

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E POLÍTICAS AMBIENTAIS

Manoel Francisco de Oliveira

**SENSORIAMENTO REMOTO: INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO E A
GESTÃO DO AMBIENTE URBANO**

Recife
2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM GESTÃO E POLÍTICAS AMBIENTAIS

Manoel Francisco de Oliveira

**SENSORIAMENTO REMOTO: INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO E A
GESTÃO DO AMBIENTE URBANO**

Dissertação apresentada ao Programa Luso-Brasileiro de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dr^a Ana Lúcia Candeias

Recife
2004

Oliveira, Manoel Francisco de

Sensoriamento remoto : instrumento para o planejamento e a gestão do ambiente urbano / Manoel Francisco de Oliveira. – Recife : O Autor, 2004.

75 folhas : il., fig., tab., gráf.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa Luso-Brasileiro de Mestrado/UFPE.CFCH. Gestão e Políticas Ambientais, 2004.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Gestão e políticas ambientais. 2. Ambiente urbano – Sensoriamento remoto – Cartografia e planejamento urbano. 3. Problemas urbanos – Solução – Aplicação de sensoriamento remoto – Área urbana no Recife(PE). I. Título.

528.8

CDU (2.ed.)

UFPE

526.982

CDD (22.ed.)

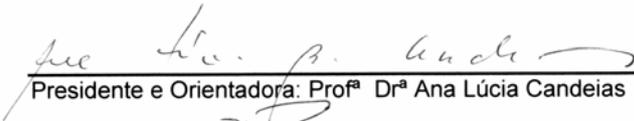
BC2005-189

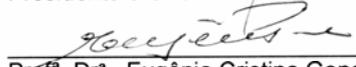
Manoel Francisco de Oliveira

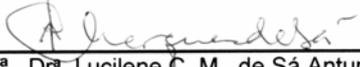
**SENSORIAMENTO REMOTO: INSTRUMENTO PARA O PLANEJAMENTO E A
GESTÃO DO AMBIENTE URBANO**

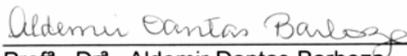
Dissertação apresentada ao Programa
Luso-Brasileiro de Mestrado em Gestão e
Políticas Ambientais da Universidade
Federal de Pernambuco, para obtenção
do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA


Presidente e Orientadora: Prof.ª Dr.ª Ana Lúcia Candeias


Prof.ª Dr.ª Eugênia Cristina Gonçalves Pereira


Prof.ª Dr.ª Lucilene C. M. de Sá Antunes


Prof.ª Dr.ª Aldemir Dantas Barboza

Apresentada em: 29/10/2004

Recife

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Zoraide, e minhas filhas, Marceline e Manuela, pela paciência, incentivo e permanente colaboração.

À professora Ana Lúcia, minha orientadora, pelo saber e pela forma como me conduziu nessa estrada.

Aos professores Adeildo Antão dos Santos, Joaquim Correia de Andrade Neto, Margarida Maria de Andrade Lima, Jorge Fernando de Santana, a Geógrafa Maria Jaci Câmara de Albuquerque e aos Técnicos Maurício Lobo de Almeida e Tiago José da Costa, representando todos aqueles que me ajudaram a desenvolver este trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	05
ABSTRAT	06
LISTA DE FIGURAS	07
INTRODUÇÃO	09
CAPITULO 1	
PLANEJAMENTO URBANO E CARTOGRAFIA	14
1.1 A CARTOGRAFIA COMO ELEMENTO DEFINIDOR DO MEIO FÍSICO	15
1.1.1 A Forma da Terra	17
1.1.2 A Definição de um Ponto na Superfície da Terra	18
1.1.3 A Representação Plana da Superfície Curva da Terra	20
1.2 A VISÃO ESPACIAL DO MEIO FÍSICO	24
1.2.1 Sistemas Sensores	27
1.2.2 Vantagens e Limitações dos Sistemas de Sensores	28
1.2.2.1 Sistemas fotográficos	28
1.2.2.2 Sistemas eletros-óticos	29
1.2.2.3 Sistemas de microondas	30
1.3 EQUIPAMENTOS E PRODUTOS DE SR UTILIZADOS NO BRASIL	30
1.3.1 Em Nível Aéreo	31
1.3.1.1 A visão natural e a visão estereoscópica	32
1.3.1.2 O recobrimento aerofotogramétrico	33
1.3.2 Em Nível Orbital	34
1.3.2.1 O sistema LANDSAT	35
1.3.2.2 O sistema SPOT	39
1.3.2.3 O sistema IKONOS	41
1.3.2.4 O sistema CBERS	43
1.3.2.5 O sistema QUICK BIRD	44
CAPÍTULO 2	
APLICAÇÕES DE SR EM PROBLEMAS URBANOS	48
2.1 EM ANÁLISE DE EXPANSÃO URBANA	48
2.2 EM ESTUDOS DE QUALIDADE AMBIENTAL E DE GEOCIÊNCIAS	50
CAPÍTULO 3	
ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS...	53
3.1 MATERIAL UTILIZADO	55
3.2 MÉTODO	56
3.3 A ÁREA DO ESTUDO E SUAS ALTERAÇÕES	61
3.4 AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA ÁREA DO ESTADO	65
3.5 CONCLUSÃO	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	72
ANEXOS 1 E 2	74

RESUMO

A estrutura espacial urbana, o monitoramento de suas alterações e suas tendências de expansão têm se revelado de grande interesse e preocupação de estudiosos e pesquisadores do assunto. Em decorrência, nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos produtos e técnicas passíveis de subsidiar a intervenção do homem nessas áreas. O presente estudo tem como principal objetivo reunir e ordenar informações que dêem base técnica a seleção de métodos, equipamentos e produtos de Sensoriamento Remoto para equacionar problemas ambientais decorrentes da ocupação e uso do solo urbano. Isso contribuirá para instrumentalizar planejadores e gestores urbanos para a tarefa de solucionar os problemas ambientais que lhe sejam afetos. Nesse sentido, são apresentados inicialmente pressupostos teóricos cujo saber é indispensável àqueles que têm sob sua responsabilidade a tarefa de usar o ambiente terrestre como seu local de atuação. Assim, são abordados temas relativos à definição do meio físico, de sua visualização espacial, dos equipamentos e produtos utilizados para tal fim, bem como de critérios e cuidados para sua seleção. Na seqüência, são apresentados alguns exemplos de aplicação prática com utilização de produtos e técnicas de Sensoriamento Remoto, incluindo aí em estudo experimental realizado a Região Metropolitana do Cidade do Recife. Ainda, são apresentados também alguns comentários sobre o avanço tecnológico do setor, sobretudo no tocante a novos equipamentos e produtos, já com larga utilização no mercado.

ABSTRAT

The structure of urban space, the management of its changes and the trend of expansion has been seen as a point of major interest and preoccupation among researches and scientists who deal with that matter. As a result, products and techniques have been developed to support man intervention in those areas. The present study has as its main goal, gathering and arrangement of information which might give technical bases to the selection of methods, equipment and products of Remote Sensing in order to solve environmental trouble caused by occupation and use of urban ground. That might contribute to enable urban planners and urban managers to solve problem they face with environment. Anyway we have present theoretical assumptions and the required knowledge to those ones whose responsibility has been that to handle and use ground environment as their working place. So we have dealt with themes concerned to the definition of physical environment its space visualization and also the equipment and products used for the work as well as the criteria and cares to select them. Along with the description we have presented some examples on how to apply products and techniques of Remote Sensing including the experiments done at the metropolitan Region of Recife. Besides there have been presented some comments on technological advances on this field considering new equipment and products of large use on this area of research.

