 32, 39, 46 e 53) e ativando, depois, a imagem da direita eliminou-se a banda que estava no canal vermelho (Figuras 26, 33, 40, 47 e 54). A partir daí foi criado um novo arquivo e copiando as imagens modificadas, uma sobreposta à outra, foi possível gerar os anaglifos das áreas de estudo.

Para a área experimental do Vale do Reginaldo, foram utilizadas as fotografias 17 e 18 do ano de 1974 formando um anaglifo (Figura 27). No entanto, para a área experimental da Lagoa Mundaú foram necessárias as fotografias 685, 687 e 688 obtendo-se, portanto, dois anaglifos: anaglifo 1, com as fotografias 685 e 687 (Figura 34) e anaglifo 2 , com as fotografias 687 e 688 (Figura 41). Com relação ao ano de 1997 para a área do Vale do Reginaldo foram usadas as fotografias 403 e 405 formando um outro anaglifo (Figura 48). Para a área da lagoa Mundaú obteve-se um anaglifo com as fotografias 409 e 411(Figura 55).



Figura 21: Fotografia aérea 18(E)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 22: Fotografia aérea 17(D)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 23: Recorte da fotografia aérea  
18 (E).



Figura 24: Recorte da fotografia aérea  
17 (D)

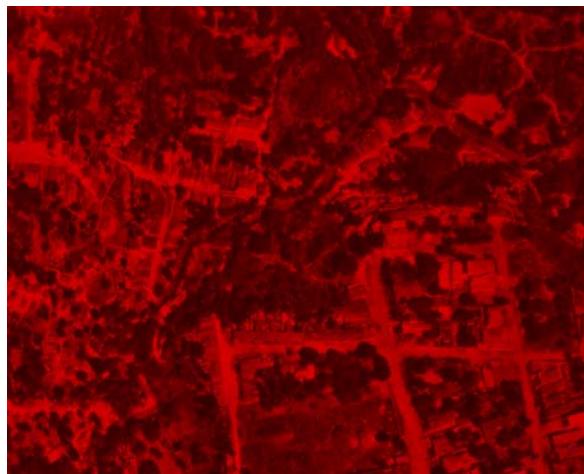


Figura 25: Recorte da fotografia aérea 18 (E) com extração das bandas azul e verde.



Figura 26: Recorte da fotografia aérea 17(D) com extração da banda vermelha.



Figura 27: Anaglifo da área de estudo do “Vale do Reginaldo” (1974)



Figura 28: Fotografia aérea 687(E)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 29: Fotografia aérea 685(D)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 30: Recorte da fotografia aérea 687 (E).



Figura 31: Recorte da fotografia aérea 685 (D)



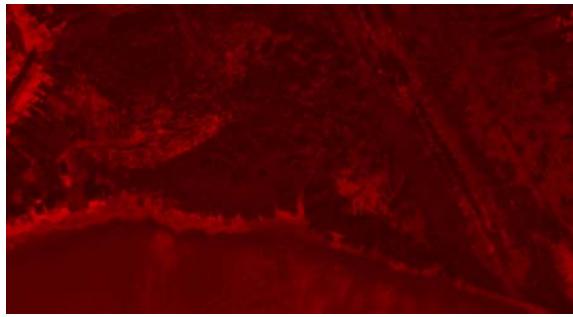


Figura 32: Recorte da fotografia aérea 687 (E) com extração das bandas azul e verde.



Figura 33: Recorte da fotografia aérea 685 (D) com extração da banda vermelha.

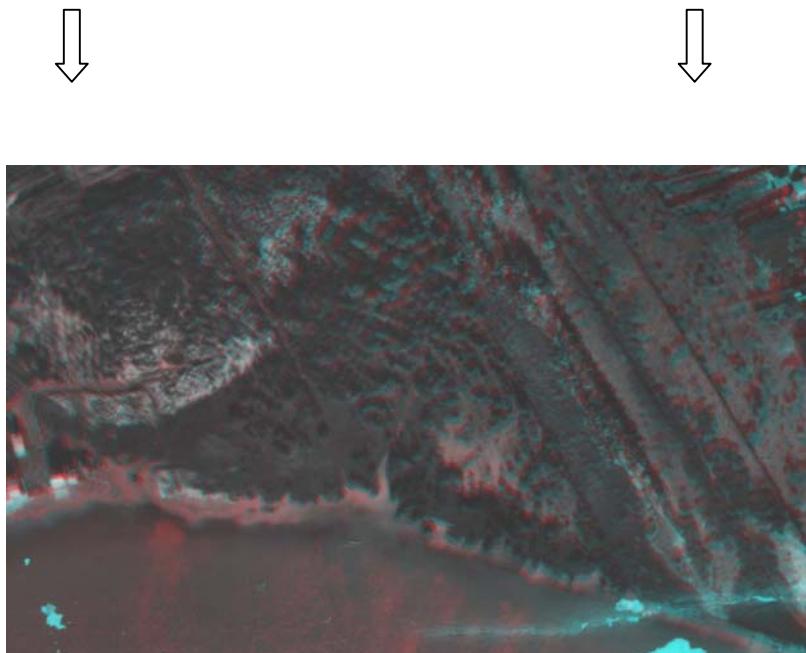


Figura 34: Anaglifo 1 da área de estudo da “Lagoa Mundaú” (1974)



Figura 35: Fotografia aérea 688(E)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 36: Fotografia aérea 687(D)

Escala nominal: 1/5000 (original).

Fonte: Cruzeiro do Sul, 1974.



Figura 37: Recorte da fotografia aérea

688 (E).



Figura 38: Recorte da fotografia aérea

687 (D)

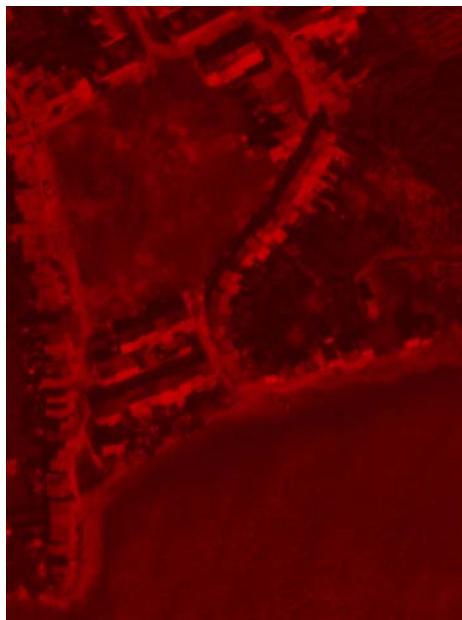


Figura 39: Recorte da fotografia aérea 688 (E) com extração das bandas azul e verde.



Figura 40: Recorte da fotografia aérea 687 (D) com extração da banda vermelha.



Figura 41: Anaglifo 2 da área de estudo da “Lagoa Mundaú” (1974).



Figura 42: Fotografia aérea 405/Fx 9 (E). Escala nominal: 1/6000 (original).

Fonte: Esteio, 1997.



Figura 43: Fotografia aérea 403/Fx 9 (D). Escala nominal: 1/6000 (original).

Fonte: Esteio, 1997.

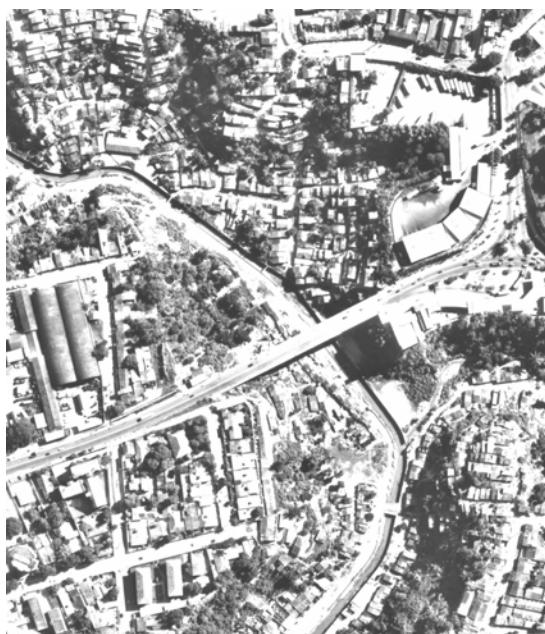


Figura 44: Recorte da fotografia aérea 405/Fx 9 (E).

