

Rodrigo Rocha de Assis

**UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS E AÉREAS NO ESTUDO DA OCUPAÇÃO
E PLANEJAMENTO URBANO**



Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geoprocessamento da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento.

ORIENTADOR: Philippe Maillard

2001

Assis, Rodrigo Rocha de
Título. Utilização de Imagens Orbitais e Aéreas no Estudo da Ocupação e Planejamento Urbano, 2001.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais.
Departamento de Cartografia.

1. palavra chave: Planejamento Urbano, Imagens Orbitais.
Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar a utilização de tecnologias de sensoriamento remoto, especialmente aerofotografia e imagens de satélite de alta resolução para a geração de bases cartográficas digitais, atualização de dados e geração de informação para o planejamento urbano.

Como a dinâmica de crescimento das grandes cidades é muito rápida e algumas vezes imprevisível, a necessidade de utilização de dados atualizados é fundamental para a administração do espaço urbano. Imagens obtidas em Aerolevantamentos, em intervalos de 12 meses, por exemplo, talvez não atendam mais às necessidades das prefeituras das grandes cidades. Por outro lado, o custo de um levantamento mais freqüente pode se tornar inviável. Entretanto novas tecnologias estão surgindo como as imagens de satélites de alta resolução, prometendo resoluções espaciais compatíveis com as conhecidas ortofotos, periodicidade de atualização até semanal e com custos que só tendem a cair, como toda nova tecnologia.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the use of remote sensing technologies, especially aerofotographs and high resolution satellite images for the generation of digital cartographic bases and information for urban planning of the cities.

Though the dynamic growing of the big cities is very fast and some times unexpected, the necessity of updated data is fundamental for the urban space administration. Aerial surveys, within 12 months intervals, for example, doesn't fulfil the great City Halls anymore. Meanwhile, the high costs of a constant survey me be unpracticable. Meanwhile new technologies are emerging, like the righ resolution satellite images, with spatial resolutions close to the orthophotos resolutions and able to be uptodated weekly, whith decreasing costs.

SUMÁRIO

<u>RESUMO</u>	3
<u>ABSTRACT</u>	3
<u>SUMÁRIO</u>	4
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	6
<u>2 - ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA</u>	7
<u>3 - O PAPEL DA FOTOGRAMETRIA NO PLANEJAMENTO URBANO</u>	9
<u>4 - IMAGENS DE SATÉLITE PARA APLICAÇÕES URBANAS</u>	12
<u>5 - FOTOGRAMETRIA x IMAGENS DE SATÉLITE</u>	15
<u>6 - ESTUDOS DE CASO</u>	23
6.1 - A LAGOA DA PAMPULHA.....	24
6.2 - BAIRRO DE LOURDES.....	28
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	34
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	35

LISTA DE FIGURAS

<u>(Figura 1) Aerofoto de San Diego, CA, extraída do software ERMAPPER 6.0, em composição colorida RGB.</u>	11
<u>(Figura 2) Imagem do satélite LandSat de SanDiego, CA, extraída do software ERMAPPER 6.0, em composição colorida RGB 3, 4, 7.</u>	14
<u>(Figura 3) Mosaico de imagens aerofotogramétricas retificadas do Bairro de Lourdes, Belo Horizonte, extraídas do site www.belo Horizonte.com.br (resolução 2 metros)</u>	20
<u>(Figura 4) Imagem pancromática do Satélite Ikonos II, Jardins do Palácio Imperial, Vienna, Austria, permitindo a identificação até dos automóveis em circulação pelas vias (resolução espacial 1 metro).</u>	21
<u>(Figura 5) Montagem das 30 imagens da Lagoa da Pampulha, exemplo: ano 1953.</u>	24
<u>(Figura 6) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, voo de 1953.</u>	25
<u>(Figura 7) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, voo de 1967.</u>	26
<u>(Figura 8) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, voo de 1999.</u>	27
<u>(Figura 9) Mosaico do Bairro de Lourdes, voo de 1967.</u>	30
<u>(Figura10) Mosaico do Bairro de Lourdes, voo de 1989.</u>	31
<u>(Figura 11) Mosaico do Bairro de Lourdes, voo de 1999.</u>	32
<u>(Figura 12) Aerofoto do Bairro de Loudes, com sobreposição de vetores indicativos de: quadras, vias e edificações.</u>	33

1 - INTRODUÇÃO

Em meados de 1999, como parte das comemorações do centenário da cidade, foi lançado um site na Internet que reúne boa parte dos levantamentos aerofotogramétricos do município de Belo Horizonte - Minas Geraes (1953 – 1967 – 1972 – 1989 – 1999). Pela primeira vez tornou-se possível ao cidadão comum, a observação da cidade de uma perspectiva jamais vista e a possibilidade de acompanhar o seu crescimento desde a sua planta básica até o ano de 1999.

No sentido de popularizar as tecnologias de geoprocessamento, as imagens aéreas e as imagens de alta resolução de satélites serão sem dúvida o principal canal de comunicação com a sociedade.

Disponibilizar imagens de Belo Horizonte via Internet, é garantir ao cidadão o direito às informações sobre a cidade em que vive, ajuda a promover o turismo, atrai investimentos e confirma o impacto que este tipo de informação gera nas pessoas.

2 - ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A demanda por informações para tomada de decisões tem esbarrado na desatualização dos dados disponíveis, tanto nas áreas rurais quanto das bases cartográficas e relativas ao uso e ocupação do solo urbano, que reflitam a dinâmica da ocupação do espaço. No Brasil, a situação é crítica em relação a mapas e bases de dados cartográficos, uma vez que há grande demanda por planejamento e implantação de infra-estruturas, típicas de um país em desenvolvimento, mas em contrapartida não existe uma política sistemática de investimentos públicos em geoinformação.¹

“falta de um mapeamento sistematizado veio à tona, de fato, com a recente onda de desestatização de companhias elétricas e telefônicas, rodovias, ferrovias, mineradoras e áreas de extrativismo. Em muitos países do mundo, a empresa que adquire um estatal recorre ao banco de dados do governo, e lá pode encontrar uma base cartográfica confiável e atualizada. Aqui, as empresas que adquirem bens, até então sob o poder do estado, e buscam dados cartográficos de suas aquisições, se deparam com a dificuldade de encontrar mapas que, quando existem, estão defasados e desatualizados ”² (InfoGeo, 2000).

Segundo Antônio Lobo³, o território brasileiro está mapeado em menos que 3% na escala 1:25.000 e menos que 1% na escala 1:10.000, escalas imprescindíveis para projetos econômicos e sociais, além de terem sido realizados nas décadas de 60, 70 e início da década de 80. Em São Paulo, o último mapeamento é de 1972, atualizado em 1978.

¹ COVRE, Marcos. Atualização Cartográfica e Sensores Orbitais. *Info Geo*, Curitiba, Ano 1, Nº 1, p.45, maio/julho 1998.

² INFO GEO. Curitiba: Espaço Geo, Ano 3, nº 16, novembro/dezembro 2000.

³ INFO GEO. Curitiba: Espaço Geo, Ano 3, nº 16, novembro/dezembro 2000.

“... **art.21** Compete à União:
...**incisoIX** elaborar e executar planos nacionais e regionais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social;
...**incisoXV** organizar e manter serviços oficiais de estatística, geografia, geologia e cartografia de âmbito nacional;
... **art.22** Compete privativamente à União legislar sobre:
...**inciso XVIII** Sistema Estatístico, Sistema Cartográfico e de Geologia nacionais;”⁴

Pelas Constituição Federal, Constituição Estaduais e as Leis Orgânicas dos Municípios, cabe ao Governo Federal, aos estados e municípios a responsabilidade de atualizar os mapeamentos existentes e realizar os que faltam.

Segundo o IDB (International Database), um banco de dados digital que armazena estatísticas demográficas e sócio-econômicas de 227 países do mundo, 72% das municipalidades da América Latina não têm mapas de sua jurisdição nem em meio digital nem em papel.

Nos Estados Unidos da América, levantamentos aéreos são realizados em média a cada 5 (cinco) anos, e comparados com os mapeamentos existentes, levando em consideração também a densidade populacional das regiões. Na Alemanha, os mapas cadastrais são atualizados até o nível de novas edificações; um exemplo disso é a cidade de Hannover, onde equipes de levantamento de campo realizam a atualização cadastral de todas as novas edificações construídas ao longo de 1(um) ano.⁵

Nos países da Europa e América do Norte, as diferentes esferas governamentais são obrigadas a informar às Agencias Nacionais de Mapeamento as as construções e alterações de novas rodovias, estradas de ferro, canais, pontes, linhas de alta tensão, etc. Tal procedimento deveria ser estabelecido no Brasil, uma vez que seria impossível ao Governo Federal monitorar todo o espaço territorial do nosso país.

⁴ Art.21, incisos IX, XV, art.22, incisoXVII – Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.

⁵ KERS, et all. Map Revision: Problems, Equipment And Methods. Vol.1, Nº1, p.163-179, 1977.