LISTA DE FIGURAS

1	Representação esquemática do geóide e do elipsóide	18
2	Coordenadas Geográficas. Latitude e Longitude	19
3	Representação da superfície esférica da Terra	22
4	Representação Gráfica da Projeção Cilíndrica Transversa, com cilindro secante	23
5	Fuso com 6° de amplitude, cilindro secante	23
6	Imagem LANDSAT 5 – Brasília – DF	38
7	Imagem Landsat 7 ETM +, Ilha Bela-RJ	38
8	Imagem SPOT PAN, área urbana, 2003	40
9	Imagem SPOT PAN+XS, Cidade de Brasília – DF, 1995	41
10	Imagem IKONOS PSM, Área residencial ao Norte do Lago Paranoá em Brasília DF, 2004	42
11	Imagem do satélite IKONOS, trecho da Rodoferroviária de Curitiba-PR, 2001.....	43
12	Imagem CBERS, Brasília-DF, 2000	44
13	Imagem QUICK BIRD, Cidade de Tampa na Flórida, 2002	46
14	Imagem do QUICK BIRD, da construção da Vila Olímpica na Grécia, 2004	47
15	Localização da área	54
16a	Foto aérea de 1974	55
16b	Foto aérea de 1997	55
17	Fluxograma das atividades desenvolvidas	57
18	Carta Planimétrica com a feição de 1974	58
19	Carta Planimétrica com a feição de 1997	59
20	Área Vegetada, em 1974	60
21	Área Vegetada, em 1997	60
22	Alteração do leito do rio de 1974/1997	62
23	Áreas vegetadas de 1974/1997	62
24	Áreas edificadas de 1974/1997	63

INTRODUÇÃO

A necessidade do Homem delimitar ou representar o meio terrestre por ele habitado vem dos primórdios da civilização. É do conhecimento público o registro de antigos viajantes que, interrogando um nativo sobre o caminho a seguirem para atingir certo local, observavam-no tomar uma varinha e desenhar no solo um esboço do percurso, acrescido de ramos e seixos para demarcar o local. Tais “desenhos” poderiam ser considerados como verdadeiros mapas.

Sabe-se também que os povos primitivos, vivendo principalmente da caça, deviam mover-se constantemente ao longo do espaço, e o retorno a seus esconderijos era uma questão de vida ou morte. Para isso, muitos deles desenvolviam formas de fixar direções e distâncias, que bem poderiam ser entendidas como um certo sistema para fazer mapas.

A literatura sobre o tema relata a existência de mapas elaborados por esquimós, índios americanos e astecas e até por civilizações anteriores à era cristã.

Dentre os mais antigos mapas, cita-se o elaborado há cerca de 2.500 anos a.C. e encontrado nas escavações das ruínas de Ga-Sun, no norte da Babilônia. Trata-se de uma pequena placa de barro (hoje no Museu Semítico da Universidade de Havard), representando o vale de um rio, provavelmente o Eufrates. No Museu Britânico, existem placas semelhantes, que retratam, de um modo primitivo, outras regiões da Babilônia (RAISZ, 1969). Tem-se, porém, como o mapa mais antigo uma planta cadastral da cidade de Catalhoyuk, situada ao sul de Ankara, capital da Turquia. Escavações, ali realizadas na década de 1960, permitiram a descoberta de um santuário, cujas paredes abrigavam um mapa, elaborado há acerca de 6.000 anos a.C. descrevendo a cidade numa vista planimétrica. Tal descoberta foi apresentada no Simpósio Internacional de Colecionadores de Mapas, realizado em Istambul, em 1999.

A importância de tais citações não decorre do mérito do que elas representam, mas, sim, do fato de constituírem uma prova evidente da antiguidade da Cartografia e da sua relevância para o desenvolvimento dos povos.

De fato, o Homem jamais conseguiu prescindir da Cartografia, no seu sentido mais amplo, diante da sua incontrolável ânsia de conhecer, desvendar ou ampliar o espaço terrestre, seja para se proteger, seja para aumentar seu domínio.

Os métodos, os instrumentos e as formas de representação limitavam-se às condições e à capacidade de cada momento. A História registra notáveis feitos do Homem, com suas descobertas e experiências, usando a inteligência, único meio de superar as deficiências técnicas de sua época. Foi assim que os antigos gregos conceberam a forma esférica da Terra, com seus pólos, equador e trópicos, desenvolveram o atual sistema de latitude e longitude, desenharam as primeiras projeções e calcularam o tamanho do Planeta (RAISZ, 1969).

Nas proximidades do ano 1500, importantes fatos impulsionaram a Cartografia, como, por exemplo, a descoberta da bússola, a invenção da imprensa e o aperfeiçoamento das embarcações.

Entretanto, o definitivo impulso à Cartografia aconteceu no século XVIII, com o surgimento das grandes potências da Europa, em meio a constantes guerras e, em conseqüência, à necessidade de mapas precisos e detalhados para o planejamento de suas atividades militares. Já se prenunciava, então, a importância da Cartografia, como instrumento de planejamento.

Em suma, o Homem, ao longo do tempo, vem sempre buscando alternativas, no intuito de, cada vez mais, ampliar seus conhecimentos sobre o ambiente terrestre.

Provavelmente, a primeira manifestação do emprego do Sensoriamento Remoto em atividades cartográficas aconteceu em meados do século XIX, quando um oficial francês utilizou fotografias, como subsídio ao levantamento de uma pequena região de seu país (FAGUNDES, 1970).

Sabe-se também que, em 1858, foram feitas fotografias, com finalidades cartográficas, de uma certa localidade da França, estando a câmera instalada em um balão cativo (FAGUNDES, 1970). Pouco depois, em 1900, tem-se a informação de que das cidades de Moscou e Saconey, na Inglaterra, foram obtidas fotografias com câmeras instaladas em “papagaios” (pipas).

Foi, no entanto, com o advento da aviação, que se tornou possível a instalação de câmeras em plataformas móveis e afastadas da superfície da Terra, convertendo as fotografias em instrumento indispensável à visualização espacial do ambiente terrestre e, conseqüentemente, ao planejamento das ações voltadas à sua ocupação e uso.

A contínua melhoria dos equipamentos fez com que, aos poucos, fossem surgindo produtos cada vez mais adequados às necessidades e exigências de natureza técnica.

O aparecimento de novas aeronaves (capazes de alcançar altitudes que aprimoraram consideravelmente o nível de obtenção de dados) e de câmeras com objetivas de ângulos bem mais abertos e com melhor resolução (permitindo a tomada de fotografias de superior qualidade e registrando cenas de extensas áreas) deu ao Homem a oportunidade de expandir bem mais sua visão espacial do ambiente terrestre.

À conta dessa busca incessante de conhecimentos sobre seu habitat, o Homem desenvolveu e passou a operar, ainda utilizando aeronaves, os radares de visada lateral. Eles não são afetados por nuvens, podem ser empregados à noite e com a possibilidade de observar o solo, independentemente de sua cobertura vegetal. Com isso, atenuou-se o problema da falta de dados sobre ambientes ocupados por densas florestas, como é o caso da região amazônica, no Noroeste da América do Sul.

Na década de 60 do século XX, com o lançamento de satélites artificiais e seu posterior uso na condução de equipamentos sensores (sensores orbitais), capazes de captar dados sobre os recursos da Terra, o Homem ampliou consideravelmente sua capacidade de conhecer o espaço terrestre, visto que as cenas obtidas cobrem extensas áreas e a freqüência com que são tomadas garante sua contínua atualização.