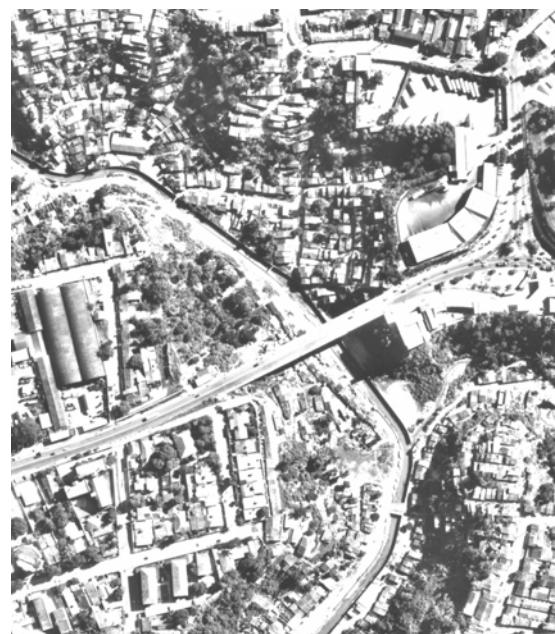


Figura 45: Recorte da fotografia aérea 403/Fx 9 (D)



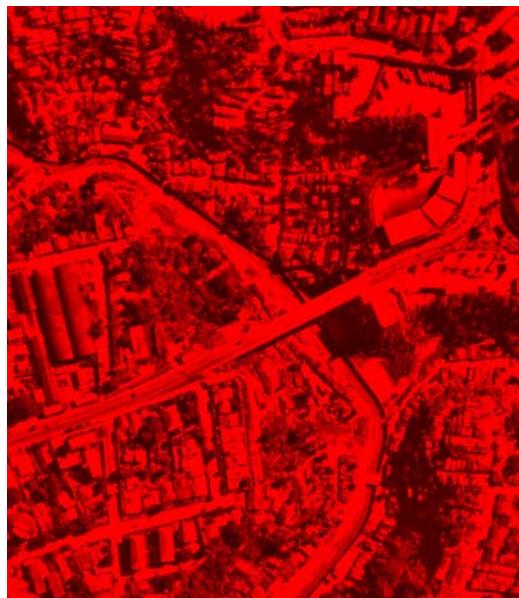


Figura 46: Recorte da fotografia aérea 405/Fx 9 (E) com extração das bandas azul e verde.

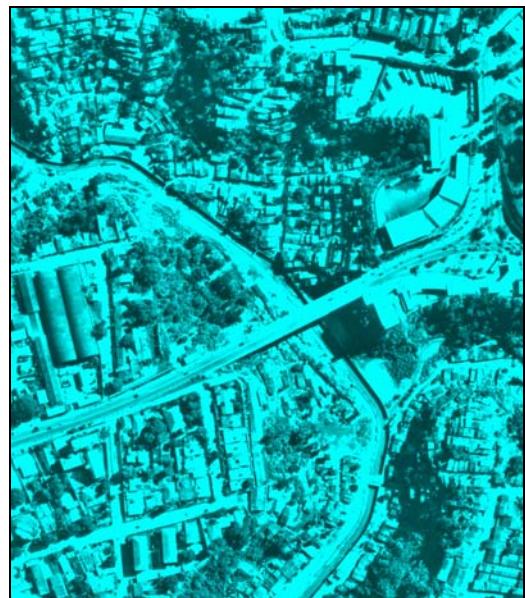


Figura 47: Recorte da fotografia aérea 403/Fx 9 (D) com extração da banda vermelha.



Figura 48: Anaglifo da área de estudo do “Vale do Reginaldo” (1997).



Figura 49: Fotografia aérea 411/Fx 9 (E)  
Escala nominal: 1/6000 (original).

Fonte: Esteio, 1997.



Figura 50: Fotografia aérea 409/Fx 9 (D)  
Escala nominal: 1/6000 (original).

Fonte: Esteio, 1997.



Figura 51: Recorte da fotografia  
aérea 411/Fx 9 (E).

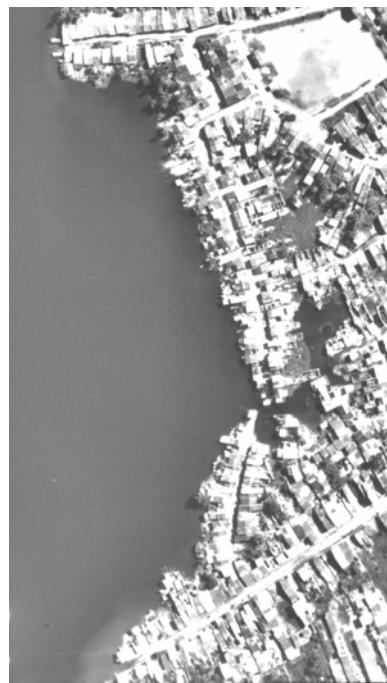


Figura 52: Recorte da fotografia  
aérea 409/Fx 9 (D).



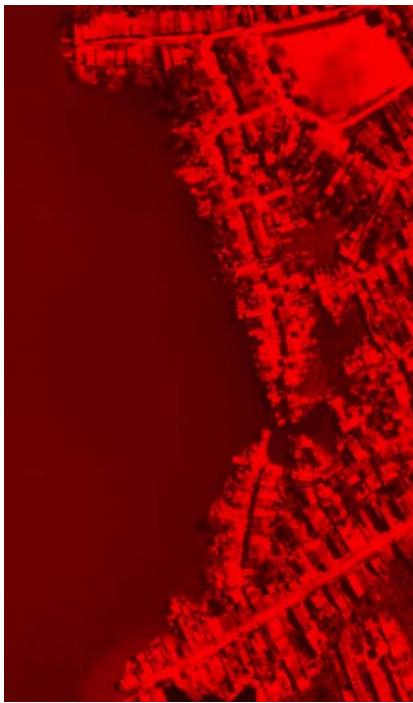


Figura 53: Recorte da fotografia aérea 411/Fx 9 (E) com extração das bandas azul e verde.

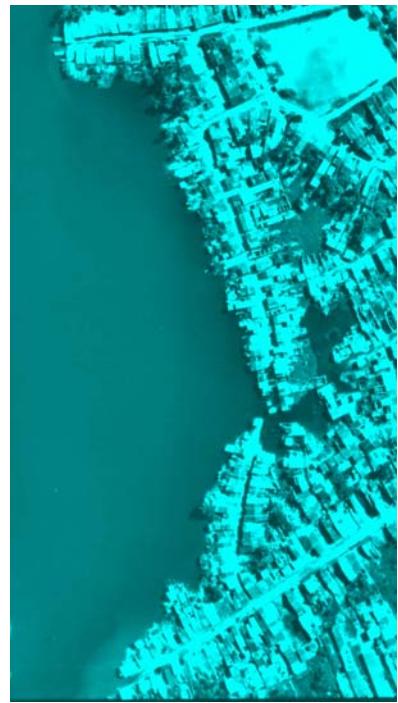


Figura 54: Recorte da fotografia aérea 409/Fx 9 (D) com extração da banda vermelha.

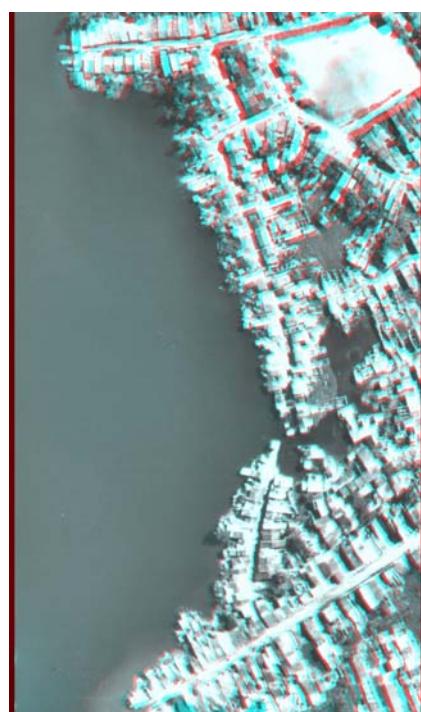


Figura 55: Anaglifo da área de estudo da “Lagoa Mundaú” (1997).

Os anaglifos realizados foram salvos no formato do próprio Photoshop 7.0.1 .psd que é compatível com o FreeHand10 onde foram feitas as interpretações das feições.

#### 4.2.10.2 – Utilizando o programa Anaglyph Maker – Anamaker 1.08

Para testar a elaboração de imagens anaglifo utilizando o Anamaker foram selecionadas as fotografias 405 e 403, de 1997 do Vale do Reginaldo (Figuras 42 e 43), que posteriormente foram recortadas no Photoshop 7.0.1 (Figuras 44 e 45). Haveria a possibilidade de se fazer uso do Photo Editor do Windows. Finalmente importaram-se os recortes salvos em .jpg que é a extensão compatível com o programa (Figura 56).