3 - O PAPEL DA FOTOGRAMETRIA NO PLANEJAMENTO URBANO

Ortofotos são fotografias aéreas tomadas com câmeras métricas (próprias para aerofotogrametria) que passam pelo processo de ortoretificação onde são corrigidas das distorções causadas pelas inclinações da câmara e pela variação do relevo. Quando abrangem uma vasta área, as ortofotos são propriamente mosaicadas e o resultado é uma imagem contínua e precisa como um mapa topográfico. A resolução da imagem é função da altura de vôo, e na prática, varia de 20 cm a 60 cm. Pode ser colorida ou preto-e-branco. Suas aplicação incluem: mapeamento básico, mapeamento agrícola, atualização cartográfica, mapeamento de mercado, etc. No planejamento urbano, o uso da ortofoto permite a identificação da melhor localização de uma praça, um shopping center, um hospital, orientação para projetos de arborização de ruas, o melhor traçado de uma avenida, identificação de áreas desocupadas, com precisão de dimensões e alto grau de detalhamento.

“A ortofoto apresenta-se como uma solução ideal para as Prefeituras, pois a diversidade das áreas (fiscais, saúde, educação, obras, jurídica,...) resultam na contratação de bases com muitas informações, nem sempre utilizadas simultaneamente, assim com as ortofotos os usuários poderão gradualmente extrair as informações vetoriais de interesse para os sistemas de informações”⁶

O Prefeito reeleito de Curitiba, Cassio Taniguchi, em entrevista à Revista InfoGeo⁷, testemunha o grande valor dos levantamentos aerofotogramétricos na administração municipal. Em 2001, a Prefeitura de Curitiba realizou um novo levantamento aerofotogramétrico (o último levantamento era de 1991) e constatou que 125.000 (cento e vinte cinco mil) imóveis haviam sofrido alteração de uso ou de área construída. Isto representa

⁶ INFO GEO. Curitiba: Espaço Geo, Ano3, N° 16, novembro/dezembro 2000.

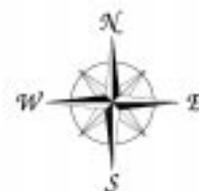
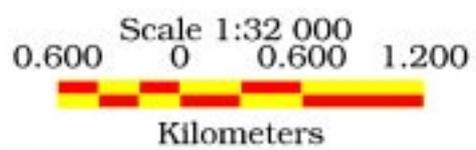
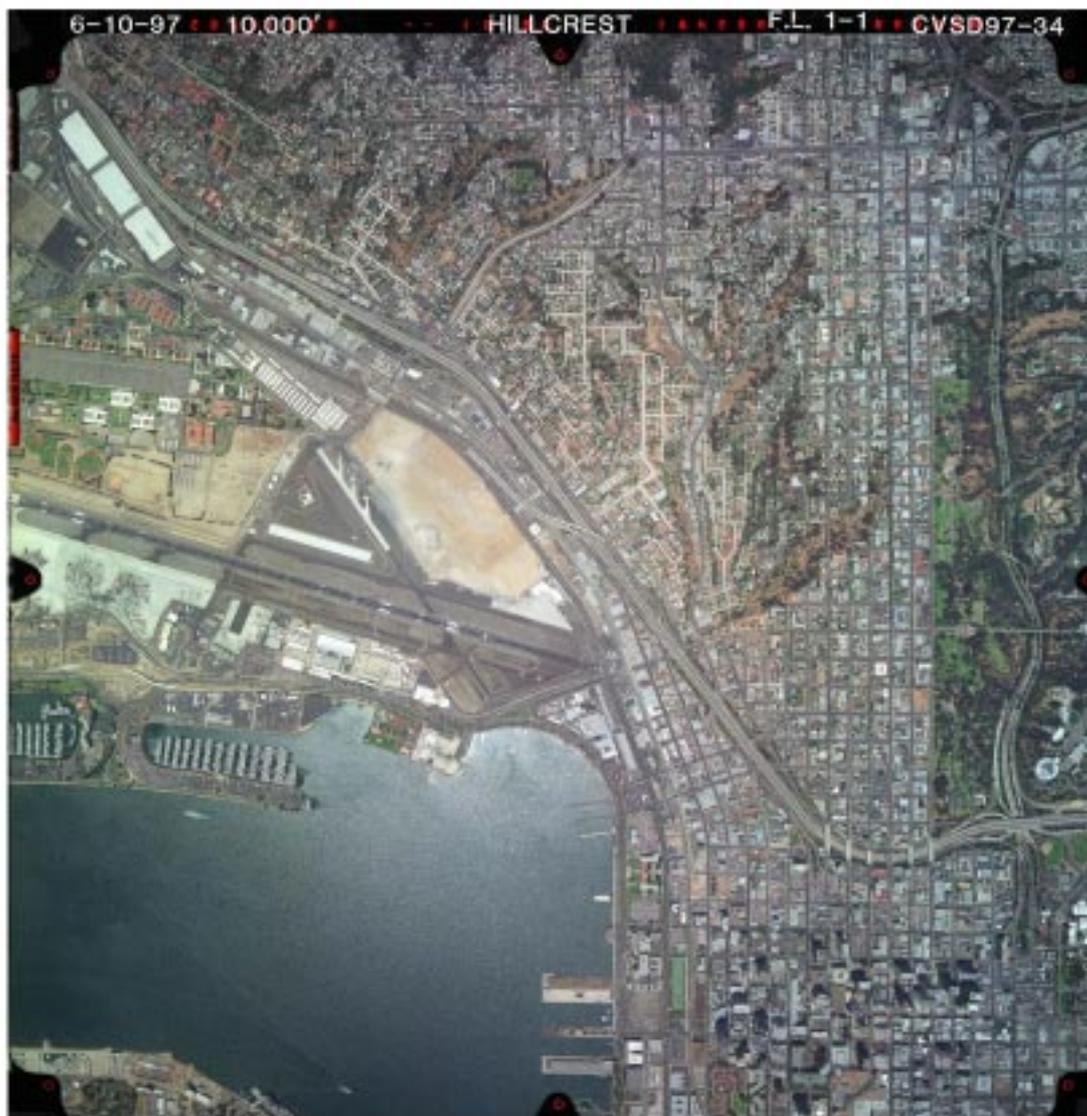
⁷ INFO GEO. Curitiba: Espaço Geo, Ano3, N° 17, janeiro/fevereiro 2001.

aproximadamente 31% dos 400.000 (quatrocentos mil) imóveis do município. Encurralados pela nova Lei de Responsabilidade Fiscal, as prefeituras municipais não podem desconhecer tamanha evasão fiscal.

TABELA 1:

ESCALA	VOO RECOMENDADO	PIXEL (M)	NÍVEL DE DETALHES	RESOLUÇÃO (M)	APLICAÇÕES
1:2.000	1:8.000	0,20	ALTO	1,00	<ul style="list-style-type: none"> • CADASTRO IMOBILIÁRIO • IDENTIFICAÇÃO DE CONSTRUÇÕES, POSTES
1:5.000	1:20.000	0,50	ALTO	2,50	<ul style="list-style-type: none"> • CADASTRO IMOBILIÁRIO • IDENTIFICAÇÃO DE CONSTRUÇÕES, POSTES
1:10.000	1:40.000	1,00	MÉDIO	3,00	<ul style="list-style-type: none"> • PLANEJAMENTO DE RODOVIAS E REPRESAS
1:15.000	1:60.000	1,50	BAIXO	3,50	<ul style="list-style-type: none"> • ESTUDOS DE IMPACTOS DE POLUIÇÃO
1:20.000	1:80.000	2,00	BAIXO	4,00	<ul style="list-style-type: none"> • MAPEAMENTOS DE DUTOS DE COMBUSTÍVEL

Fonte: Revista InfoGeo - novembro/dezembro 2000.



(Figura 1) Aerofoto de San Diego, CA, extraída do software ERMAPPER 6.0, em composição colorida RGB.

4 - IMAGENS DE SATÉLITE PARA APLICAÇÕES URBANAS

A questão fundamental quanto ao uso de imagens de sensores remotos diz respeito à sua resolução espacial, ou a menor porção de área terrestre identificável na imagem. Neste sentido, a resolução espacial seria para o sensoriamento remoto o que a escala gráfica é para a aerofotogrametria e para a cartografia convencional.⁸

Como a resolução espacial das imagens de satélite é limitada pelo sensor remoto que foi utilizado, sua aplicação ficou restrita, a até alguns anos atrás, aos estudos de clima, agricultura, mineração, controle de queimadas, monitoramento de florestas, etc, ao seja aplicações que abordavam grandes áreas terrestres.

Nos últimos vinte anos, sensores orbitais – satélites – começaram a ser empregados para finalidades de cartografia. No início dos anos 70, a melhor resolução espacial, menor elemento visível do terreno, era de 80 m. Esta resolução permitia uma precisão cartográfica em escala de até 1:250.000.