O Brasil foi um dos países pioneiros na utilização do Sensoriamento Remoto (SR), coincidindo com o início dos movimentos ambientalistas (década de 1960–1970). É que a Humanidade, percebendo a desenfreada exploração dos recursos indispensáveis à sua própria sobrevivência, começou a buscar alternativas conciliadoras da conservação da Natureza com a satisfação das necessidades

básicas dos indivíduos e das comunidades, ou seja, com a qualidade da vida pessoal e social. O avanço tecnológico, observado nos anos seguintes, produziu modernas técnicas de monitoramento, avaliação e controle das atividades desenvolvidas no ambiente terrestre. Surgiram daí numerosos trabalhos voltados ao conhecimento dos mais diversos fenômenos ou intervenções humanas, referentes à ocupação dos espaços naturais e à exploração dos seus recursos, muitos deles relacionados a áreas urbanas, onde os processos de degradação ambiental acontecem de forma bem mais intensa e se tornam mais evidentes, por se refletirem diretamente na qualidade da vida das pessoas.

A estrutura espacial urbana, o monitoramento de suas alterações e suas tendências de expansão têm-se revelado de grande interesse e tornado preocupação de estudiosos e pesquisadores do assunto. Em decorrência, nos últimos anos, vêm sendo desenvolvidos produtos e técnicas que subsidiem a adoção de medidas, visando a tornar mais racional a intervenção do Homem nessas áreas.

O conhecimento espacial das diversas formas de ocupação e uso do solo urbano carece de um sistema de informações detalhadas, que possam ser obtidas com grande periodicidade, devido ao caráter extremamente dinâmico desse ambiente. (FORESTI e HAMBÚRGUER, 1992).

Nesse sentido, as técnicas de Sensoriamento Remoto, tanto aéreo como orbital, têm-se mostrado extremamente úteis, nas mais distintas escalas em que o assunto venha a ser abordado.

O presente estudo tem como principal objetivo reunir e ordenar informações, que dêem base técnica à seleção de métodos, equipamentos e produtos de SR, para equacionar problemas ambientais, decorrentes da ocupação e uso do solo urbano.

Para tanto, serão levantados e analisados numerosos trabalhos e pesquisas feitos no Brasil, ao mesmo tempo em que se acompanhará o avanço tecnológico do setor, sobretudo no tocante a novos equipamentos e produtos.

Isso contribuirá para instrumentalizar planejadores e gestores urbanos para a tarefa de solucionar, de forma adequada e econômica, os problemas ambientais que lhes sejam afetos. Seguir-se-ão alguns exemplos de aplicação prática, incluindo um exemplo na Região Metropolitana do Recife (RMR) de como analisar a partir de

fotografias aéreas, documentos cartográficos, e trabalho de campo o monitoramento de alterações intra-urbanas.

Com a melhoria da resolução espacial (maior detalhamento) dos sensores orbitais, este estudo de aplicação intra-urbano multitemporal poderia também vir a ser tratado utilizando fotografias aéreas ortoretificadas adicionadas de imagens de alta resolução de sensores orbitais.

O processo de instrumentalização almejado impõe a necessidade de se apresentar pressupostos teóricos cujo saber é indispensável àqueles que têm sob sua responsabilidade a tarefa de usar o ambiente terrestre. Assim, os capítulos seguintes abordarão temas relativos à definição do meio físico, da sua visualização espacial, dos equipamentos e dos produtos utilizados para tal fim, bem como de critérios para sua seleção.

O documento resultante retratará, de forma simples e dissertativa, um tema por demais atual e extremamente importante para todos aqueles que carecem de melhores informações sobre os meios utilizados com o fim de representar e conhecer o ambiente terrestre.

Espera-se que o documento assuma um cunho didático, de modo a atender ao público identificado com alunos de cursos técnicos, tanto de nível superior, quanto de nível médio, que não dispõem de publicações sobre o tema, com as características e os pormenores aqui previstos.

CAPÍTULO 1

1 PLANEJAMENTO URBANO E CARTOGRAFIA

Qualquer atividade é definida como tecnicamente correta, no seu sentido mais amplo, quando sua execução absorve um menor custo, aí incluído a noção de tempo, mantidas todas as características e especificações exigidas. Para alcançar tal conceito, essa atividade deve, antes de tudo, ser fruto de um rigoroso processo de planejamento.

Sempre que o palco de atuação de toda e qualquer intervenção do homem for o ambiente terrestre, a tarefa de planejar somente será possível se o meio físico, onde se desenvolverá a intervenção, for transferido, ou transportado, de seu aspecto natural para o gabinete do planejador e guardadas fielmente, todas as características e informações compatíveis com o tipo ou nível da atividade que se pretenda implantar.

O planejamento urbano do Município deve ser capaz de pensar a cidade estrategicamente, garantindo um processo permanente de discussão e análise das questões urbanas e suas contradições inerentes, de forma a permitir o envolvimento de seus cidadãos. (GREEN, 2002).

O zoneamento ambiental é um dos instrumentos previstos na Lei 6.938/81, constante da Política Nacional do Meio Ambiente. Também o artigo 4º do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001) estabelece que o zoneamento ambiental é um dos instrumentos do planejamento municipal. Visa o zoneamento ambiental oferecer subsídios ao planejamento municipal, incluindo-se aí a utilização dos recursos ambientais.

Através da ciência cartográfica é possível atender a exigência da espacialização para o planejamento municipal pois somente a mesma, através da utilização de numerosas técnicas de medição da superfície terrestre, possibilita a produção de documentos contendo informações as mais detalhadas e precisas daquele espaço, permitindo desse modo que haja uma perfeita interação entre o homem e o cenário natural. Aí sim, é dada ao técnico a possibilidade de visualizar e utilizar as informações contidas em tais documentos, fornecidos evidentemente em

escalas adequadas, e a partir de então exercer sua capacidade de planejar e conseqüentemente de projetar.

Desse modo, as soluções técnicas almejadas devem estar sempre ancoradas em um bom planejamento e este, por sua vez, encontra rumo e guarida nas técnicas e documentos fornecidos pela cartografia.

Nos itens seguintes serão apresentadas algumas conceituações e informações mais detalhadas sobre o meio físico terrestre, mais precisamente sobre a cartografia como ciência definidora desse meio; sobre a forma do planeta Terra; sobre a definição de um ponto (acidente) na superfície da terra; sobre os artifícios que permitem representar a superfície curva da terra em um plano e, por fim, sobre as técnicas que permitem sua visualização espacial.

1.1 A CARTOGRAFIA COMO ELEMENTO DEFINIDOR DO MEIO FÍSICO

A representação da superfície da Terra é uma tarefa das mais significativas e importantes no processo de racionalização da ocupação e uso do solo, com vista a uma melhor qualidade de vida de seus habitantes.

Tal representação é feita objetivando sobretudo atender os mais diversos objetivos e por isso é fundamental que exista, nesse processo, uma perfeita relação numérica de proporcionalidade entre o espaço físico natural (terreno) e seu correspondente desenhado no papel (gráfico).

Essa relação numérica entre a medida gráfica e a medida natural define o que se chama escala e a configuração obtida caracteriza o que se convencionou chamar de mapa.

O mapa é, no seu conceito mais elementar, a representação convencional da superfície da Terra sobre um plano, como se ela estivesse sendo observada do alto.

A ciência responsável pela condução desse processo, que se desenvolve em várias etapas, é a Cartografia. Ela pode ser definida como a ciência que tem por objetivo determinar a forma, a posição e a localização de qualquer parte da superfície da terra através de medições e coleta de informações convenientemente efetuadas sobre a mesma.

A Cartografia é constituída de varias ciências e técnicas, como a Topografia, a Geodésia, a Astronomia, a Geografia, o SR, dentre outras.

O estudo de tais ciências e técnicas, através de suas disciplinas afins, é reservado àqueles que se dedicam à execução de trabalhos inerentes à cartografia propriamente dita. Para aqueles que se servem dos produtos dela resultantes cabe sobretudo saber utilizar-se da gama de informações que lhe será fornecida. Para tanto, a exigência do conhecimento estará voltada a capacidade de saber ler, analisar e interpretar aqueles produtos.