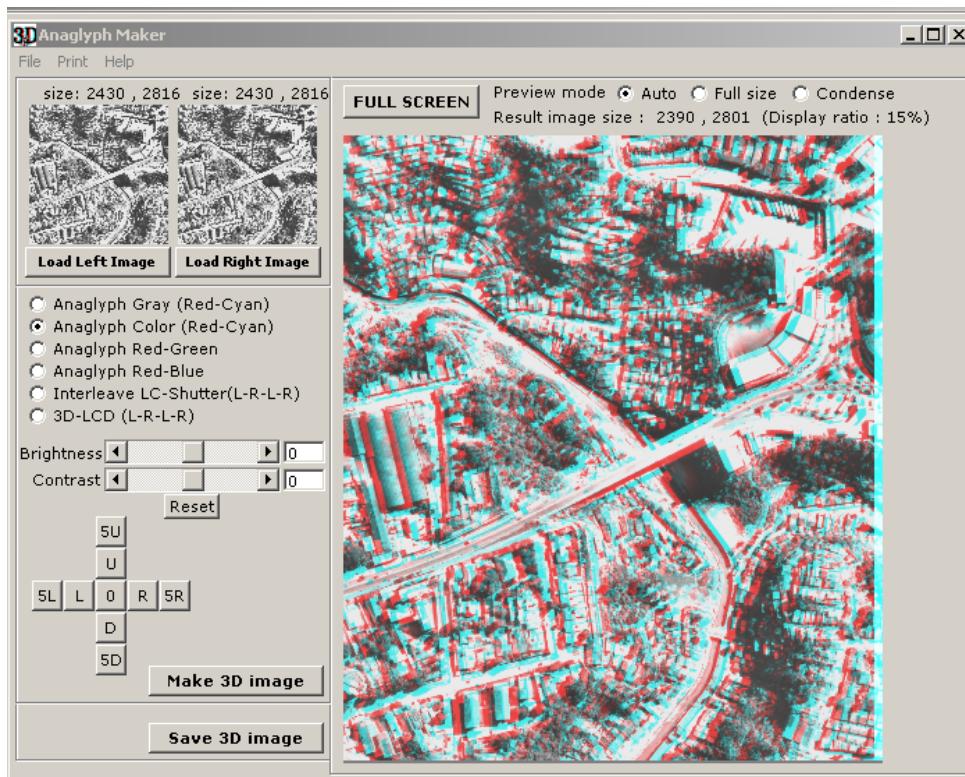


Figura 56: Tela do programa Anamaker.

Uma das dificuldades encontradas é que necessitamos fazer uso de um outro programa tipo Photoshop ou Photo Editor para recortar as fotografias na elaboração dos anaglifos. Além disso, o ajuste para o refinamento do anaglifo é bem mais difícil

do que o utilizado no Photoshop. Em vista do exposto preferiu-se utilizar apenas o Photoshop.

#### **4.2.11- Teste de Validade dos Símbolos e Convenções Adotados.**

Para testar a validade dos símbolos e convenções foram utilizados vários tipos de linhas com variações de espessura, texturas e colorações para que fossem selecionadas as de melhor visualização no resultado final da fotointerpretação.

Com relação às cores adotadas foi feito um estudo para uma variação nas tonalidades por datas, para uma melhor identificação das alterações ocorridas entre as épocas analisadas, como por exemplo:

Para o ano de 1974, utilizou-se rede viária em laranja, rede hidrográfica em azul claro, áreas verdes, verde musgo e habitações em marrom.

No ano de 1997, adotou-se rede viária em vermelho, rede hidrográfica em azul escuro, áreas verdes, verde claro e habitações em preto.

## 5. – RESULTADOS

### 5.1 - Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

A análise espaço-temporal foi desenvolvida estudando-se as áreas através de elementos de reconhecimento como: tom, forma, textura, tamanho, padrão, altura, sombra, local, associação, tempo e densidade, sendo os mais importantes o tom, a forma e a textura, aplicados à rede viária, rede hidrográfica, áreas verdes e habitações existentes, para a avaliação da ação antrópica e evolução natural das áreas e suas consequências utilizando duas datas: 1974 e 1997. Complementarmente, para uma avaliação da evolução das áreas em períodos mais curtos, observando-se a partir de quando ocorreram as maiores alterações nas áreas, foram utilizados os mosaicos das sub-áreas, confeccionados em 1984 pela empresa AEROSUL S/A, na escala de 1:5000, com base em aerofotos convencionais na mesma escala.

Devido à dificuldade encontrada para a identificação das feições com o anaglifo na escala da foto, foram realizados testes para a obtenção de anaglifos com alguns valores de ampliação.

Como resultado dos testes, observou-se que para atingir as ampliações de dez a quinze vezes no programa FreeHand 10, o que torna bem mais cômodo fazer a fotointerpretação das áreas, é necessário salvar os anaglifos no programa Photoshop 7.0.1 com ampliação de quatro vezes.

#### 5.1.1 - Fotointerpretação dos Anaglifos Registrando as Feições com o Programa Freehand 10

Este procedimento iniciou com a importação pelo programa FreeHand10 dos anaglifos obtidos no Adobe Photoshop 7.0.1. Com a utilização de um óculos com filtros vermelho e azul foi realizado o trabalho de fotointerpretação das feições, as quais estão representadas de acordo com os símbolos e convenções adotados no item 4.2.5.

Observando os anaglifos obtidos com ampliação de aproximadamente quatro vezes do recorte da fotografia foi possível fazer ampliações de dez a quinze vezes no FreeHand10 sem que houvesse perda na resolução, o que facilitou a identificação das feições, pois as habitações possuem pequenas dimensões e são bastante densas em determinadas áreas. As figuras 57 e 58 mostram as telas iniciais do programa FreeHand 10 com os anaglifos de 1997, da Lagoa Mundaú e do Vale do Reginaldo e as ampliações realizadas para facilitar as fotointerpretações.

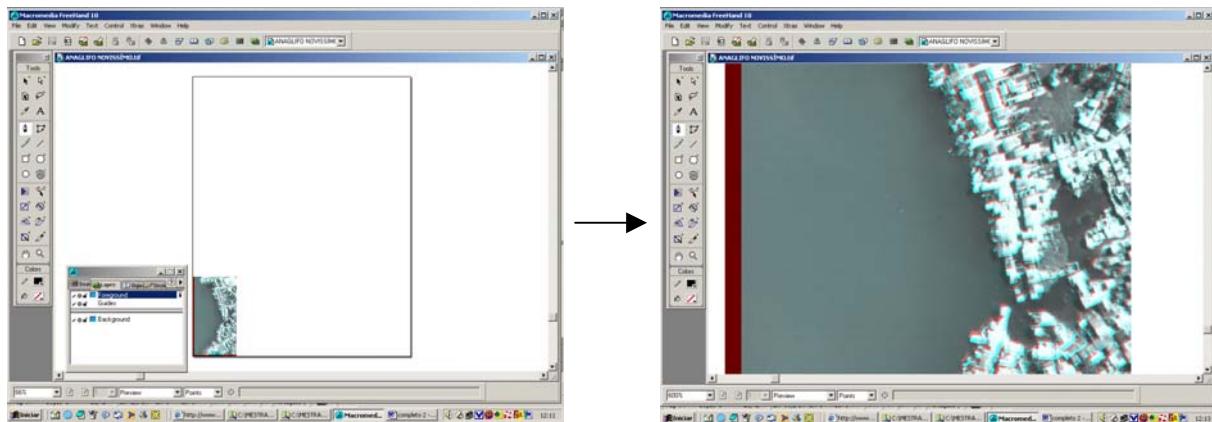


Figura 57: Área experimental da “Lagoa Mundaú”, ano de 1997

a) Tela inicial do programa FreeHand 10

b) Tela inicial com área ampliada em 600%

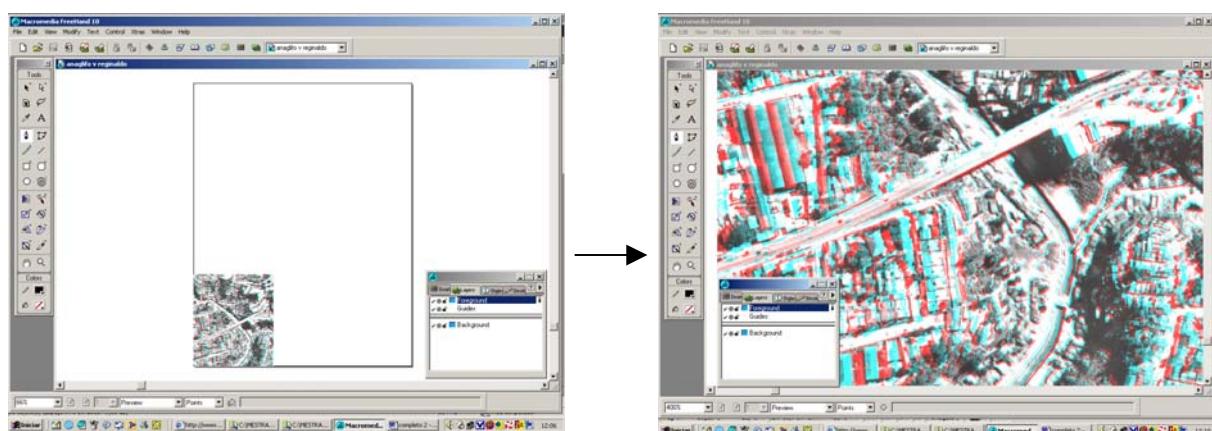


Figura 58: Área experimental do “Vale do Reginaldo”, ano de 1997

a) Tela inicial do programa FreeHand 10

b) Tela inicial com área ampliada em 400%

Para cada feição interpretada foi aberto um *layer*, ficando a divisão da seguinte forma:

- Layer 1 - Rede viária*
- Layer 2 - Rede hidrográfica*
- Layer 3 - Áreas verdes e;*
- Layer 4 – Habitações.*

Para a fotointerpretação na tela do computador foram necessários em média, 4 horas por feição com períodos de descanso de 5 minutos a cada 60 minutos de trabalho devido a densidade e dimensões das habitações, o que exige muito do fotointérprete.