Nos anos 80 a resolução espacial dos sensores passou para 30 m (sensores multiespectrais temáticos) e 10 m (sensores pancromáticos) respectivamente, aumentando consideravelmente a capacidade de identificação de elementos terrestres, permitindo a utilização destas imagens na atualização cartográfica de sistemas viários, redes de hidrografia e até estruturas urbanas mais simples, compatíveis com escalas de 1:100.000 e até 1:50.000.⁹

Por fim, nos anos 90, surgiram sensores de alta resolução, como o satélite Ikonos II, lançado em meados de 1999, com imagens multiespectrais de resolução de 4 m e em preto-e-branco com resolução de 1m, possibilitando a produção de mapas em escalas de 1:10.000 à 1:5.000. O Satélite Ikonos produz cinco diferentes produtos para comercialização: *Carterra/Geo*,

⁸ WOODCOCK, Curtis E., STRAHLER, Alan H. The Factor of Scale in Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 21, p.311-332, 1987.

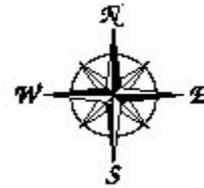
⁹ COVRE, Marcos, op.cit.,p-45.

Carterra/Reference, Carterra/Map, Carterra / Pro e Carterra / Precision, que oferecem imagens com erro de posicionamento de até 1,9 m. Estes sensores produzem imagens capazes de se identificar ruas, casas e até automóveis, provocando uma verdadeira revolução nos processos de geração e manutenção de bases cartográficas. Para os próximos quatro anos, segundo Nisso Cohen¹⁰ (2000) uma nova geração de satélites estará produzindo imagens ainda melhores, com precisão inferior a meio metro. A empresa americana EarthWatch Incorporated anunciou, em março de 2001, que irá lançar um satélite de alta resolução em outubro de 2001, permitindo obter imagens pancromáticas com resolução espacial de 0,60 cm e multiespectrais de 2,5 m.

¹⁰ Space Imaging: Um Novo Paradigma da Imagem. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, Nº14, p.18-19, julho/agosto 2000.



Scale 1:90 000
1.5 0 1.5 3
Kilometers



(Figura 2) Imagem do satélite LandSat de SanDiego, CA, extraída do software ERMAPPER 6.0, em composição colorida RGB 3, 4, 7.

5 - FOTOGRAMETRIA x IMAGENS DE SATÉLITE

O mundo de hoje necessita de informações precisas obtidas com agilidade e segurança, principalmente quando o alvo a ser estudado são os grandes centros urbanos, onde o processo de ocupação, invasões de terra, tráfego de automóveis, enchentes, deslizamentos de terra, etc., alteram significativamente o espaço urbano em pouco tempo. A vantagem das imagens orbitais é que será possível coletar informações temporais para atualizações e prognósticos de uma mesma região geográfica com periodicidade de até 4 dias a um custo aproximado de R\$55,00 a R\$180,00 o quilômetro quadrado. As previsões do setor são de que a partir de 2000 cerca de vinte satélites de alta resolução estarão em órbita, permitindo que o mercado de sensoriamento remoto avalie qual fonte geradora de informações oferece o melhor material para suas aplicações e conseqüentemente a custos cada vez mais baixos.

Segundo Fernando Dias Pereira¹¹ (2000), o que se tem perguntado com grande frequência é o que acontecerá com a aerofotogrametria com os surgimento das imagens de alta resolução. A tendência é de que se obtenha imagens orbitais com uma nitidez tão boa quanto à de uma foto aérea. Entretanto, problemas como imagens isentas de nuvens, por exemplo, não acontecem com aerolevantamentos, uma vez que são feitos somente quando o céu está limpo e no horário mais indicado.

Para a maioria dos técnicos do setor¹², as imagens de alta resolução não são compatíveis com as necessidades de um mapeamento básico inicial, que exigem resolução da ordem de 0,25 m, mas podem ser utilizadas na atualização das bases cadastrais já elaboradas. Isto reduziria o trabalho de restituição aerofotogramétrica, uma vez que as imagens de alta resolução seriam utilizadas como pano de fundo para as bases cadastrais e seriam restituídas apenas os elementos indispensáveis para a base de dados da região ou para a aplicação que se destinam.

¹¹ PEREIRA, Fernando Dias. Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, Nº13, p.73, maio/junho 2000.

¹² FILHO, Renato E. Abrahão. Ikonos: Turbulência No Aerolevantamento. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, Nº14, p.36-39, julho/agosto 2000.

Gilberto Câmara ¹³(2000) propõe soluções para digitalização de bases cadastrais de prefeituras de médio porte:

1. “ Faz-se um levantamento aerofotogramétrico com câmeras métricas para assegurar melhor precisão, tipicamente com resolução da ordem de 0,25 m e erro de posicionamento menor que 1,0m;
2. Através de procedimento de ortoretificação semi-automatizado em computador (muito mais barato que o convencional), são produzidas orto-imagens e gerado um mosaico digital da cidade;
3. A partir do mosaico, serão restituídos apenas os elementos indispensáveis para o cadastro municipal, como faces de quadra e eixos de logradouros;
4. O cadastro alfanumérico da prefeitura é então espacializado por testada de lote ou centro de lote;
5. No GIS, são identificados visualmente as unidades com discrepância sensível em relação aos dados do cadastro. A partir desta identificação, será feito um recadastramento seletivo, em que apenas unidades com discrepância são visitadas.

O resultado deste procedimento é uma base de dados georreferenciada confiável, que poderá ser atualizada posteriormente com uso de imagens Ikonos ou com levantamento aerofotogramétrico com resolução compatível com o satélite. Neste caso, consultas feitas pelo autor indicam uma relativa equivalência entre o custo do aerolevanteamento e o custo das imagens, para a mesma resolução espacial”.

O que o autor propõe é que as ortofotos continuem a ser utilizadas para geração das bases cartográficas digitais, restituindo-se os elementos mais importantes e indispensáveis ao

¹³ CÂMARA, Gilberto. Imagens de Alta Resolução: Quais São As Alternativas?. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, N° 14, p.32, julho/agosto 2000.

cadastro municipal, porém, uma vez montada a base e com a nova tecnologia dos satélites que virão, as imagens de satélite poderão ser utilizadas para a atualização destas bases e monitoramento dos grandes centros urbanos, podendo até mesmo substituir o uso das ortofotos atuais.

A aerofotogrametria está evoluindo e estima-se que a partir de 2001, os aerolevantamentos serão feitos com câmeras digitais, o que diminuirá os gastos com filmes e revelações, e conseqüentemente o custo final destas imagens. Por outro lado, os satélites de alta resolução tendem a se multiplicar, aumentando a concorrência entre as empresas e o leque de opções dos usuários. O que se pode esperar é que independente da relação custo - benefício entre estes dois tipos de imagens, seus custos atuais diminuirão.

Recente estudo dos pesquisadores canadenses Thierry Toutin e Philip Cheng ¹⁴ (2000), analisou as características e limitações deste satélite. As imagens produzidas são distribuídas nos formatos de 8 bits ou 11 bits, 256 tons de cinza ou 2.048 tons de cinza, que dependendo do tamanho da área coberta e das especificações técnicas como geração de modelos digitais de terreno e levantamentos de pontos de controle terrestres, são entregues após duas a três semanas. Foram analisados dois tipos de produtos gerados pelo sistema: o produto *Geo* e *Precision*.

- O produto *Geo* é o mais barato e com menor precisão, não é ortorretificado, sendo seu coeficiente de exatidão posicional circular de 50 metros (90% de certeza). Isto significa que qualquer ponto dentro da imagem está dentro de um raio horizontal de 50 metros a partir de sua posição verdadeira, em 90% dos casos. Esta exatidão posicional é ainda menor em regiões montanhosas. Disto concluíram que este produto só atenderá aos requisitos geométricos de um mapeamento na escala de 1:100.000.
- O produto *Precision* é o mais caro, porém oferece maior precisão, exatidão de 4 metros. Para obter este produto, o usuário deve fornecer os pontos de controle terrestres e um

¹⁴ TOUTIN, Thierry, CHENG, Philip. Desmistificando o Ikonos. Tradução: Hernani Vieira. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, Nº 15, p.48-54, julho/agosto 2000.

modelo digital da região coberta pela imagem. Com isto, a linha de produtos *Precision* é fornecida ortorretificada; entretanto a precisão dos pontos de controle terrestres devem ter uma precisão igual ou menor que 1 metro e modelo digital de terreno igual ou menor que 5 metros.