A Cartografia é uma atividade meio e, em assim sendo, se presta a subsidiar toda e qualquer intervenção do homem que tenha como local de atuação a própria superfície terrestre. Portanto, entende-se então que para cada tipo de intervenção deva existir um mapa com características adequadas. Os mapas são construídos em função dos objetivos para os quais se destinam e são precipuamente caracterizados por suas precisões, que são basicamente de dois tipos: numérica e descritiva. A primeira dá ao usuário o limite métrico do erro que ele pode cometer ao fazer medições no mapa. A segunda caracteriza a fidelidade na identificação das informações contidas no mapa.

As precisões estão evidentemente ligadas à escala em que o espaço terrestre está sendo representado. Sabe-se que o olho humano consegue separar linhas, ou traços, afastados entre si de uma distância mínima correspondente a 0,2mm (dois décimos de um milímetro). Esse fenômeno é conhecido como erro gráfico e indica que qualquer acidente do terreno representado em um mapa poderá estar deslocado de sua real posição de um valor correspondente a 0,2mm. Então, todo mapa apresenta um erro mínimo correspondente exatamente ao erro gráfico multiplicado pelo módulo da escala.

Efetuando um pequeno cálculo vê-se que na escala de 1:10.000 o valor correspondente a 0,2mm é de 2m e na escala 1:100.000 esse valor é de 20 m. Diz-se então que o menor erro cometido em um mapa escala 1:10 000 é de 2m e na escala 1:100 000 é de 20m.

Em função dessa limitação de acuidade do olho humano, muitos acidentes, medidos no terreno, quando forem reduzidos para a escala do mapa resultam em valores inferiores ao erro gráfico. Nesses casos, torna-se impossível desenhá-los e a

solução técnica adequada é representá-los por símbolos que, no seu conjunto, constituem as denominadas convenções cartográficas.

1.1.1 A Forma da Terra

Sendo a superfície terrestre o principal campo de atuação da Cartografia é fundamental, antes de tudo, que seja conhecida sua forma.

A Terra tem uma forma própria, singular, chamada Geóide. Tal figura, em primeira aproximação, coincide com a superfície dos oceanos suposta em repouso e prolongada sobre os continentes, sendo porém mal definida matematicamente.

A figura geométrica cuja forma mais se aproxima do Geóide, e que tem uma perfeita definição matemática é a de um Elipsóide de Revolução. É uma figura gerada pela revolução de uma elipse, cujos semi-eixos (seus elementos definidores) são perfeitamente determinados através de medições especiais efetuadas em vários locais da superfície da própria Terra. Essa é a forma da Terra adotada pela Cartografia no desenvolvimento de todos os seus trabalhos, embora em alguns deles a Superfície do Elipsóide possa ser assimilada a de uma Esfera, por haver uma grande proximidade entre as mesmas, em decorrência da pequena diferença existente entre os dois eixos do Elipsóide.

De qualquer modo, tanto o elipsóide como a esfera são formas geométricas bem conhecidas e perfeitamente caracterizadas por expressões matemáticas de fácil manuseio, o que não ocorre com o geóide.

Ainda, em muitos trabalhos cartográficos a superfície curva da Terra pode ser adotada como plana. O limite de tal concessão situa-se a uma área com raio de 10km em torno de um ponto (COELHO, 1997).

Na Figura 1 tem-se uma representação esquemática do Geóide e do Elipsóide.

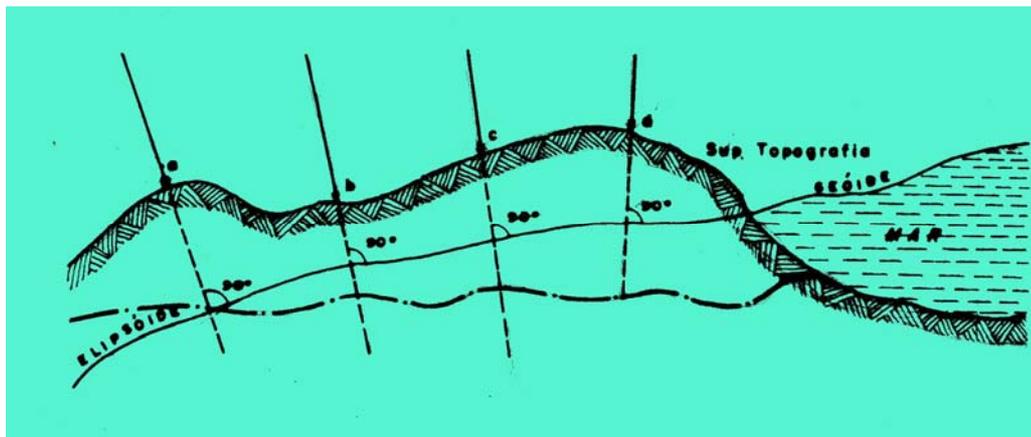


Figura 1 – Representação esquemática do geóide e do elipsóide
 Fonte: Adaptado do Serviço Geográfico do Exército, 1976

1.1.2 A Definição de um Ponto na Superfície da Terra

Estabelecida a forma da Terra, convencionou-se chamar de linha dos pólos o eixo vertical, em torno do qual ela efetua o movimento de rotação e de pólos seus pontos extremos.

O meridiano de um ponto qualquer da superfície da Terra pode ser definido como sendo um círculo imaginário que passa por esse ponto e contém a linha dos pólos.

O paralelo desse ponto, por sua vez, será um círculo imaginário que por ele passa e é perpendicular à linha dos pólos.

O Equador é o paralelo eqüidistante dos pólos.

O princípio fundamental da Cartografia consiste no estabelecimento de um sistema de coordenadas ao qual possa ser referido qualquer ponto da superfície da Terra. Esse sistema existe e é constituído pelo meridiano que passa pelo observatório de Greenwich, em Londres, e pelo plano do Equador.

Um ponto qualquer na superfície da Terra estará perfeitamente definido quando conhecidas suas coordenadas geográficas, que são a latitude e a longitude.

A latitude de um ponto qualquer na superfície da Terra é definida pelo ângulo, contado sobre meridiano do lugar, compreendido entre a normal a este ponto e o plano do Equador.

A longitude de um ponto qualquer na superfície da Terra é definida pelo ângulo diedro, medido no Equador, compreendido entre o meridiano do lugar e o meridiano de Greenwich.

Na Figura 2 a latitude e a longitude do ponto A estão representados respectivamente, pelos ângulos φ e λ