Observando os resultados obtidos nas fotointerpretações pode-se constatar o aumento crescente e constante da degradação das áreas de proteção ambiental que foram objeto de estudo. Entre as datas, consideradas, ocorreu um aumento grande no número de edificações nas duas áreas, consequentemente a diminuição das áreas verdes principalmente de vegetação nativa, prevalecendo atualmente o cultivo de árvores frutíferas ou de vegetação inadequada para os locais como no caso das encostas.

A rede viária foi expandida com o aparecimento de ruas e becos e a rede hidrográfica também sofreu algumas alterações.

Desta forma segue abaixo uma análise detalhada da situação das áreas de estudo nas datas avaliadas.

Rede viária: na área do Vale do Reginaldo, no ano de 1974, já existia o traçado da maioria das vias de acesso e circulação interna. No entanto, verifica-se em 1997 o surgimento de novas vias como a encontrada ao longo do canal, novos becos e o crescimento das vias externas que dão acesso à área, onde foi realizada a construção do viaduto e de avenidas de grande importância para o desenvolvimento da cidade (Figuras 59 e 62).

O padrão da rede viária na área da Lagoa Mundaú se manteve, porém surgiram novas vias de acesso onde anteriormente haviam áreas de mangue (Figuras 60,61 e 64).

**Rede hidrográfica:** Em 1974 o canal do Vale do Reginaldo possuía um traçado natural, com variações de largura ao longo do seu percurso; nas fotografias de 1997 observamos um traçado um pouco modificado e o canal totalmente revestido de concreto, as áreas de talvegue invadidas por edificações com os cortes irregulares das barreiras (Figuras 59 e 62).

Na área da Lagoa Mundaú entre 1974 e 1997 houve uma redução nas áreas alagadas, pois partes destas foram aterradas para a construção de edificações. Ocorreu também o desaparecimento de canais e um avanço nas margens da lagoa, conforme pode-se visualizar nas figuras 60, 61 e 64 da fotointerpretação.

**Áreas verdes:** Pode-se verificar uma grande redução da vegetação nativa entre os anos de 1974 e 1997 nas duas áreas, sendo a principal causa dessa redução o adensamento das habitações.

Na área do Vale do Reginaldo grande parte da vegetação frutífera e arbustiva de 1974 foi degradada, sendo o local ocupado por habitações ou o solo exposto (Figuras 59 e 62).

A vegetação primitiva na Lagoa Mundaú, em 1974 foi quase totalmente erradicada restando apenas um pouco de vegetação herbácea e o aparecimento de algumas árvores frutíferas (Figuras 60,61 e 64).

**Habitações:** O número de edificações no Vale do Reginaldo em 1974 era de 128 unidades enquanto que em 1997 esse número era de 715 unidades, ocorrendo um crescimento de 458,59% (Figuras 59 e 63). Esse aumento na quantidade de edificações acarretou na diminuição das áreas verdes e na ocupação do talvegue aumentando o risco de desmoronamentos nas épocas chuvosas.

Para a área da Lagoa Mundaú tem-se em 1974, um número de 97 unidades habitacionais e em 1997, 497 unidades, portanto um acréscimo de 412,37% (Figuras 60, 61 e 65).

Como o período de tempo entre as fotografias disponíveis era muito longo (23 anos) e a dinâmica nesses locais é muito intensa sentiu-se a necessidade de uma análise em uma data intermediária trabalhando-se, portanto em três datas: 1974, 1984 e 1997. As informações de 1984 foram retiradas de um mosaico das áreas de estudo, executado pela empresa Aerosul S/A, onde se observa que o maior crescimento e consequentemente a maior degradação das áreas ocorreram entre 1984 e 1997, de acordo com os seguintes dados:

#### Vale do Reginaldo

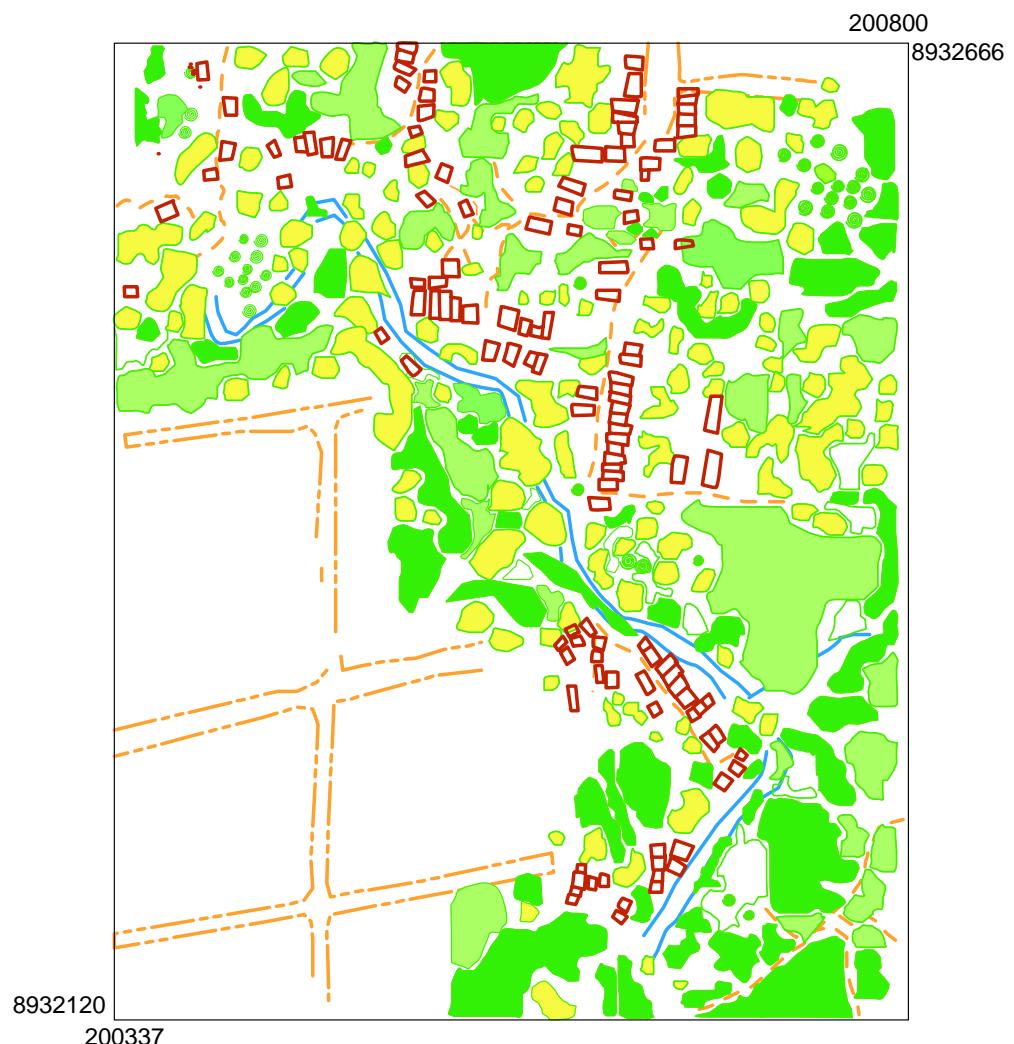
De 1974 para 1984, o número de habitações passou de 128 para 203, havendo um crescimento de 58,59%.

De 1984 para 1997, o número de habitações aumentou de 203 para 715 unidades, gerando um crescimento de 252,21%.

#### Lagoa Mundaú

De 1974 para 1984, as habitações passaram de 102 para 179 unidades, com crescimento de 75,49%.

De 1984 para 1997, o número de habitações cresceu de 179 para 497, sendo o crescimento de 177,65%.