Segundo os pesquisadores, os produtos Ikonos não são fornecidos com as informações orbitais detalhadas e o fornecimento dos pontos de controle terrestres e do modelo digital podem ser um problema para usuários que não possam enviar estes dados para outro país. Como os produtos analisados, *Geo* e *Precision*, são muito diferentes, inclusive no preço, o melhor seria adquirir os produtos *Geo*, até 5 vezes mais baratos, e corrigí-los de maneira a se alcançar um grau de precisão similar ao *Precision*, sem pagar o preço por isto. Isto é possível, aplicando-se três métodos para correção dos dados Ikonos *Geo*:

- Polinomial, método simples de correção de distorções planimétricas básicas, não levando em consideração a elevação do terreno, por isso, limitado a áreas pequenas e planas, não necessita de informações do sensor nem do satélite;
- Polinomial Proporcional, similar ao anterior, mas envolve razão de transformações polinomiais e considera a elevação do terreno. Também não necessita de informações do sensor nem do satélite, mas necessita de muitos pontos de controle terrestre e não elimina completamente as distorções entre os pontos;
- Modelo Rigoroso, reflete a realidade física da geometria visada completa e corrige distorções de plataforma, do sensor, da terra e deformações de projeção cartográfica, ou seja este modelo necessita das informações do satélite e do sensor. Os resultados são mais exatos necessitando de menos pontos de controle.

O problema vem do fato de que as informações detalhadas do sensor do satélite Ikonos não são liberadas. Apesar disso, os pesquisadores do Centro Canadense de Sensoriamento Remoto – CCRS – desenvolveram com sucesso um Modelo Rigoroso do Ikonos, usando as informações básicas dos arquivos de imagem e de metadados. Por exemplo, os ângulos de visada aproximados do sensor podem ser computados usando-se um conjunto de elevações

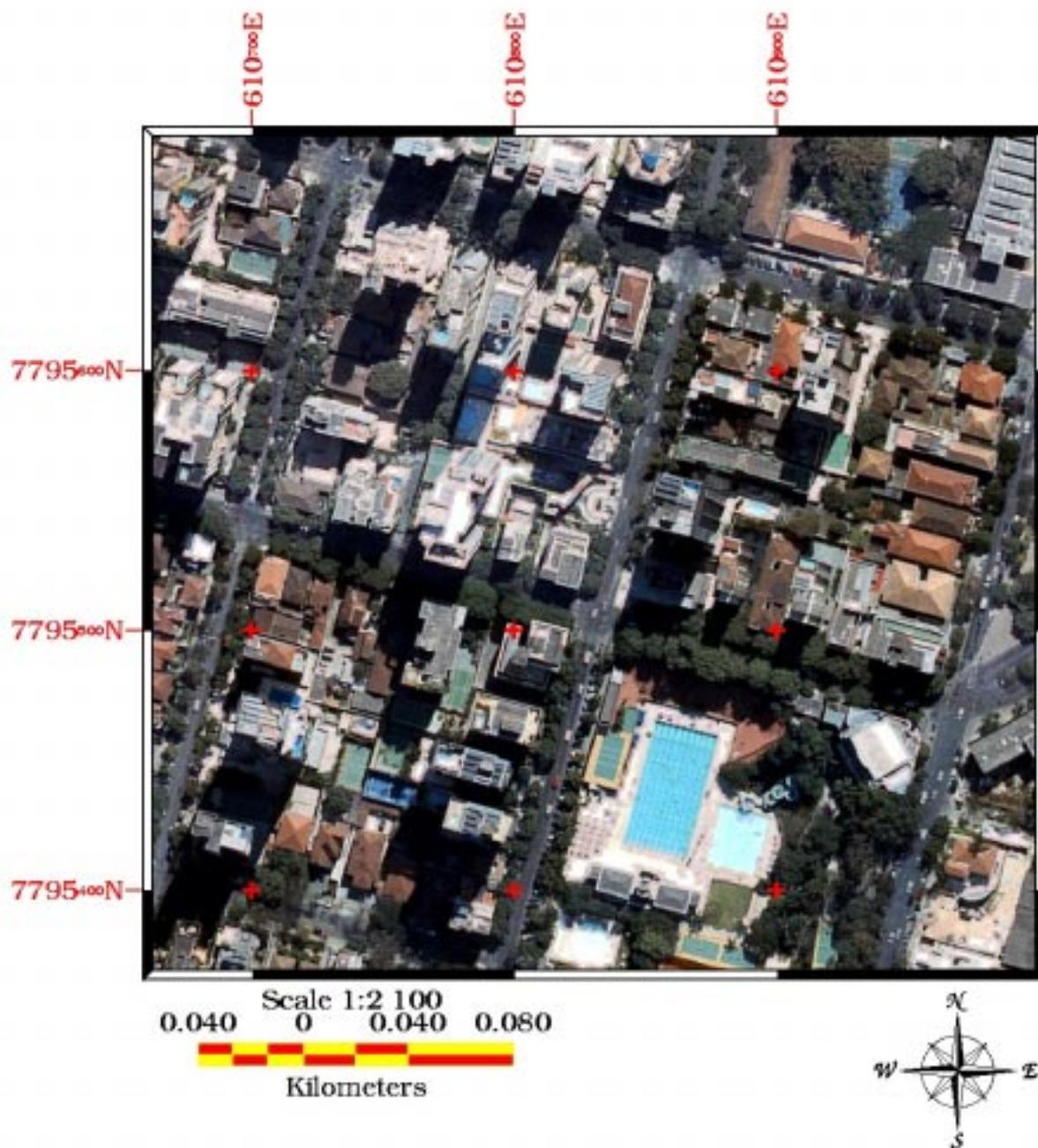
nominais e a resolução nominal no terreno nas direções longitudinal e transversal à direção de varredura. O modelo desenvolvido pela CCRS está baseado em princípios relacionados à orbitografia, fotogrametria, geodésia e cartografia. Tem sido aplicado com sucesso em outros satélites, usando poucos pontos de controle (3-6) de boa qualidade.

As conclusões dos pesquisadores são de que os produtos Ikonos *Geo* possuem exatidão baixa e incompatível com a qualidade do conteúdo da imagem e mapas em escalas grandes. Os produtos Ikonos *Precision* são caros e difíceis de serem gerados fora de certos países. O maior inconveniente do uso adequado e eficiente dos produtos Ikonos é a impossibilidade inerente de processar e ortorretificar as imagens por parte dos próprios usuários. Agora; é possível aplicar um Modelo Rigoroso para corrigir os produtos Ikonos *Geo*, de baixo custo, e produzir imagens ortorretificadas consistentes, tão precisas quanto os produtos Ikonos *Precision*.

As imagens a seguir mostram um exemplo destes dois tipos de imagens, aerofoto e satélite, em escalas semelhantes, mostrando em riqueza de detalhes duas cidades distintas:

- Belo Horizonte (Minas Gerais, Brasil), resultado de um mosaico de imagens aerofotogramétricas, capturadas do site www.belohorizonte.com.br ;
- San Diego (Califórnia, Estados Unidos), imagem do satélite Ikonos II, fornecida pelo site www.spaceimaging.com.

Nota-se que apesar da boa qualidade das imagens, ambas estão com baixa resolução. Para comercializar estes produtos, as empresas que as fornecem ainda fazem ortorretificação e tratamento das imagens, atingindo uma qualidade muito superior ao que se segue.



(Figura 3) Mosaico de imagens aerofotogramétricas retificadas do Bairro de Lourdes, Belo Horizonte, extraídas do site www.belo Horizonte.com.br (resolução 2 metros)



Scale 1:2 376
0.040 0 0.040 0.080
Kilometers



(Figura 4) Imagem pancromática do Satélite Ikonos II, Jardins do Palácio Imperial, Vienna, Austria, permitindo a identificação até dos automóveis em circulação pelas vias (resolução espacial 1 metro).

Apesar dos resultados das imagens da alta resolução serem muito parecidos com os resultados da aerofotogrametria, as duas modalidades de imageamento são muito diferentes e produzem resultados igualmente diversos. O que deve pesar na escolha do serviço é qual a finalidade das imagens a serem adquiridas ou porque não a utilização das duas tecnologias, aliando-se precisão cartográfica às resoluções espectral, radiométrica e temporal.

Devido à relativa ineditude das imagens geradas pelo satélite Ikonos II, as quais tem sido alvo de estudos, especulações e expectativas por todos os profissionais de sensoriamento remoto, não há como se analisar imagens do município de Belo Horizonte, uma vez que é necessário a contratação deste serviço e o agendamento da visita do satélite à região.

Enquanto isto não é possível, resta-nos trabalhar com as aerofotos do município de Belo Horizonte, realizadas em diferentes décadas, e utilizar este material como um dos mais importantes instrumentos de diagnóstico, avaliação e monitoramento das grandes cidades.

6 - ESTUDOS DE CASO

Os exemplos aqui apresentados são imagens do município de Belo Horizonte, Minas Geraes, Brasil, extraídas do site de internet www.belo Horizonte.com.br. O site permite a visualização das imagens do município em diferentes datas e diferentes níveis de zoom, dispostas em folhas nas escalas de 1:1.000 até 1:100.000.