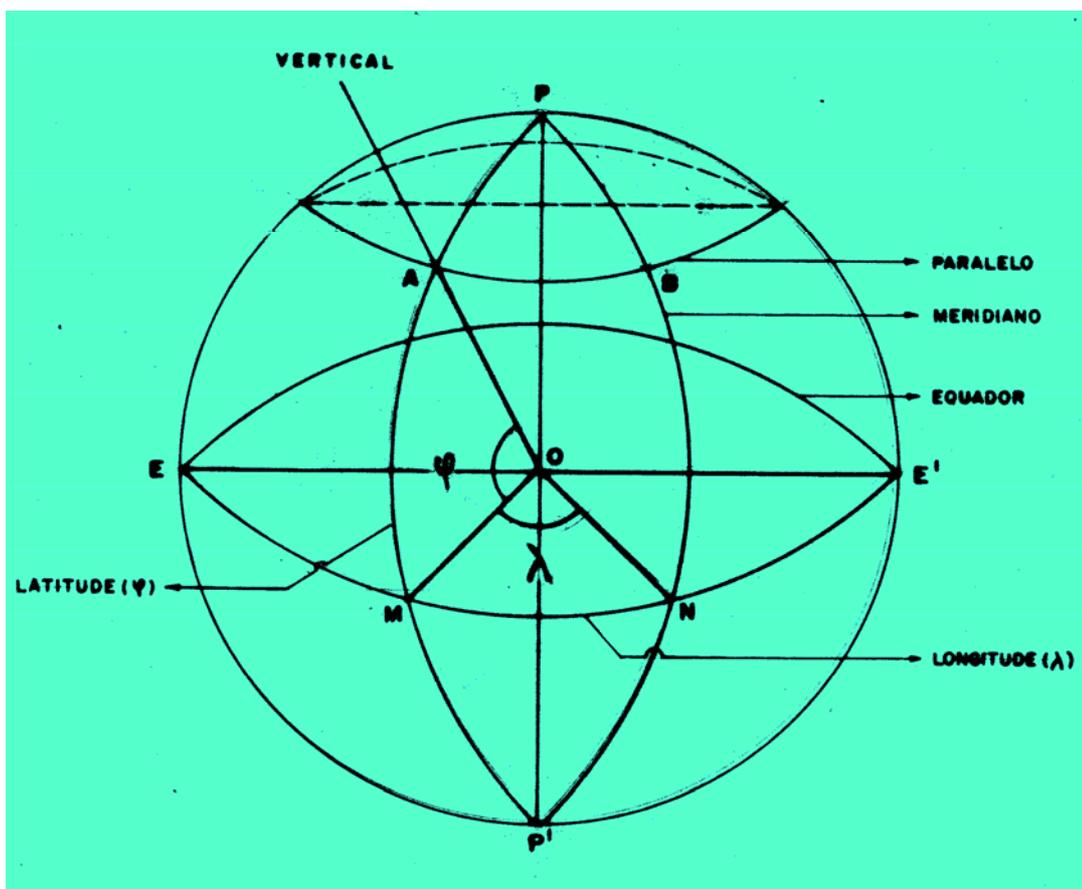


Figura 2 – Coordenadas Geográficas. Latitude e Longitude
 Fonte: Adaptado do Serviço Geográfico do Exército, 1976

A latitude e a longitude têm seus valores absolutos determinados pela Astronomia através de observações a estrelas, que são tomadas como pontos luminosos situados a grandes distâncias e admitidos como fixos. As coordenadas assim obtidas podem ser “transportadas” na superfície da Terra, permitindo a obtenção de coordenadas, ditas relativas, de vários outros pontos. A Geodésia é a ciência responsável por tal tarefa.

Com o avanço tecnológico, e o advento dos satélites artificiais, foram desenvolvidas outros equipamentos e técnicas que permitem determinar também o

posicionamento de um ponto na superfície da Terra através de observações àqueles artefatos. Atualmente tais equipamentos e técnicas atingiram performances notáveis possibilitando situar um ponto na superfície da Terra com precisão absoluta em torno de 10 a 15m, através dos conhecidos sistemas GPS (Sistema de Posicionamento Global)¹.

1.1.3 A Representação Plana da Superfície Curva da Terra

A tentativa de planificar uma superfície esférica é impossível e resulta em distorções, caracterizadas por esticamento, encolhimento ou dobras, que em síntese caracteriza o que se denomina de deformação. A Cartografia na busca de alcançar seu objetivo de representar em um plano uma parte ou o todo da superfície esférica da Terra se defronta exatamente com este problema.

Os sistemas de projeção ou, mais corretamente, de representações cartográficas consiste na aplicação de artifícios matemáticos e/ou projetivos que visam minimizar tais distorções que na prática se externalizam ao se fazer medidas de distâncias, de áreas e de ângulos em um mapa. Significa dizer que tais elementos medidos no mapa não terão necessariamente seus valores correspondidos àqueles medidos em seus homólogos no terreno. Sabe-se que a representação cartográfica quando elimina uma das distorções causadas pela transformação – da superfície curva em um plano – impossibilita que as demais deformações sejam eliminadas. Em função disso, resultam os quatro possíveis sistemas de representação: Eqüidistante, (em que as distâncias permanecem conservadas ao longo dos paralelos ou meridianos); Equivalente (em que as áreas permanecem conservadas); Conforme (em que os ângulos permanecem conservados); e Afilática (em que são minimizadas todas as deformações, sem contudo eliminar nenhuma delas).

A representação da superfície esférica da Terra é possível levando-se em conta dois elementos: a superfície de referência é a superfície de projeção.

¹ Informações mais detalhadas sobre GPS podem ser encontradas em: a) MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR/GPS*: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2000. v.1. p. 287. b) SANTOS, A. A. dos. *Geodésia: geodésia elementar e princípios de posicionamento global (GPS)*. Recife: Universitária, 2001. 215 p.

A superfície de referência diz respeito ao objeto a ser representado, que será a própria superfície terrestre ou parte da mesma.

A superfície de projeção poderá ser um plano, um cone ou um cilindro. No primeiro caso, a superfície de referência é projetada diretamente no plano e nos dois últimos ela é projetada na face do cone ou do cilindro e estes então são perfeitamente desenvolvidos (estendidos) no plano. A Figura 3 mostra as possíveis superfícies em que pode ser projetada a superfície terrestre.

As representações cartográficas têm normalmente como referência as coordenadas geográficas (latitude e longitude). Tal fato facilita sensivelmente a utilização de mapas elaborados em escalas pequenas, deixando a desejar, no entanto, quando se trata de usar mapas em escalas grandes, voltados principalmente às atividades da engenharia. Em razão disso a União Geodésica e Geofísica Internacional recomenda a adoção de uma representação plano-retangular em que as coordenadas possam ser medidas metricamente. Com tal característica foi desenvolvido o sistema de representação UTM (Universal Transverso de Mercator), formado por um cilindro transverso secante ao esferóide terrestre, tendo seu eixo de simetria coincidente com a linha do Equador (Figura 4).

Na concepção do sistema para o Brasil, procurando-se minimizar ao máximo as deformações resultantes, foi limitada a 6° (seis graus) a amplitude do cilindro (Figura 5).