**Legenda:**

**Rede viária**

Vias de pavimento solto



Vias só para pedestre



**Rede hidrográfica**

Canal



**Habitação**



**Áreas verdes**

Vegetação frutífera



Vegetação frutífera



Coqueiro



Vegetação arbustiva



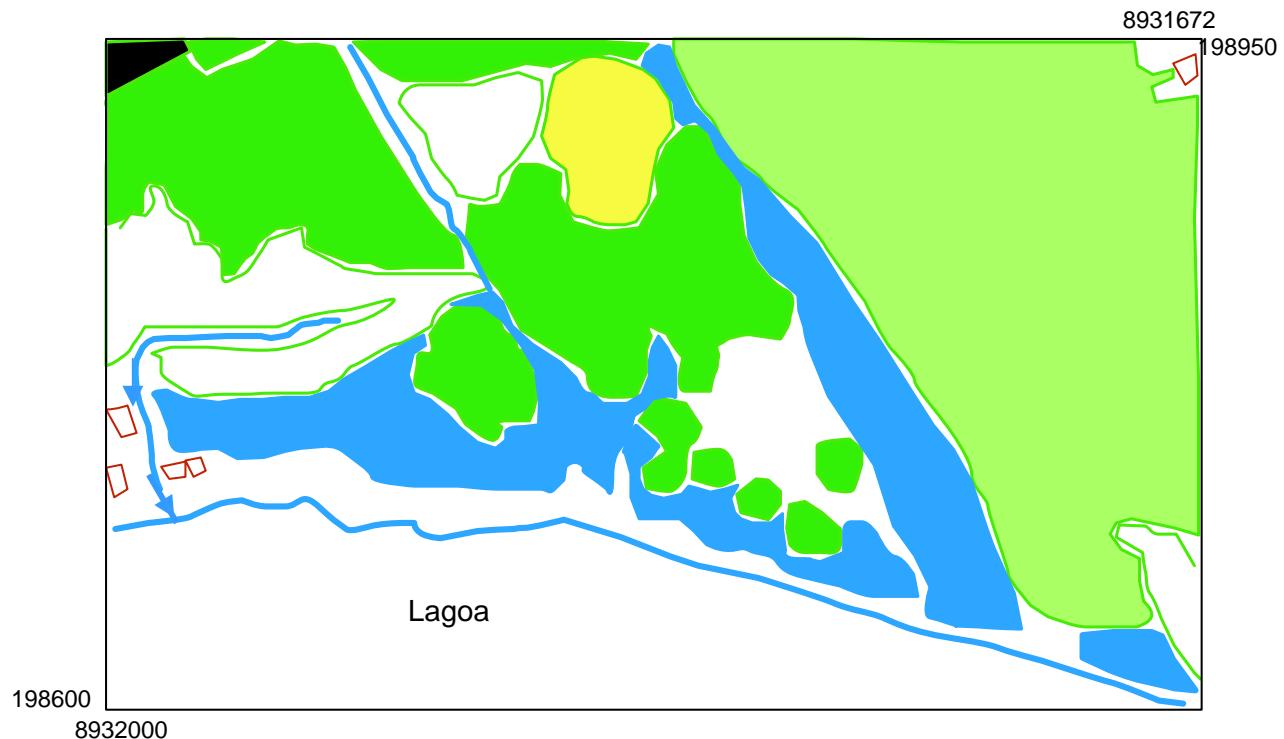
Vegetação herbácea



**Solo exposto**



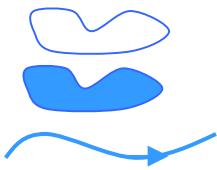
Figura 59: Interpretação da sub-área do “Vale do Reginaldo”, ano de 1974



**Legenda:**

**Rede hidrográfica**

Lagoa



Alagado



Canal



**Habitação**



**Áreas verdes**

Vegetação frutífera



Vegetação arbustiva



Vegetação herbácea



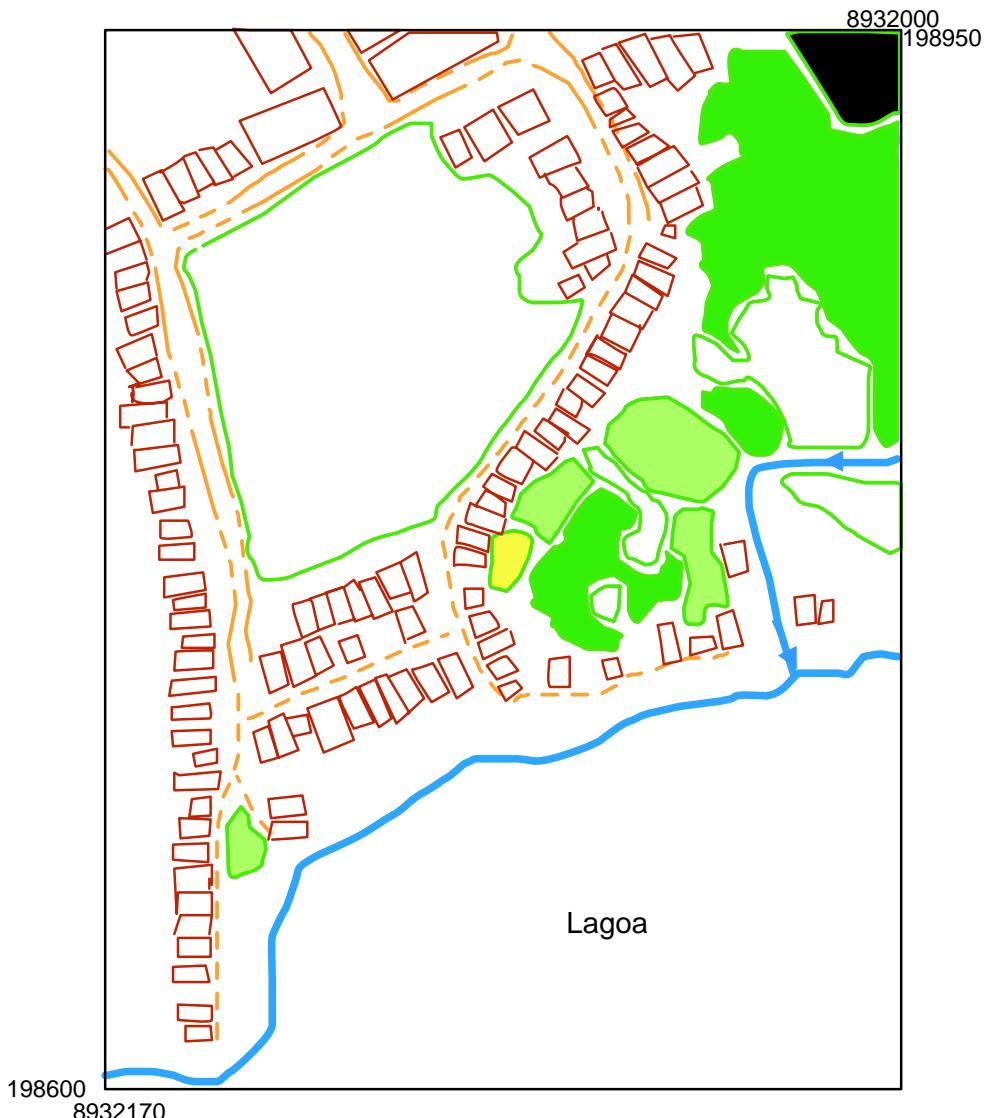
Solo exposto



Horta



Figura 60: Interpretação do anaglifo 1 da sub-área da “Lagoa Mundaú”, ano de 1974



**Legenda:**

**Rede viária**

Vias de pavimento solto

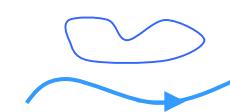


Vias só para pedestre



**Rede hidrográfica**

Lagoa



Canal

**Áreas verdes**

Vegetação frutífera



Vegetação arbustiva



Vegetação herbácea



Horta



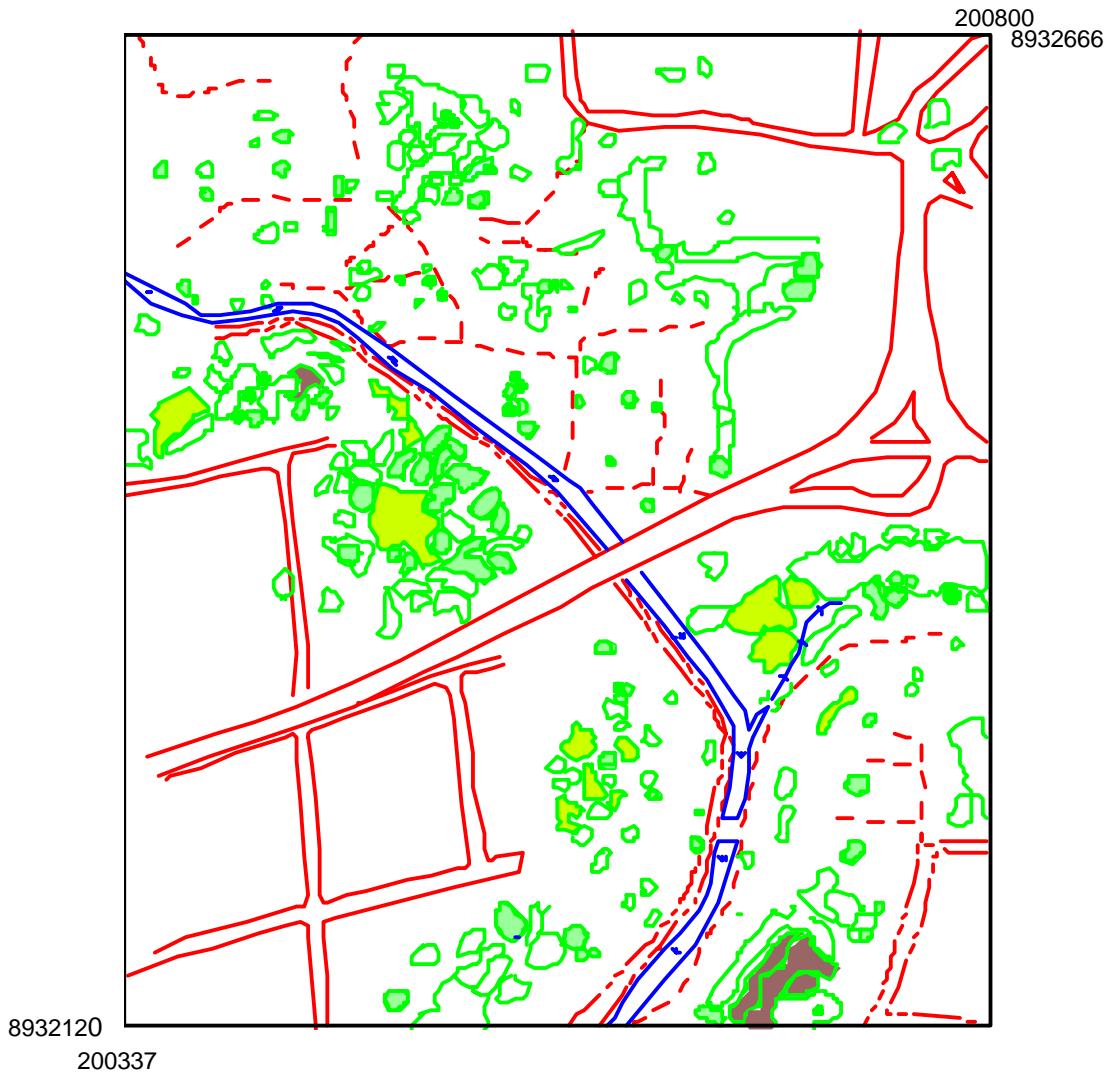
Solo exposto



**Habitação**



Figura 61: Interpretação do anaglifo 2 da sub-área da “Lagoa Mundaú”, ano de 1974