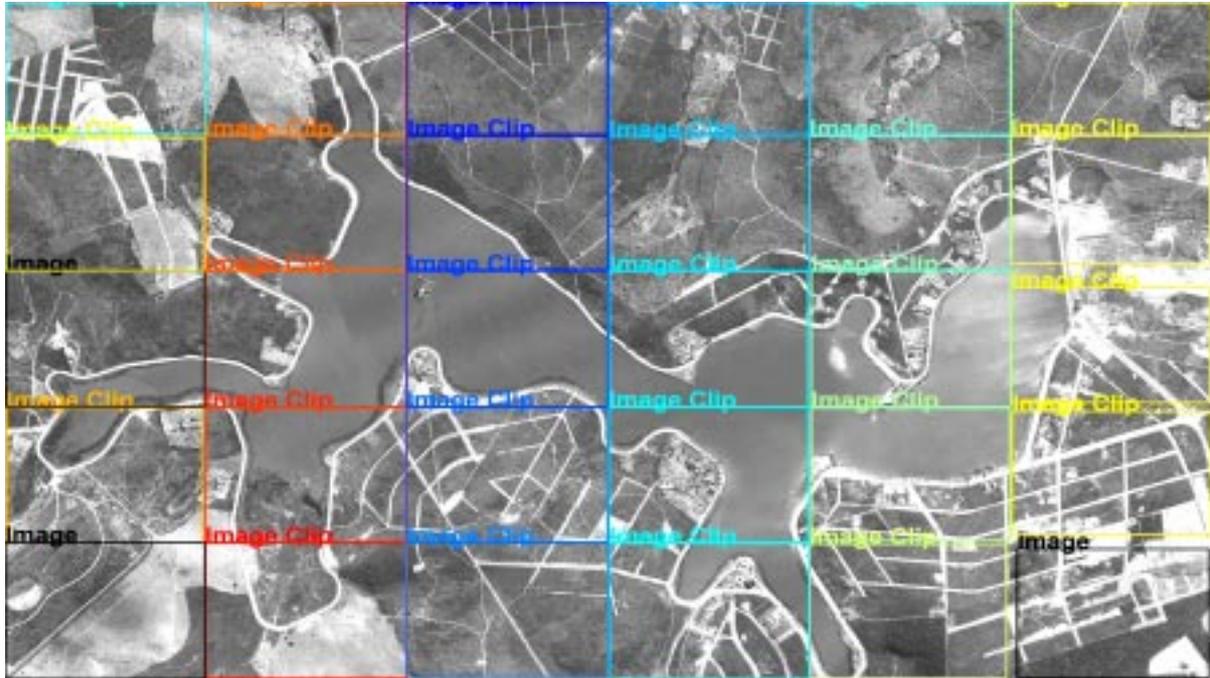
Após serem definidas as regiões que seriam trabalhadas, região da Lagoa da Pampulha e Bairro de Lourdes, definiu-se qual a melhor escala para observação destas áreas, em função do tamanho que elas ocupam e do objetivo de estudo, alguns dos fatores que definem a utilização de imagens de satélite e/ou ortofotos em um projeto.

As imagens da região da Lagoa da Pampulha, devido à área que cobrem, foram capturadas na escala aproximada de 1:5.000, o que facilitaria um pouco a montagem do mosaico das imagens com uma resolução espacial relativamente boa para observação do espaço urbano. Definida a escala, foram capturadas 30 (trinta) imagens no formato JPG, dos anos de 1953, 1989 e 1999, datas que continham todas as imagens da região, totalizando 90 (noventa) imagens capturadas; anotando-se as coordenadas geográficas das 4 (quatro) extremidades de cada uma delas, fornecidas também pelo site através de recurso do mouse.

Em seguida, utilizando-se o software Er Mapper 6.1, as imagens foram georeferenciadas através do método polinomial linear, utilizando-se 4 (quatro) pontos de controle terrestres (coordenadas geográficas) cada uma, na projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, South American Datum - SAD 69, Hemisfério Sul, Fuso 23.

Este não é o melhor método para georeferenciar imagens, mas é relativamente simples de ser aplicado, requerendo um mínimo de 3 (três) pontos de controle e oferece uma precisão satisfatória para a simples observação da cidade. Nota-se que, para aplicações mais precisas, como por exemplo restituição de feições e objetos para fins de cadastro, é necessário a utilização de métodos mais acurados como a ortorretificação, que requer além dos pontos de

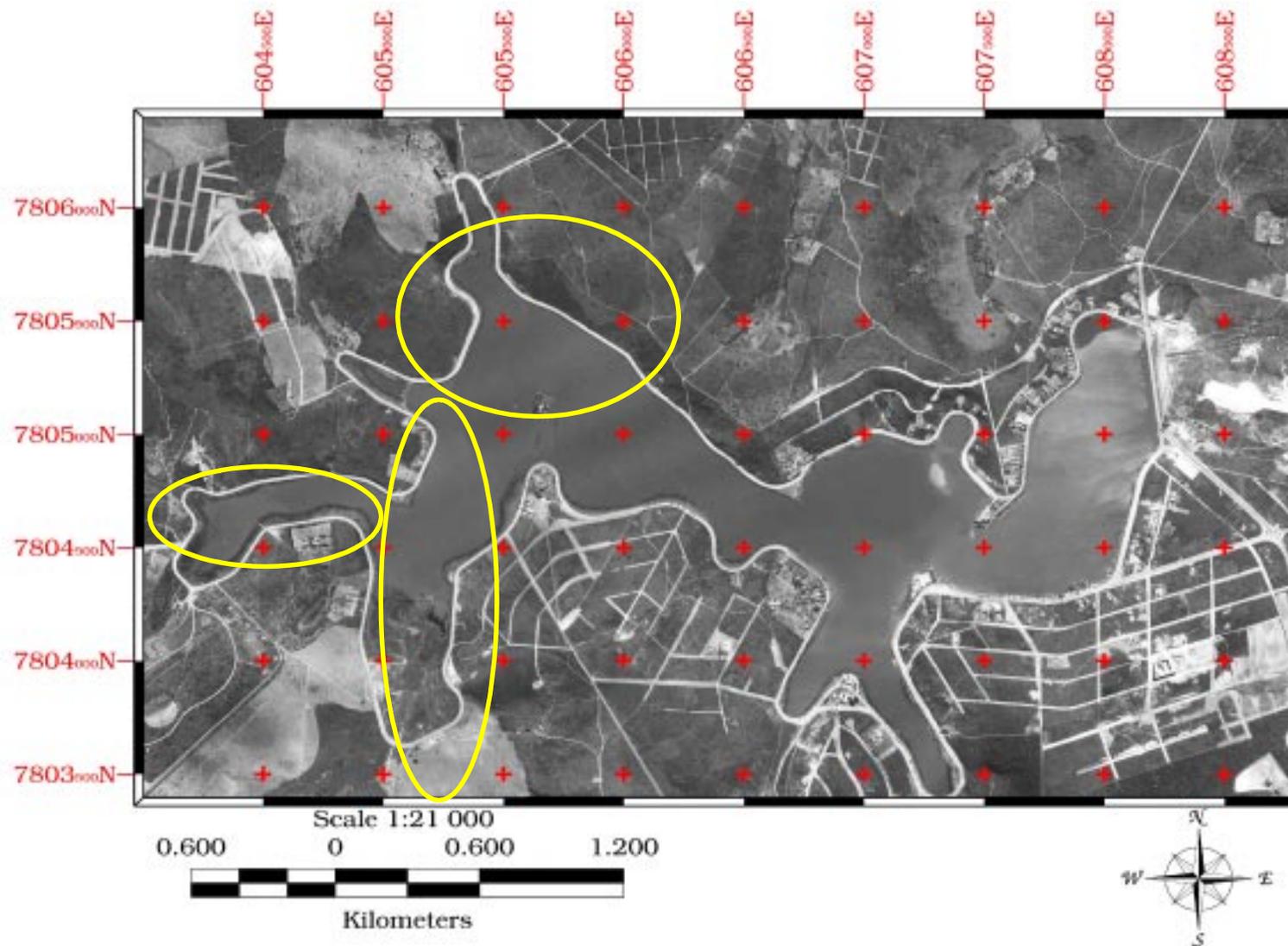
controle terrestres, o modelo digital de elevação da área de cobertura da imagem e informações sobre o equipamento – sensor - utilizado para a gravação destas imagens.