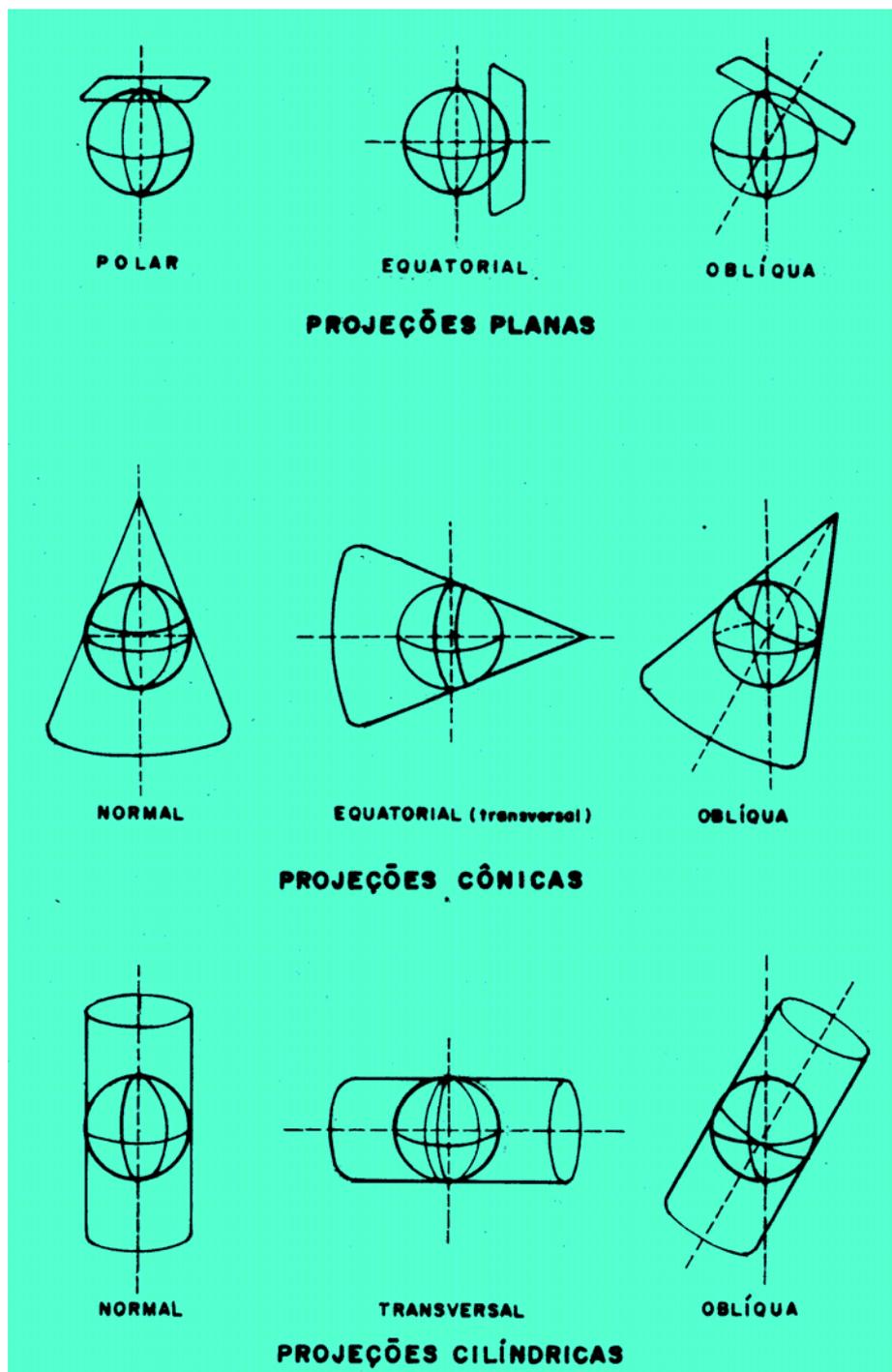


Figura 3 – Representação da superfície esférica da Terra
Fonte: Santos, 1985

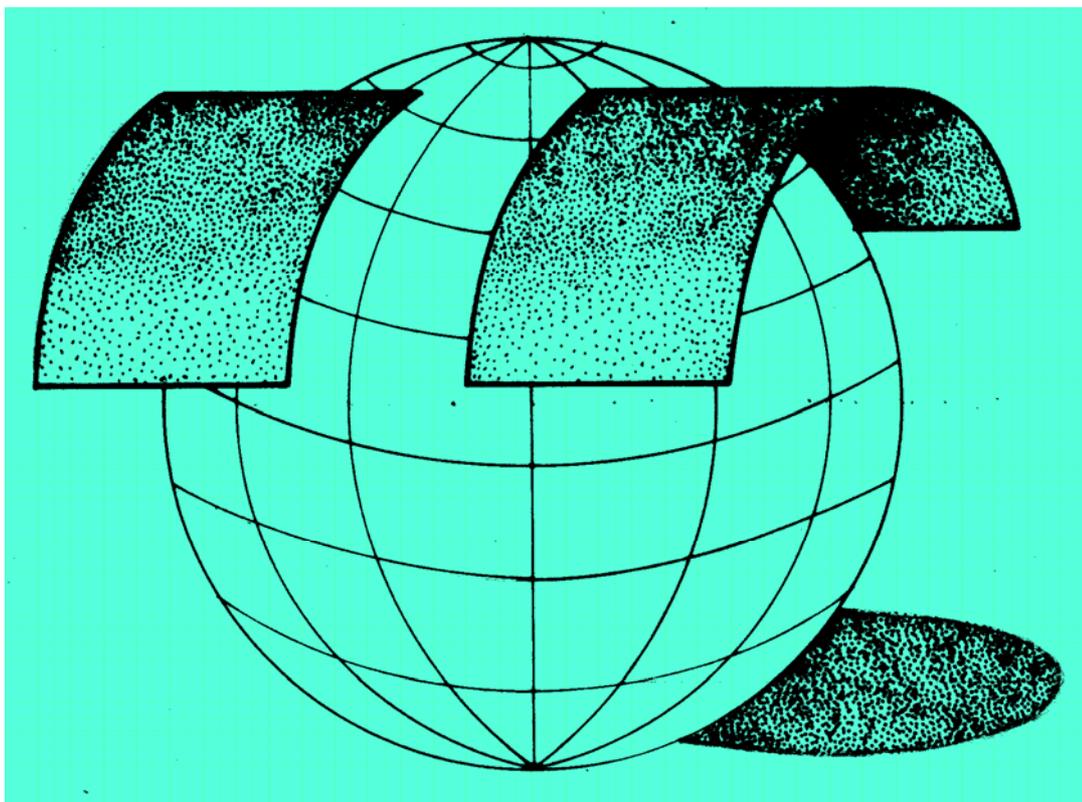


Figura 4 – Representação Gráfica da Projeção Cilíndrica Transversa, com cilindro secante
 Fonte: Adaptado do Serviço Geográfico do Exército, 1976

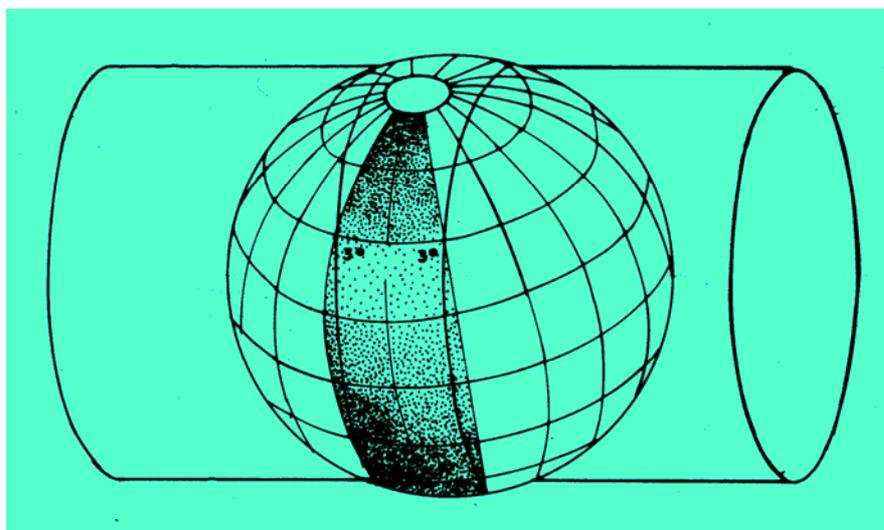


Figura 5 – Fuso com 6° de amplitude, cilindro secante
 Fonte: Adaptado do Serviço Geográfico do Exército, 1976

Como conseqüência, o esferóide terrestre seria imaginariamente envolvido por 60 (sessenta) cilindros secantes/transversos, tendo cada um 6° (seis graus) de

longitude, chamados “fusos” do sistema de representação. O meridiano situado no centro do fuso (meridiano central) e a linha do Equador formam então o sistema de eixos utilizados para medição das coordenadas métricas em cada “fuso”.

A projeção UTM tem como característica maior a sua conformidade, isto é os ângulos são mantidos em verdadeira grandeza. É, como já foi dito, uma projeção com medidas métricas e isto facilita bastante para as demais engenharias que lidam normalmente com o sistema métrico decimal. Esta é certamente a grande vantagem da projeção UTM em relação às demais².

1.2 A VISÃO ESPACIAL DO MEIO FÍSICO

A visão espacial do meio físico é possibilitada pelo uso das técnicas de SR, que é, em uma linguagem mais simples, a técnica de se obter informações à distância. Aqui, a informação deve ser entendida no seu conceito mais amplo pois envolve características e detalhes carentes de interpretação.