**Legenda:**

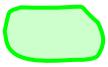
**Rede viária**

Vias pavimentadas



**Áreas verdes**

Vegetação frutífera



Vias de pavimento solto



Coqueiro

Vias só para pedestre



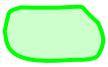
Vegetação arbustiva

**Rede hidrográfica**

Canal



Solo exposto



Rio intermitente (talvegue)



Vegetação herbácea

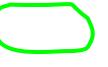
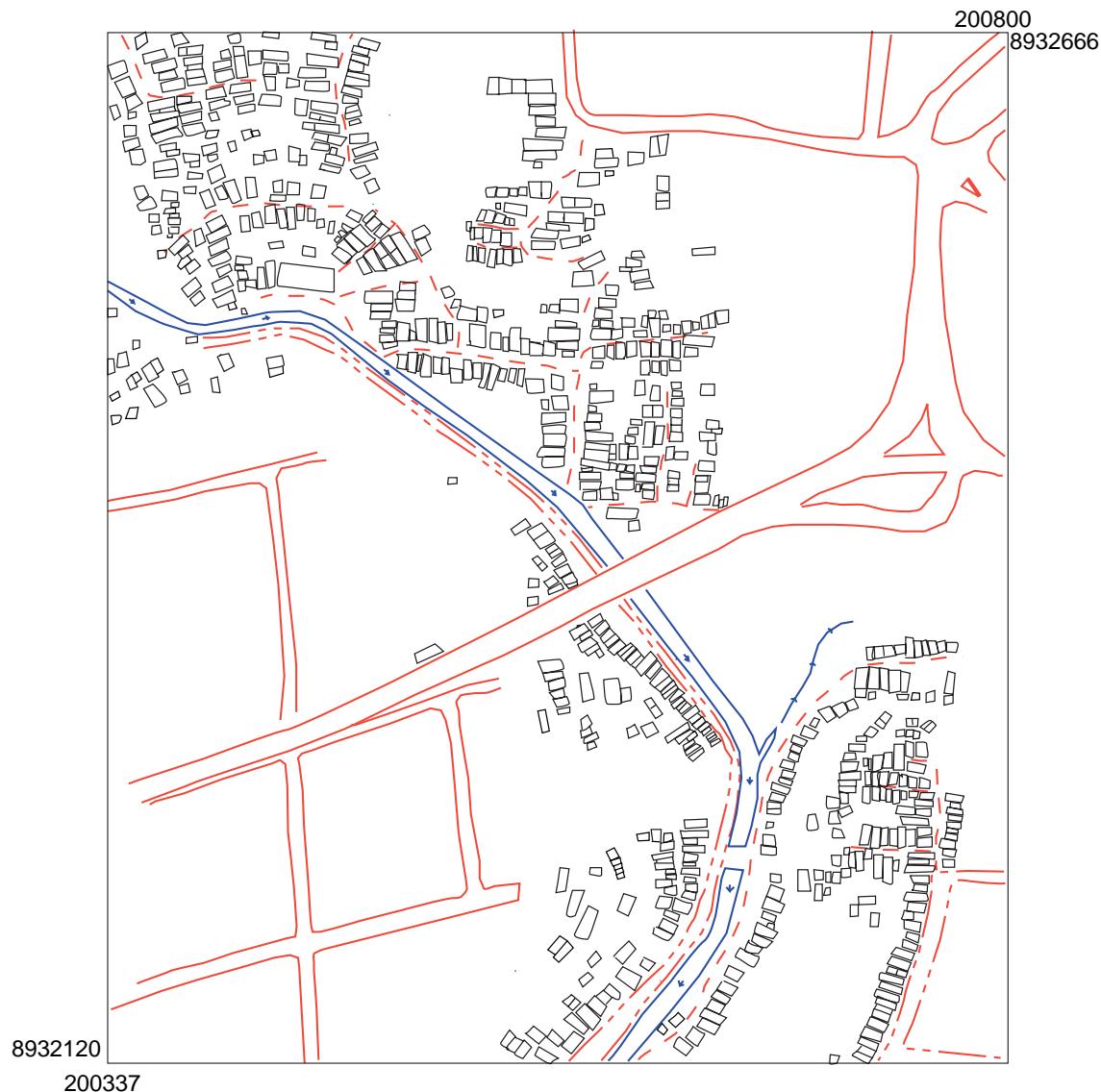


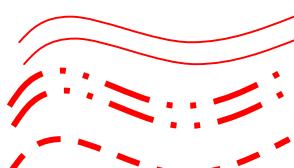
Figura 62: Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e áreas verdes da sub-área do "Vale do Reginaldo", ano de 1997.



### Legenda:

#### Rede viária

- Vias pavimentadas
- Vias de pavimento solto
- Vias só para pedestre



#### Rede hidrográfica

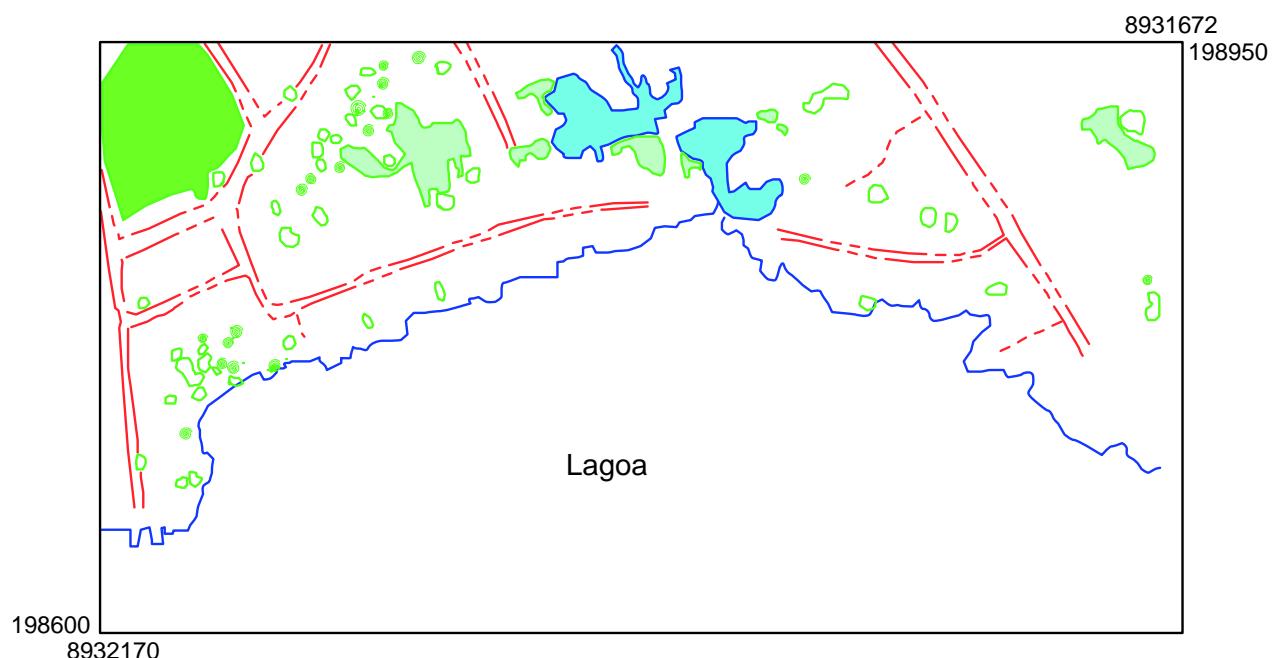
- Canal
- Rio intermitente (talvegue)



#### Habitação



Figura 63: Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e habitações da sub-área do “Vale do Reginaldo”, ano de 1997.