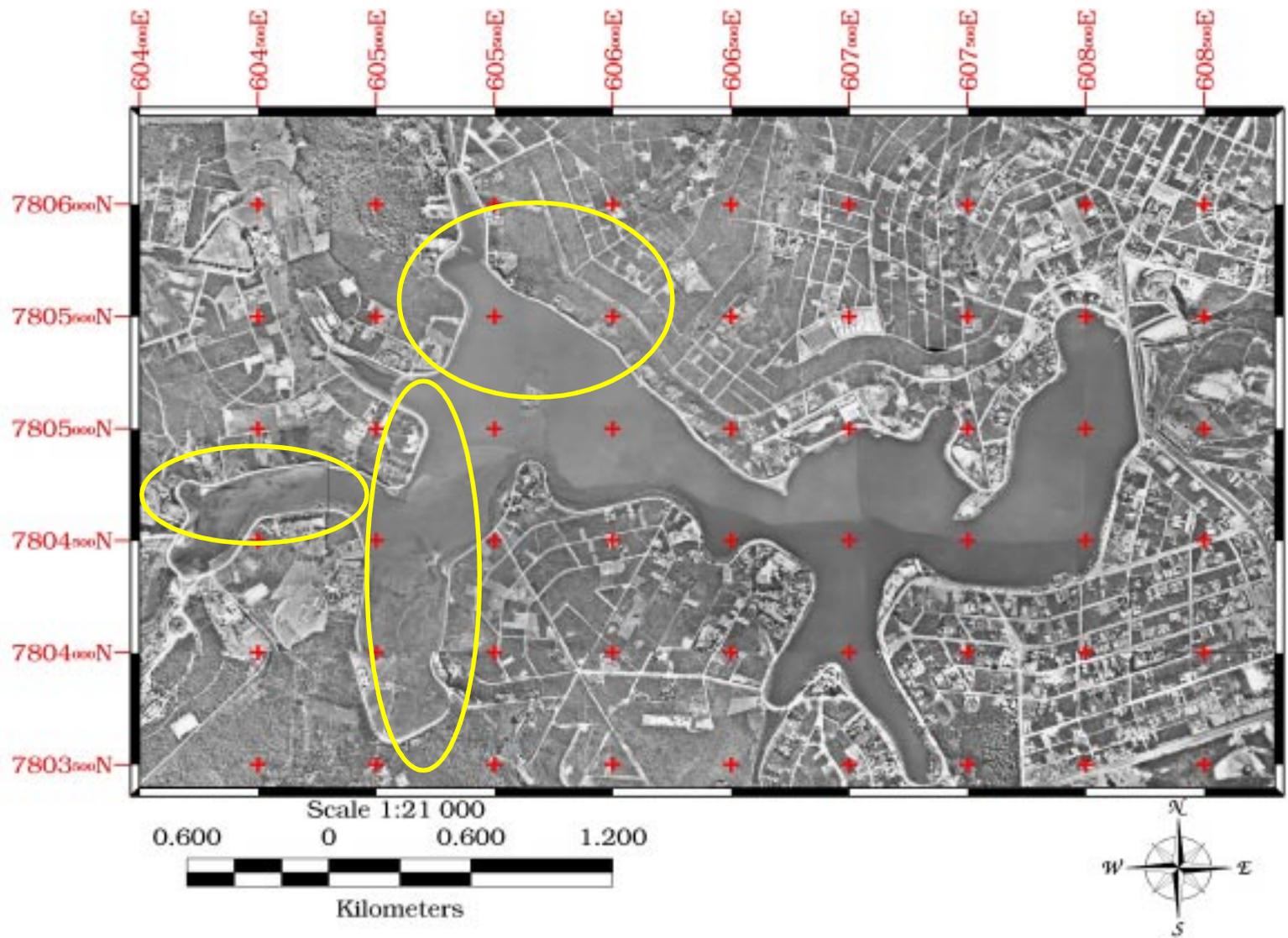
(Figura 5) Montagem das 30 imagens da Lagoa da Pampulha, exemplo: ano 1953.

6.1 - A LAGOA DA PAMPULHA

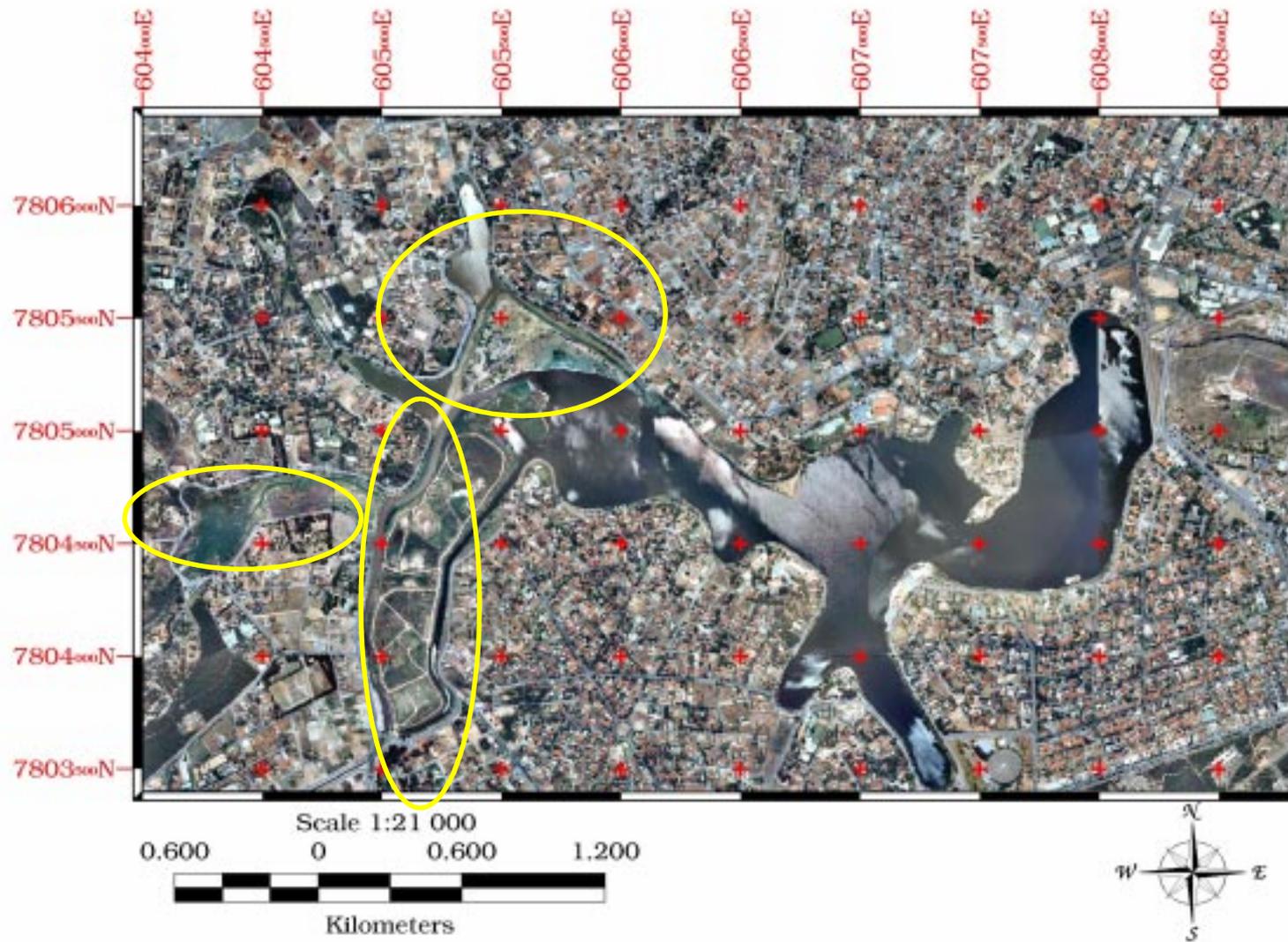
No início da década de 40, o prefeito Juscelino Kubistchek recorreu ao arquiteto Oscar Niemeyer para projetar as edificações do Conjunto Arquitetônico da Pampulha, às margens da lagoa artificial. O conjunto é composto pela Igreja de São Francisco de Assis, o Museu de Arte, a Casa do Baile e o Iate Tênis Clube. As formas arredondadas, a originalidade e o espírito contestador destas construções marcaram toda a arquitetura moderna brasileira. O conjunto foi valorizado pela contribuição de artistas geniais: nos painéis de Portinari, no paisagismo de Burle Marx, nas esculturas de Ceschiatti, Zamoiski e José Pedrosa. Outros atrativos foram incorporados ao complexo: o Mineirão e o Mineirinho destinados aos eventos esportivos e ainda o Jardim Zoológico, o CEPEL e parques de diversão.



(Figura 6) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, vôo de 1953.



(Figura 7) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, vôo de 1967.



(Figura 8) Mosaico de aerofotos da Lagoa da Pampulha, vôo de 1999.

As três imagens anteriores mostram, com clareza o processo de ocupação da Lagoa da Pampulha, desde 1953, uma década após a criação do complexo da lagoa, passando pelas décadas de 60 com as imagens de 1967, década de 80 com as imagens de 1989 até o último voo realizado sobre a cidade em 1999. O perfil de ocupação da região permanece inalterado até hoje, predominando a ocupação residencial, unifamiliar (casas) em toda a orla da lagoa e entorno. Nota-se a grande alteração no espelho d'água da lagoa, evidenciando o processo de assoreamento causado principalmente pelos córregos Sarandi, Ressaca e d'Água Funda e também a criação de ilhas aterradas na região da Toca da Raposa, confirmando a situação irreversível de recuperação desta parte da lagoa. Estas imagens estão com uma resolução espacial de aproximadamente 2 metros. Imagens nesta escala ou menores são muito úteis para análises ambientais como áreas verdes e parques ou de grandes territórios como loteamentos.