Segundo Novo (1992) o SR pode ser definido como:

a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são equipamentos capazes de coletar a energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada a extração de informações.

A partir dessa definição entende-se então que a transferência de dados do objeto para o sensor é feita através de energia. No caso do SR dos recursos da terra, a energia ou radiação detectada é a eletromagnética que, em se propagando no vácuo com a velocidade da luz, constitui um notável meio de transferência de informação entre os objetos terrestres e o sensor.

A energia radiante do Sol ao interagir com os diversos objetos da superfície da Terra origina uma série de fenômenos, como a reflexão, a absorção, a transmissão, o aquecimento, dentre outros. Dependendo das características físicas e

² Informações mais aprofundadas sobre Representações Cartográficas poderão ser encontradas em SANTOS, A. A. dos. *Representações Cartográficas*. Recife: Universitária, 1985.

químicas desses objetos, os referidos fenômenos ocorrem com intensidades diferentes. Esse comportamento físico/químico de interação de energia com os diversos objetos ou materiais existentes na natureza é denominado “assinatura espectral” e os equipamentos capazes de detectá-los são exatamente os sensores remotos. É através dessas “assinaturas” que se torna possível distinguir então os diferentes materiais entre si.

As radiações emitidas pelo Sol são distribuídas continuamente e segundo um espectro de ondas eletromagnéticas, subdivido em diversas regiões à saber:

- raio gama
- raio X
- ultravioleta
- visível
- infravermelho
- microondas
- onda de rádio

A região compreendida entre os raios gama e os raios ultravioleta, é caracterizada por ondas cujos comprimentos se situam abaixo de 0,38 micrometros. Tais radiações praticamente não ultrapassam a camada atmosférica e por isso sua utilização em SR é limitada a estudos de laboratório.

A maior parte dos equipamentos sensores, até hoje desenvolvidos, operam nas regiões do espectro situadas entre o visível e as microondas, conforme a seguir discriminado:

- ondas com comprimento entre 0,38 e 0,78 micrometros: região do visível (captadas por sensores fotográficos);
- ondas com comprimento entre 0,78 micrometros e 1 (hum) milímetro: região do infravermelho (captadas por sensores térmicos);
- ondas com comprimento entre 1 (hum) milímetro e 1 (hum) metro: regiões das microondas (radar e laser).

As ondas com comprimentos acima de 1 (hum) metro são denominadas ondas de rádio e não são tratadas em SR.

A região do visível pode ser subdividida em regiões menores, correspondentes às cores:

- violeta: ondas com comprimento entre 0,38 e 0,45 micrometros;
- azul: ondas com comprimento entre 0,45 e 0,50 micrometros;
- verde: ondas com comprimento entre 0,50 e 0,57 micrometros;
- amarelo: ondas com comprimento entre 0,57 e 0,59 micrometros;
- alaranjado: ondas com comprimento entre 0,59 e 0,61 micrometros;
- vermelho: ondas com comprimento entre 0,61 e 0,78 micrometros.

Na região do visível a energia utilizada no SR é o fluxo solar refletido. Na região do infravermelho a energia utilizada em SR é o fluxo térmico emitido pela superfície da Terra. Na região das microondas, os sistemas sensores operam tanto com a radiação emitida pela superfície terrestre como com a radiação refletida produzida por meio de fontes artificiais (circuitos eletrônicos).

Nas duas últimas décadas tem se tornado cada vez mais eficaz a utilização de técnicas e produtos fornecidos por sensores instalados a bordo de satélites artificiais, pois a repetitividade e rapidez com que as informações são fornecidas, aliadas ao aumento do poder de resolução dos modernos sensores em uso e ao crescente desenvolvimento de sistemas computacionais, permitem a coleta e análise de dados do ambiente terrestre em toda sua plenitude. Além do mais, a altitude em que são desenvolvidas suas aquisições, permite que se visualize grandes áreas da superfície terrestre.

Não obstante, as técnicas de levantamentos baseadas em medições e coleta de informações obtidas diretamente no terreno ou através de recobrimentos aerofotogramétricos clássicos, que são obtidos por sensores instalados em aeronaves, permanecem com seu grau de importância e se tornam até indispensáveis em certas atividades técnicas, cujas suas características exigem mensurações rigorosas dos objetos terrestres.

1.2.1 Sistemas Sensores

Um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação.

Os sistemas sensores são classificados ou caracterizados sob diversos aspectos:

a) Quanto à fonte de energia, eles são classificados em sensores passivos e sensores ativos.

Os sensores passivos captam a radiação solar refletida ou emitida por qualquer objeto da superfície terrestre. Eles dependem portanto de uma fonte externa de radiação para que possam operar. Como exemplo têm-se os sensores fotográficos.

Os sensores ativos são aqueles que produzem sua própria radiação. Os radares se apresentam como um bom exemplo para esse tipo de sensores;

b) Quanto à região do espectro eletromagnético em que operam, têm-se os sensores que operam na região ótica e os que operam na região de microondas do espectro.

Os sensores que operam na região ótica do espectro podem, por sua vez, ser classificados de acordo com o tipo de energia que detectam em “sensores de energia solar refletida” e “sensores termais”. Os primeiros captam a energia solar refletida pelos objetos da superfície e os segundos captam a energia térmica emanada de quaisquer objetos ou seres ocupantes do mundo terrestre.

c) Quanto ao tipo de transformação sofrida pela radiação detectada os sensores se classificam em não-imageadores e imageadores.

Os sensores não-imageadores não fornecem uma imagem da superfície imageada e sim informações sob a forma de dígitos ou de gráficos. Como exemplo têm-se os radiômetros. Os sensores imageadores fornecem uma imagem da superfície observada e são classificados em sensores fotográficos, sensores eletro-ópticos e sensores de microondas.

Os sensores fotográficos foram os primeiros equipamentos a serem desenvolvidos. Eles são praticamente uma reprodução artificial do olho humano e

compõe-se de uma objetiva, um diafragma, um obturador e um corpo onde se aloja o detector. Tais elementos no seu conjunto formam uma câmera fotográfica cuja função é focalizar a energia proveniente do objeto sobre o detector, que no caso é um filme.

Os sensores eletro-óticos diferem dos sensores fotográficos porque as informações do objeto são captadas sob a forma de sinal elétrico – posteriormente transformado em imagem – o que permite sua transmissão a grandes distâncias.

Os sensores de microondas são sensores ativos e através da emissão e recepção de sinais por eles próprios produzidos, fornecem também imagens do terreno.

1.2.2 Vantagens e Limitações dos Sistemas Sensores

Mesmo atendendo a uma considerável gama de atividades técnicas que carecem de informações mais acuradas ou detalhadas do ambiente terrestre e também, serem resultantes do notável surto de desenvolvimento tecnológico assistido pela sociedade nas últimas décadas, acrescido pela modernização constante dos sistemas computacionais que lhe dão apoio, as técnicas de SR não deixam de ter limitações no seu uso, principalmente por fatores que fogem ao controle do homem, como por exemplo, as condições meteorológicas.

Assim, a adoção de produtos oriundos de um sistema sensor deve levar em conta uma série das características próprias do sistema, traduzidas pelas vantagens e limitações que oferecem, e também pelo nível de informações pretendido.

1.2.2.1 Sistemas fotográficos

A grande vantagem dos sistemas fotográficos aéreos consiste na facilidade com que os mesmos são operados. De fato, por serem instalados em aeronaves é sempre possível o acompanhamento das operações diretamente pelo homem, o que permite, se necessário, detectar falhas e introduzir correções ou exigências que contribuam para seu sucesso. Além do mais, eles apresentam excelente resolução espacial e seus produtos podem ser oferecidos, com superposições prefixadas, o

que possibilita a observação tridimensional do terreno fotografado em toda sua extensão, e ainda serem processados e interpretados com grande facilidade.