**Legenda:**

**Rede viária**

Vias pavimentadas



Vias de pavimento solto



Vias só para pedestre



**Rede hidrográfica**

Lagoa



Alagado



**Áreas verdes**

Vegetação frutífera



Vegetação frutífera



Coqueiro

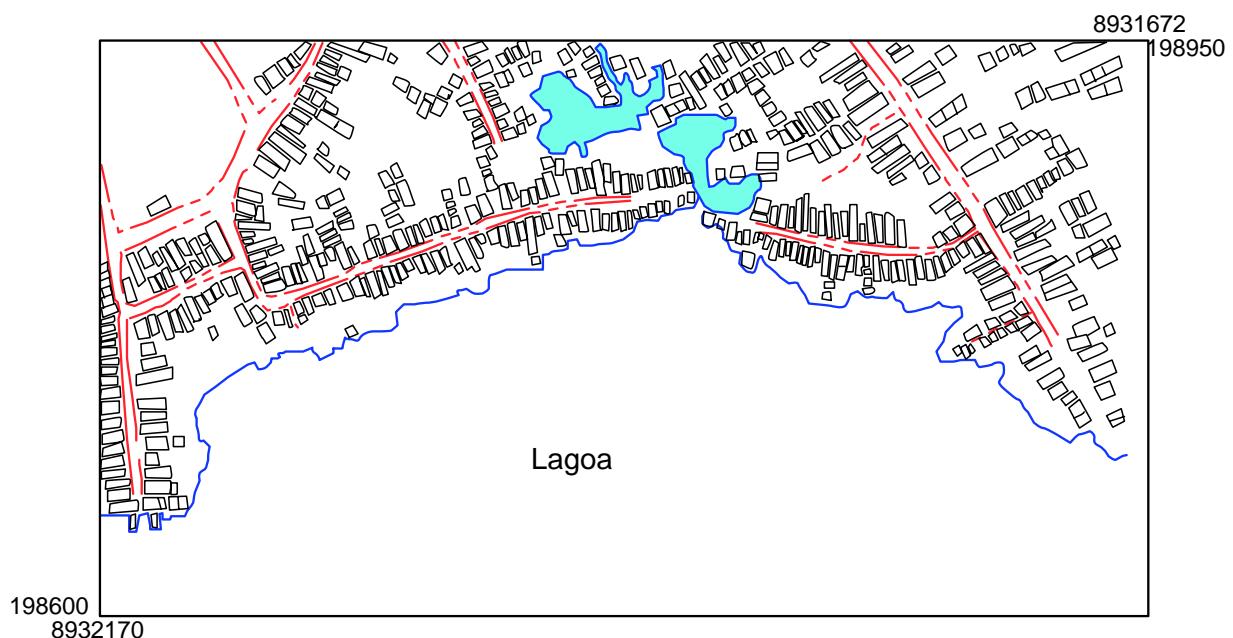
Vegetação herbácea



Solo exposto



Figura 64: Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e áreas verdes da subárea da "Lagoa Mundaú", ano de 1997.



**Legenda:**

**Rede viária**

Vias pavimentadas



Vias de pavimento solto

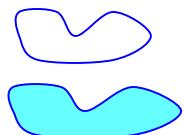


Vias só para pedestre

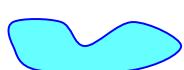


**Rede hidrográfica**

Lagoa



Alagado



**Habitação**



Figura 65: Interpretação da rede viária, rede hidrográfica e habitações da sub-área da "Lagoa Mundaú", ano de 1997.

## **5.2 - Verificação, em Campo, da Fotointerpretação.**

Para desenvolver este tipo de verificação é necessário que o trabalho de gabinete seja realizado logo após o sobrevôo. Assim as informações obtidas devem se aproximar muito da realidade. No caso deste estudo houve um intervalo de tempo, das ultimas fotografias, de oito anos. Isto tornou esta verificação parcial porque as alterações nos assentamentos irregulares são constantes. Nas verificações em campo foram observadas diversas modificações que ocorreram não só em relação às fotografias de 1997, como também nas duas visitas em campo, uma em novembro de 2004 e a outra em março de 2005.

Com relação às fotografias de 1997 da área do Vale do Reginaldo e da Lagoa Mundaú e a verificação em campo, constatou-se um acréscimo na quantidade de habitações e uma melhoria no material das existentes, onde, devido à ocupação total dos lotes e em função das pequenas dimensões, os acréscimos ocorreram na vertical. Verificou-se na amostra do Vale do Reginaldo que existem atualmente 84 habitações enquanto que a fotointerpretação indicou 76 habitações. Quanto a amostra observada na Lagoa Mundaú obteve-se 37 edificações para 37 na fotointerpretação, pois a amostra foi em uma área consolidada onde não ocorreram alterações.

No Vale do Reginaldo a vegetação encontra-se mais reduzida predominando árvores frutíferas e um pouco de vegetação arbustiva e herbácea. A vegetação não é própria para o local devido ao tipo de raiz inadequada e também aos cortes realizados nas encostas que pode acarretar saturação do solo causando deslizamentos. Na área do talvegue houve um acréscimo no número de habitações e um aumento de cortes irregulares das barreiras.

Na área da lagoa encontram-se um pouco de vegetação herbácea e algumas árvores frutíferas, principalmente coqueiros.

O padrão da rede viária se manteve nas duas áreas, ocorrendo apenas o aparecimento de algumas vias alternativas ou “becos”.

A rede hidrográfica do Vale do Reginaldo manteve-se da mesma forma tendo em vista que em 1997 o canal já estava revestido de concreto, assoreado e com bastante lixo. Na área da lagoa ocorreu a diminuição das áreas alagadas invadidas por habitações, como também o avanço das habitações nas margens.

### **5.3 - Análise e Discussão dos Resultados da Fotointerpretação x Planta Cadastral**

Para a análise da fotointerpretação das feições nas fotografias aéreas em comparação com a base cartográfica digital da cidade de Maceió, foram levadas em consideração apenas as fotointerpretações de 1997, tendo em vista que a base foi realizada com a restituição das mesmas fotografias.

Na área do Vale do Reginaldo tivemos como resultado um número de 715 habitações na fotointerpretação e de 699 na base cartográfica, o que nos dá um erro de comissão de 2,23%. Na área da lagoa Mundaú foram identificadas 497 habitações enquanto que na base cartográfica temos 517, portanto foi cometido um erro de omissão de 3,86%, um erro ocorrido talvez devido às dimensões bastante reduzidas das habitações e por ser um local plano onde os telhados se confundem.

Como as áreas estudadas têm topografias distintas pode-se perceber que na interpretação da área de relevo acidentado foi bem mais fácil a identificação das feições, no entanto na área de planície o processo foi um pouco mais demorado e cansativo.

Com relação à rede viária e hidrográfica não foi observada nenhuma alteração nas delimitações das duas áreas, assim como nas áreas verdes, considerando a análise dos resultados da fotointerpretação e da base cartográfica.

As tabelas 1 e 2 resumem os resultados comparativos da Fotointerpretação x Planta Cadastral.

Tabela 1- Resumo dos resultados para a área experimental do Vale do Reginaldo

Nº Habitações		Erro
Fotointerpretação	Base Cartográfica	
715	699	+2,23

Tabela 2- Resumo dos resultados para a área experimental da Lagoa Mundaú

Nº Habitações		Erro
Fotointerpretação	Base Cartográfica	
497	517	-3,86%

## 6.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A dinâmica dos assentamentos existentes nas áreas experimentais é enfatizada quando em curtos espaços de tempo, como por exemplo, nas duas verificações feitas em campo, novembro de 2004 e março de 2005, percebem-se o surgimento de novos locais ocupados por habitações precárias de papelão ou madeira, em áreas anteriormente de vegetação nativa ou nas margens da lagoa. Encontram-se também casas reformadas com uma melhoria nos materiais ou na verticalização destas por causa da ocupação dos lotes na sua totalidade e em função das suas pequenas dimensões.

As fotointerpretações realizadas nos anaglifos constituem uma ferramenta para análise espaço-temporal através da gama de informações extraídas, que permitem avaliar a dinâmica da ocupação antrópica, consolidando como metodologia importante para o planejamento de projetos e ações de cunho social, econômico e estruturador, pois estas possibilitam a compreensão das áreas como um todo, bem como sobre áreas isoladas.

Com a utilização do mosaico para a determinação do número de habitações existentes no ano de 1984, pode-se perceber que a quantificação e interpretação realizadas nos anaglifos são bem mais cômodas e eficientes.

A inexistência ou precariedade de informações cartográficas em Maceió e, especialmente nas diversas Secretarias da Prefeitura Municipal sobre as áreas foi uma dificuldade para desenvolver um trabalho mais consistente. Inclusive os Correios onde os carteiros utilizam uma metodologia própria para acessar os diversos endereços nos assentamentos irregulares confeccionando seus próprios croquis.

Uma das dificuldades encontradas na utilização do Anaglyph Maker foi a necessidade de usar um outro programa, tipo Adobe Photoshop ou Photo Editor, para recortar as fotografias na elaboração dos anaglifos. Além disso, o ajuste para o refinamento do anaglifo é bem mais difícil do que o utilizado no Photoshop. Em vista do exposto optou-se por utilizar apenas o Adobe Photoshop 7. 0. 1 neste trabalho.

O treinamento para utilização do programa FreeHand 10 é rápido quando comparado com outros programas de CAD; é possível utilizá-lo com aproximadamente 8h de treinamento. É uma ferramenta que admite vetorizar os aspectos fotointerpretados com facilidade e permite estabelecer diferentes tipos e espessuras de linhas e cores. A partir de *layers* podem-se observar os diversos temas isoladamente ou em conjunto.