Para atualizações cartográficas como vias, quadras, praças e até lotes e construções, é necessária utilização de aerofotos em escalas maiores, 1:1.000.

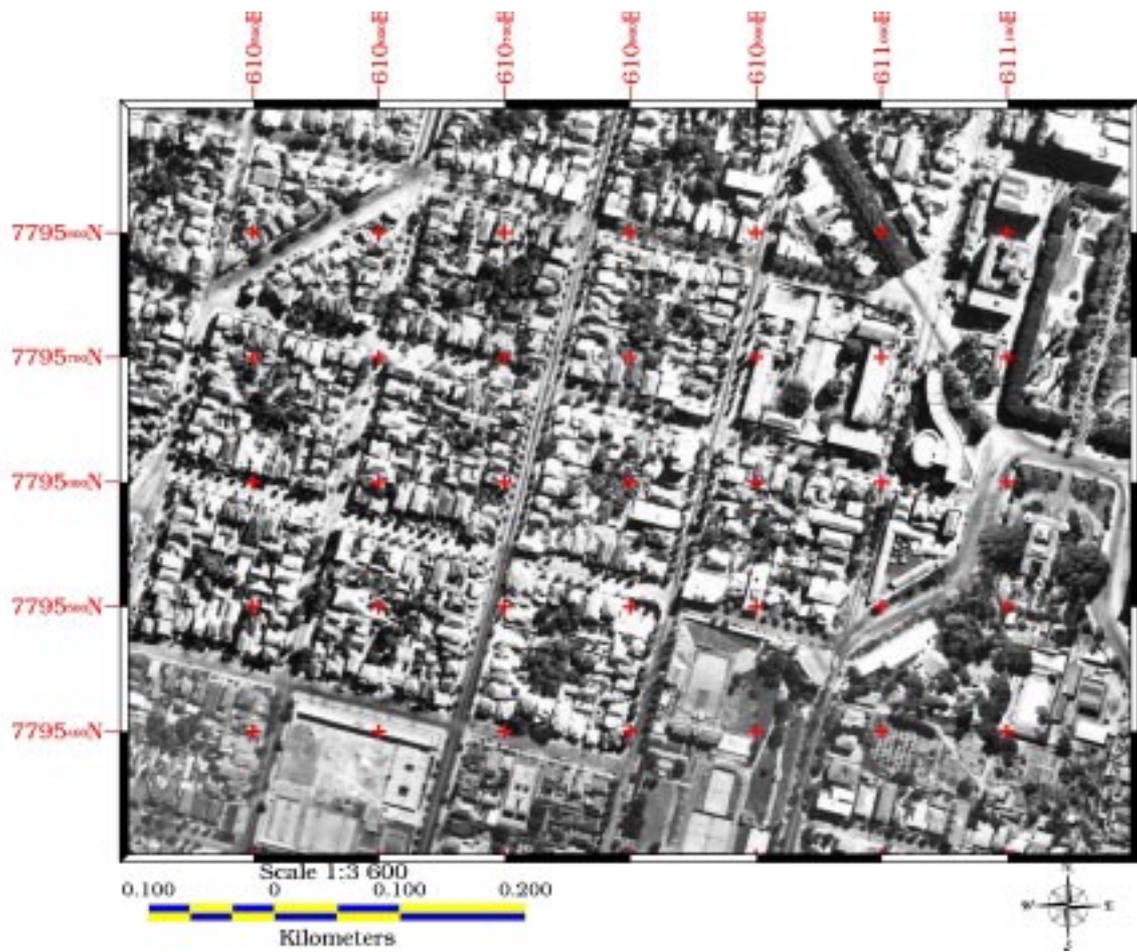
6.2 - BAIRRO DE LOURDES

Bairro de Lourdes surgiu com características de ocupação essencialmente residenciais unifamiliares e planejado para ser ocupado pelos altos funcionários públicos que viriam a assumir a suas funções na cidade, somando-se o fato do bairro estar próximo às principais instalações dos poderes estadual e municipal. Devido à sua importância histórica, cultural e sócio-econômica, além da proximidade com o centro tradicional de Belo Horizonte, o bairro foi um dos que mais se modificaram nos últimos trinta anos. Nota-se a constante substituição das casas por edifícios, residenciais ou não, através das sombras e cores de telhado, além da diminuição da área verde com a ocupação dos quintais e jardins. Interessante também a diminuição da arborização da Av. Bias Fortes e Praça da Liberdade

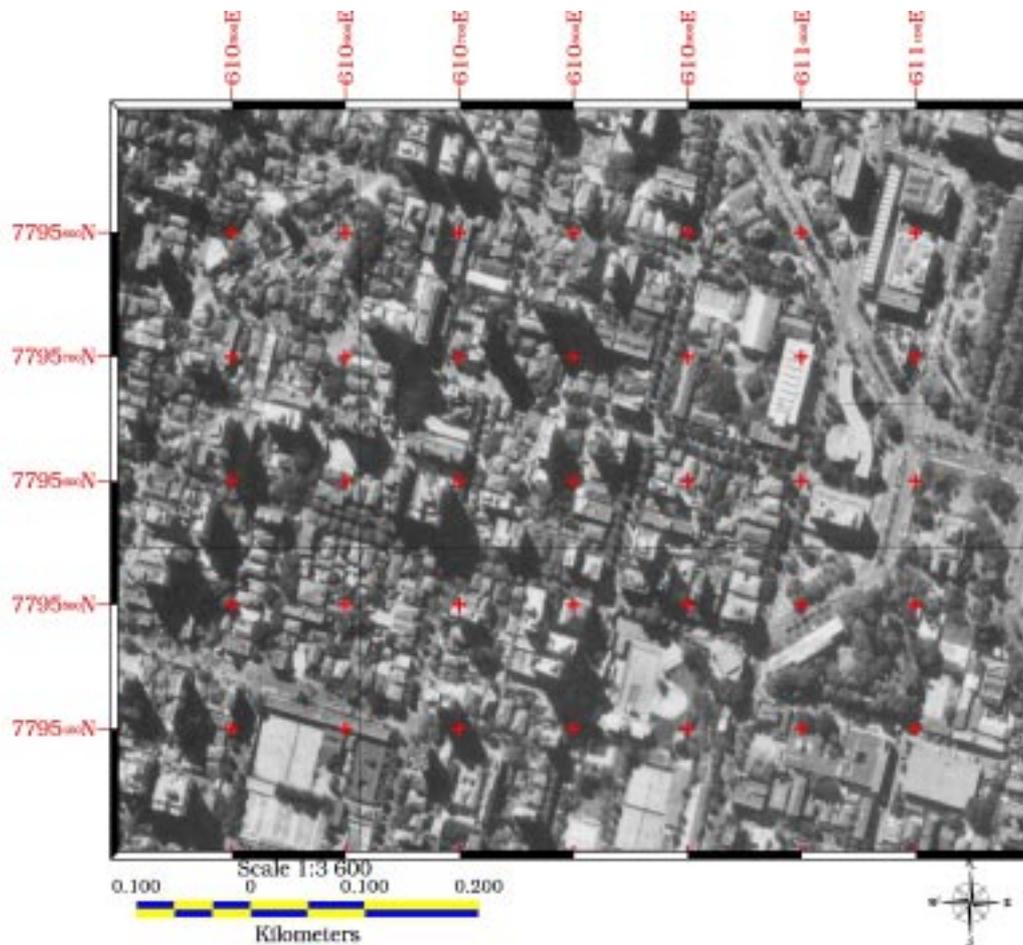
As imagens do Bairro de Lourdes, devido à área que cobrem, foram capturadas na escala aproximada de 1:1.000, o que também facilitaria um pouco a montagem do mosaico das imagens com uma resolução espacial relativamente boa para observação do espaço urbano. Definida a escala, foram capturadas 25 (vinte e cinco) imagens no formato JPG, dos anos de

1967, 1989 e 1999, datas que continham todas as imagens da região, totalizando 75 (setenta e cinco) imagens capturadas; anotando-se as coordenadas geográficas das 4 (quatro) extremidades de cada uma delas, fornecidas também pelo site através de recurso do mouse.