O programa FreeHand 10 permite uma boa fotointerpretação temática, não permitindo, contudo, obter valores numéricos das áreas traçadas;

Os parâmetros fotointerpretativos tom, forma, tamanho, textura e densidade, padrão, altura, local, convergência de evidências e tempo foram adequados e suficientes para atingir os objetivos colimados. Quanto à sombra verificou-se que esse elemento foi prejudicial em algumas situações.

O médio ou o pequeno formato, como utilizado por SCHULER e ARAUJO (2005), podem auxiliar na complementação de informações atualizadas para a identificação e quantificação das ocupações subnormais. As vantagens estão basicamente na rapidez de obtenção, baixo custo e a cor que ajuda especialmente na identificação dos tipos de edificações.

A necessidade de proteção ambiental das áreas ocupadas por assentamentos irregulares causa vários conflitos urbanos com grandes desafios ocorrendo processos excludentes que afetam as populações urbanas e as soluções vão além dos limites das normas urbanísticas. Assim, é imprescindível que se estabeleçam mecanismos de constante avaliação e proteção ambiental que garantam a existência das gerações futuras com projetos de ação de acordo com as realidades dessas áreas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, A. P. A. de. **Mapeamento de Risco em Encostas Urbanas Ocupadas.** Monografia de Especialização, Programa de Pós Graduação em Mensuração. Universidade Federal de Alagoas. Maceió/AL, 2003. 56 p.
- ALMEIDA, M. A. P. de; ABIKO, A. K. **Indicadores de Salubridade Ambiental em Favelas Localizadas em Áreas de Proteção aos Mananciais: O caso da favela Jardim Floresta.** São Paulo: EPUSP, 2000. 28p.
- AMORIM, A. **Utilização de Modelos Estereoscópicos Híbridos na Atualização Cartográfica.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 2000. 138 p.
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** Curitiba: SBEE. 1998, 259p.
- ANDERSON, P. S. **Fundamentos para Fotointerpretação.** Editor-coordenador: Paul S. Anderson. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982.135p.
- ANJOS, C. A. M. dos. **Estudo da Estabilidade de Encostas em Maceió.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1992. 177p.
- ARRUDA JUNIOR, E. R. **“Mosaicagem” de Imagens Digitais.** Dissertação de mestrado – FCT/UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente - SP. 2002. 92 p.
- BRITO, J. N.; COELHO, L. **Fotogrametria Digital.** Instituto Militar de Engenharia. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, Brasil: 2002. 212 p.
- COHAB. **Levantamento Sócio-Econômico Vila Brejal.** Relatório da Prefeitura Municipal de Maceió. Maceió/AL, 1990.
- CORDEIRO, A. S.; SILVEIRA, W. J. da C. **Loteamentos Populares e Autoconstrução em Florianópolis/SC:** Um estudo na Barra do Sambaqui. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL: Florianópolis, 10 a 14 de outubro de 2004. Publicado em mídia magnética.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** IG/UNICAMP. Campinas, SP. 1992. 170p.
- DISPERATI, A. A. **Fotografias Aéreas Inclinadas.** Curitiba: Editora da UFPR, 1995. 113p.
- \_\_\_\_\_ ; OLIVEIRA FILHO, P. C. **Uso de Anaglifos Digitais como Ferramenta Auxiliar em Fotointerpretação Ambiental.** Revista Ciências Exatas e Naturais, Guarapuana, PR. 2005. (no prelo)

- FEDOROV, D. **Sistema Semi-Automático de Registro e Mosaico de Imagens.** Dissertação de mestrado – INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2002, 147p.
- FREITAS, J. C. de. **O Estatuto da Cidade e o Equilíbrio no Espaço Urbano.** Disponível em <http://www.mp.sp.gov.br/caouma/Doutrina/Urb/O%20EstatutoFreitas.htm>. Último acesso em 10 de Fevereiro de 2005.
- GARCIA, G. J.; **Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens.** São Paulo, Nobel. 1982. 357p.
- GONZÁLEZ, A. **3D StereoWeb 2000.** Disponível em: <http://www.users.red3i.es/~stereoweb/> . Último acesso em 17 de Novembro de 2004.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing.** Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- GÜLCH, E.; **Softcopy Photogrammetric Workstations.** In: Digital photogrammetry: In Addendum to the Manual of Photogrammetry. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Maryland, USA, 1996. p. 213-226.
- ISM, International Systemap Corporation. **The Fundamentals of Digital Photogrammetry.** Vancouver. Canadá. 2000.
- LIMA, C. de A. **Considerações sobre Ocupações Irregulares e Parcelamento Urbano em Áreas de Mananciais da Região Metropolitana de Curitiba- PR.** In: Desenvolvimento e Meio Ambiente. Editora da UFPR, n.3. Jan/Jun. 2001, p. 97-114.
- LIMA, P. A.; **Legislação Ambiental e Sustentabilidade: Análise da Efetividade dos Instrumentos de Gestão do Código Municipal do Meio Ambiente de Maceió.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió-AL, 2003. 147 p.
- LOCH, R.E.N. **Solução de Baixo Custo para o Ensino da Interpretação Visual de Aerofotos em Meio Digital.** In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL.: Florianópolis, 10 a 14 de outubro de 2004. Publicado em mídia magnética.
- LOCH, C.; LAPOLLI, E. M. **Elementos Básicos da Fotogrametria e sua Utilização Prática.** 2<sup>a</sup>.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989. 87p.
- MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação.** 1<sup>a</sup> ed. São Paulo-SP: Nobel 1986, 257p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br> . Último acesso em 10 de Janeiro de 2005.

National Aeronautical and Spatial Administration (NASA). *Mars Pathfinder*. 1999 (online). JPL. Disponível em : <http://mpfwww.jpl.nasa.gov/mpf/>. Último acesso em 18 de novembro de 2004.

PAREDES, E. A. **Introdução à Aerofotogrametria para Engenheiros.** V.1, Maringá-PR. CNPq; CONCITEC. 1986, 493p.

PARKER, T. **3-D High res Anaglyphs.** National Aeronautical and Spatial Administration (NASA).JPL. Disponível em:  
<http://mpfwww.jpl.nasa.gov/parker/>. Último acesso em 18 de novembro de 2004.

ROCHA, C. H. O.; PIORNO, J. L.; FREIRE, R. R.; MEDINA, I. A. **Uma Discussão Histórica Sobre a Fotogrametria.** In: Congresso Brasileiro de Cartografia (XXI: Belo Horizonte: 29/9 a 3/10/2003). Anais publicado em mídia magnética, n. p. 10 p.

ROSSETTO, A. M.; ORTH, D. M.; ROSSETTO, C. R.; FÁVERO, R. **Avaliação Integrada a Sustentabilidade de Cidades.** In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL. Florianópolis, 10 a 14 de outubro de 2004. Publicado em mídia magnética.

SÁNCHEZ, M. C. F. **Imágenes em Tres Dimensiones.** Revista de Comunicación Social, Julio de 2000. Disponível em: <http://www.ull.es/publicaciones/latina> Último acesso em 17 de novembro de 2004.

SCHULER, C. A. B. **Avaliação de Danos Causados por *Dirphiopsis Epiolina* R. Felder em Povoamentos de Bracatinga - *Mimosa Scabrella* Bentham, Manejados pelo Sistema Tradicional, Através de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato.** 1995. Tese de doutorado. Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais – Área de Manejo Florestal/Especialidade: Fotointerpretação Florestal. Universidade Federal do Paraná. 208 p.

\_\_\_\_\_ ; FARIAS, E. S.; MENDES, E. B.; SANTOS, F. A. F. **Evolução Espaço-Temporal da ZEIS Brasília Teimosa – Recife/PE:** avaliação por fotointerpretação e verdade terrestre. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL. Florianópolis, 10 a 14 de outubro de 2004. Publicado em mídia magnética.

\_\_\_\_\_ ; ARAUJO, L. L. **Detecção de Assentamentos Irregulares em Áreas de Risco e Classificação das Habitações Utilizando Imagens Anaglifo - Uma Forma de Apoiar o Planejamento Urbano.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, (SBSR), 16 – 21 de abril 2005, Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos. CD-ROM, On line. ISBN 85-17-00018-8.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Cenário 2005. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br> . Último acesso em 10 de Janeiro de 2005.

SILVA, I. da. **As Facilidades da Fotogrametria Digital para o Uso na Engenharia Florestal.** In: Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal. Editores Attilio Antonio Disperati, João Roberto dos Santos. Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda, 2004. p.86 a 95.

SOUZA, M. L. de. **ABC do Desenvolvimento Urbano.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 192p.

TENG, W. L. **Fundamentals of Photographic Interpretation.** In: Manual of photographic interpretation. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Maryland, USA. 2<sup>a</sup> ed. 1997. 689 p.

WELCH, R.; JORDAN, T. R. **Scanned Aerial Photographs and Desktop Mapping/GIS.** 1996. Disponível em: <http://www.rwel.com/chapter3.htm> Último acesso 04 de Março de 2004.

WOLF, P.R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry:** With applications in GIS, 3 ed. U.S.A.: McGraw- Hill Book Company. 2000, 607p.