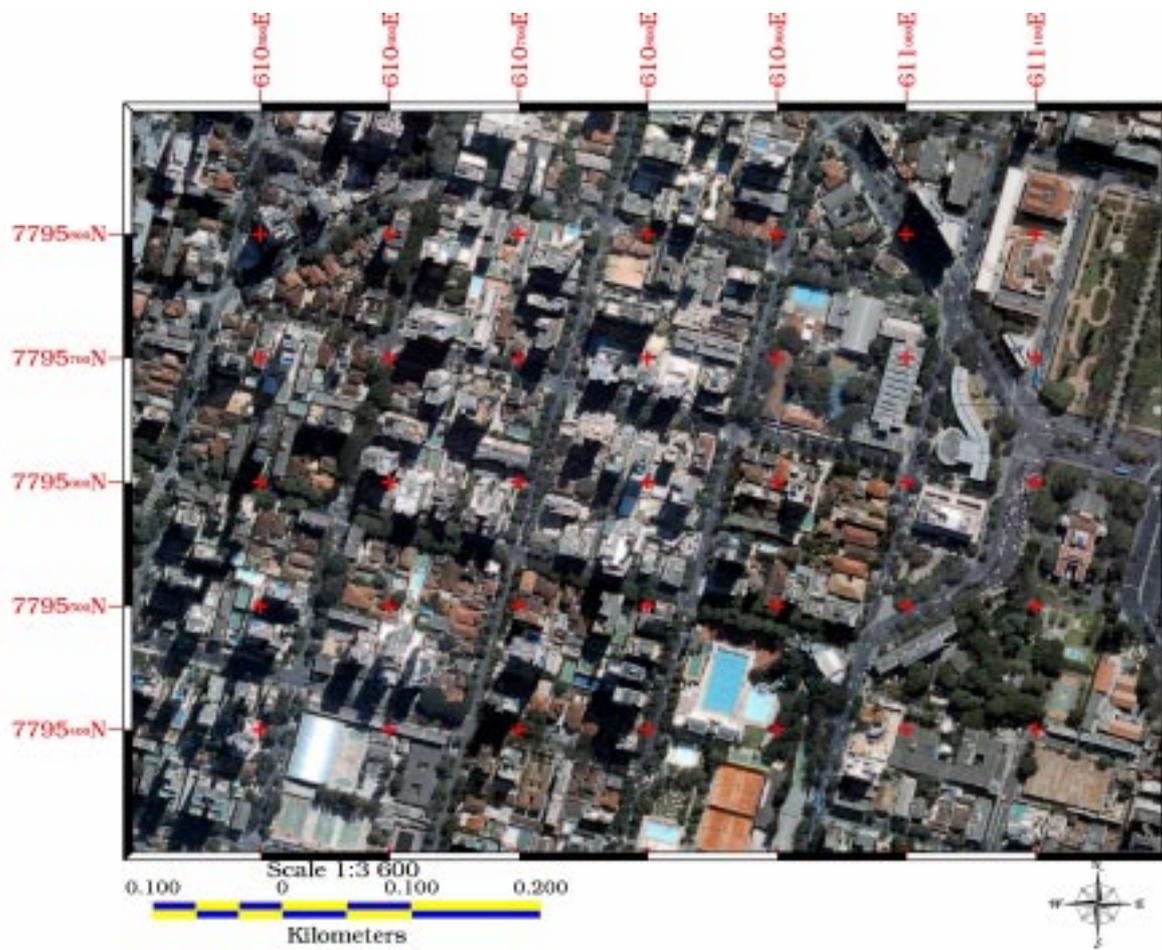
Em seguida, utilizando-se o software Er Mapper 6.1, as imagens foram retificadas através do método polinomial linear, utilizando-se 4 (quatro) pontos de controle terrestres (coordenadas geográficas) cada uma, na projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, South American Datum - SAD 69, Hemisfério Sul, Fuso 23.



(Figura 9) Mosaico do Bairro de Lourdes, vôo de 1967.

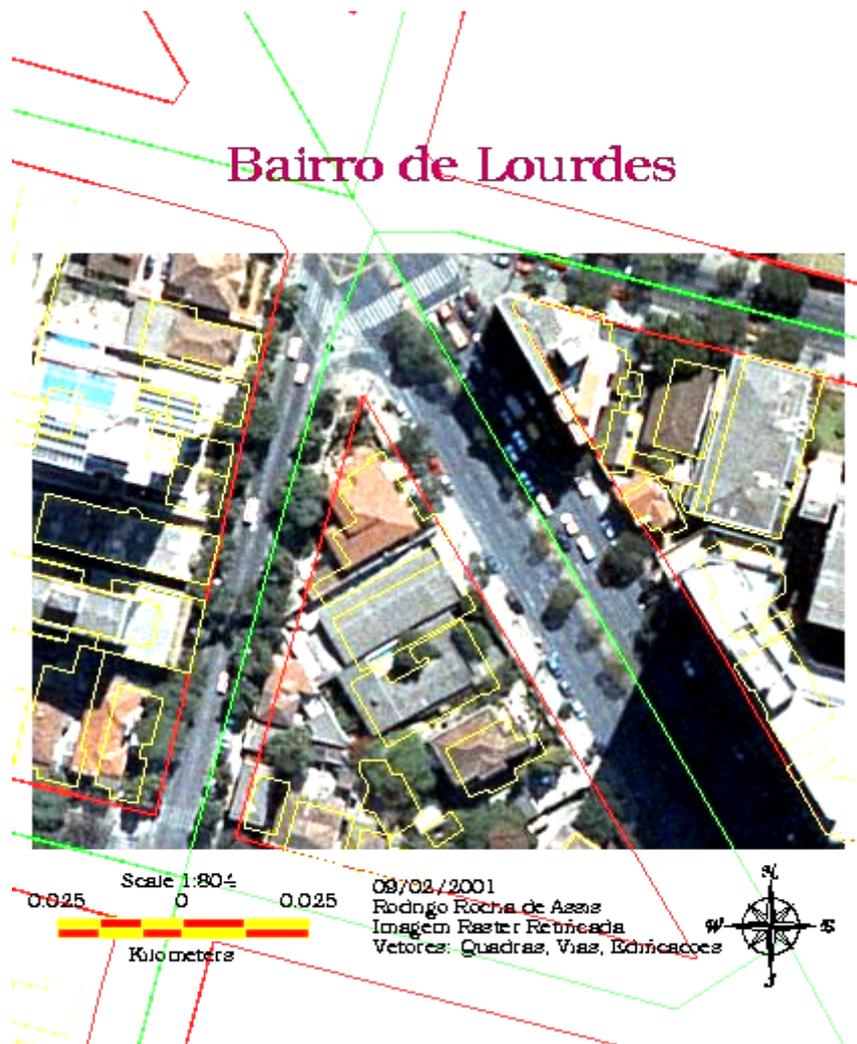


(Figura10) Mosaico do Bairro de Lourdes, vôo de 1989.



(Figura 11) Mosaico do Bairro de Lourdes, voo de 1999.

Exemplificando o que parece ser uma tendência, a utilização de imagens de alta resolução como pano de fundo para bases cartográficas vetoriais, nota-se a facilidade de interpretação e interatividade com o mundo real, permitindo diferenciar instantaneamente objetos vetorizados (quadras, ruas, lotes, edificações, etc) e comparar a abstração das bases cartográficas com a realidade do espaço urbano.



(Figura 12) Aerofoto do Bairro de Lourdes, com sobreposição de vetores indicativos de: quadras, vias e edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, Renato E. Filho. Ikonos, Turbulência no Aerolevanteamento. *InfoGeo*, Ano 3, Nº 14, Julho/Agosto 2000, p.36-39.
- CÂMARA, Gilberto. Imagens de Alta Resolução: Quais são as Alternativas?. *InfoGeo*, Ano 3, Nº 14, p.32, julho/agosto 2000.
- COVRE, Marcos. Atualização Cartográfica e Sensores Orbitais. *Info Geo*, Curitiba, Ano 1, Nº 1, p.45, maio/junho 1998.
- Art.21, incisos IX, XV, art.22, incisoXVII – Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.
- KERS, et all. Map Revision: Problems, Equipment And Methods. Vol.1, Nº1, p.163-179, 1977.
- PEREIRA, Fernando Dias. Imagens Orbitais de Alta Resolução. *Info Geo*, Curitiba, Ano 3, Nº 13, p.73, maio/junho 2000.
- Space Imaging: Um Novo Paradigma da Imagem. *InfoGeo*, Ano 3, Nº 14, p.18-19, julho/agosto 2000,
- TOUTIN, Thierry, CHENG, Philip. Desmistificando o Ikonos. *InfoGeo*, Ano 3, Nº 15, Julho/Agosto 2000, p.48-54.
- WOODCOCK, Curtis E., STRAHLER, Alan H. The Factor of Scale in Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, 21, p.311-332, 1987.

BIBLIOGRAFIA

BARRET, E.C., CURTIS, L.F. *Introduction to Enviromental Remote Sensing*. 2nd ed. NY: Chapman and Hall ltd, 1982.

REVISTA INFOGEO. Curitiba: EspaçoGeo, Ano 3, N° 14, julho/agosto 2000.

REVISTA INFOGEO. Curitiba: EspaçoGeo, Ano 3, N° 15, setembro/outubro 2000.

REVISTA INFOGEO. Curitiba: EspaçoGeo, Ano 3, N° 16, novembro/dezembro 2000.

www.belohorizonte.com.br

www.digitalglobe.com

www.ermapper.com

www.infogeo.com.br

www.inpe.com.br

www.spaceimaging.com