Como limitações, tem-se o fato de seu produto, a fotografia, não ser transmitido à distância e sua obtenção depender diretamente das condições meteorológicas locais, pois o terreno deverá estar perfeitamente iluminado, devendo haver, portanto ausência de nuvens, brumas, umidades etc. Ainda, o recobrimento aerofotogramétrico é uma operação programada para um determinado fim e por isso exige, mais das vezes, uma imediata utilização de seus produtos por conta do processo de desatualização e também porque não há repetitividade na sua obtenção.

1.2.2.2 Sistemas eletros-óticos

Os sensores eletros-óticos possuem a grande vantagem de operarem em uma ampla faixa de espectro eletromagnético que se estende do ultravioleta até o infravermelho. Isso permite que alguns desses sensores possam imagear de dia ou de noite, como é o caso daqueles que atuam na faixa do infravermelho térmico. Outra grande vantagem oferecida pelos sensores eletros-óticos diz respeito ao fato de ser a aquisição dos dados feita em forma de sinais elétricos, o que permite sua transmissão a grandes distâncias. Esses dados podem também ser facilmente digitalizados e analisados através de técnicas computacionais sofisticadas, permitindo assim a análise digital.

No caso específico das áreas urbanas, a possibilidade do técnico escolher produtos desses sistemas em diferentes faixas espectrais, associada à possibilidade de combiná-las diferentemente em composições multiespectrais coloridas, facilita a discriminação de objetos urbanos. Além do mais, o fato de uma única cena cobrir extensas áreas permite a visão sinótica do espaço, bem como a apreensão da distribuição espacial dos núcleos urbanos nesses espaços. Do mesmo modo, esses produtos oferecem a facilidade de trabalhar em diferentes escalas, o que permite ao fotointerprete ter desde uma visão sinótica da rede de cidades até uma visão mais detalhada de cada mancha urbana isoladamente, detalhe este limitado apenas pela resolução espacial do sistema sensor. Ainda, o recobrimento repetitivo do mesmo

ponto da superfície da Terra, pelas passagens sucessivas do satélite permite que o processo de expansão urbana seja monitorado no tempo. Alias, essa é uma das grandes vantagens oferecidas pelos sistemas eletros-óticos.

Como limitações desses sensores eletros-óticos têm-se o fato de seus produtos não oferecerem boa orientação espacial, requerendo então um maior esforço nas correções geométricas, além de exigirem também mais trabalho e cuidados no seu processamento e interpretação. Existem ainda limitações por conta da altura em que as operações são desenvolvidas e também por conta de condições meteorológicas adversas, excetuando-se neste caso os sistemas que atuam na obtenção de imagens térmicas.

1.2.2.3 Sistemas de microondas

Nas operações de SR os sistemas de microondas, representados pelos radares de visada lateral, são basicamente os menos utilizados. Tais sistemas têm, possivelmente, como maior limitação, o fato de requererem alto grau de processamento do sinal antes que ele seja transformado em imagem. Este fato tem limitado a utilização do sistema de imageamento por radar nos programas espaciais de SR.

Os sistemas de radar, no entanto, apresentam como grande vantagem a possibilidade de operar no escuro e sob condições meteorológicas adversas. Por isso, tais sistemas têm grande potencial de aplicação em regiões tropicais onde a cobertura de nuvens reduz a eficiência de sensores que operam em faixas espectrais fora da região das microondas.

1.3 EQUIPAMENTOS E PRODUTOS DE SR UTILIZADOS NO BRASIL

Um sistema de aquisição de dados de SR é composto por uma fonte de energia eletromagnética, por um sensor que transforma em sinal a energia proveniente do objeto e por um analisador que transforma o dito sinal em informação.

A intensidade do sinal registrado não depende apenas das propriedades do objeto da superfície e nem da configuração do sensor utilizado. A altura do sensor em relação à área imageada é também um fator de grande interferência, tanto na intensidade e qualidade do sinal, quanto nas formas de registro e análise dos dados.

A altura do sensor em relação ao objeto define o que se chama em SR nível de aquisição de dados. Ao se passar de um nível para outro modificam as dimensões da área observada o que influi na resolução do dado obtido. Por isso, essas diferenças de níveis de aquisição de dados determinam diferenças nas formas de análise dos dados e, por consequência, no nível de informações deles resultantes.

É fácil deduzir então que os objetivos almejados pelo planejador é que vão definir o nível em que os dados ou informações devam ser coletados, ou obtidos, e também os produtos e equipamentos a serem selecionados.

1.3.1 Em Nível Aéreo

Como nível aéreo de SR considera-se a aquisição dos dados através de equipamentos sensores instalados a bordo de aeronaves.

O levantamento aerofotogramétrico é a missão mais comum de SR a esse nível e a câmara métrica é o equipamento sensor utilizado. Ela é assim definida por possibilitar a obtenção de fotografias adequadas a que se efetuem medições dos alvos do terreno nelas contidos.

Como detectores são utilizados filmes especiais, com finalidades diversas e que merecem a seguinte classificação.

- Pancromático – sensíveis a todas as ondas de espectro visível, isto é com comprimentos entre 0,38 e 0,78 micrômetros;
- Infravermelho Preto e Branco – sensíveis a ondas cujos comprimentos se situam um pouco além do visível, ou sejam entre 0,38 e 0,90 micrometros;
- Colorido – sensíveis também as ondas do espectro visível e apresenta as cenas do terreno em suas cores naturais;

- Infravermelho Falsa cor – sensíveis a ondas com comprimento situados entre 0,38 e 0,90 micrometros e apresenta os objetos da natureza com cores diferentes das reais, com objetivo de realçá-los e facilitar o processo de coleta de informações.

A fotografia obtida em qualquer desses filmes fornece uma considerável gama de informações sobre o ambiente terrestre, e seu tratamento e interpretação são facilmente dominados por especialistas que atuem no ramo.

Por ter uma câmera fotográfica todos os seus componentes e seu funcionamento comparáveis ao olho humano, seu produto, a fotografia, apresenta também as mesmas características de uma imagem captada pelo homem.

1.3.1.1 A visão natural e a visão estereoscópica

A visão natural, ou binocular, permite que o cenário em torno do homem seja visto em três dimensões. Quando se observa um objeto qualquer, em cada olho é formada uma imagem desse objeto: essas imagens são reais invertidas e independentes uma da outra. Na seqüência, elas são conduzidas, através do nervo ótico, ao centro de visão do cérebro, são reinvertidas, se fundem e dão a sensação de uma única imagem em três dimensões. O processo somente se realiza, com a utilização simultânea dos dois olhos, sendo impossível à obtenção da imagem tridimensional com um olho apenas.

Com tais pressupostos, é possível então substituir os dois olhos por duas câmeras e obter em cada uma delas a imagem de um mesmo objeto. Se então, ao mesmo tempo, se observar com o olho direito à foto obtida com a câmera da direita e com olho esquerdo a foto obtida com a câmera da esquerda, em cada olho se formara uma imagem daquela foto. As duas imagens assim obtidas são conduzidas ao cérebro e se fundirão em uma única imagem em três dimensões. Essa visão assim alcançada é chamada de Visão Estereoscópica e é desse modo que as cenas do mundo terrestre podem ser observadas em três dimensões, permitindo com mais facilidade e fidelidade à interpretação de seus alvos ou objetos. Existem vários métodos e equipamentos que possibilitam sem maiores esforços ou dificuldade o

alcance da visão Estereoscópica. Esse par de imagens é chamado de modelo estereoscópico.

O SR em nível aéreo, embora sem essa designação, teve seu grande impulso a partir da II Guerra Mundial com a farta utilização da aviação, inclusive com a tomada de fotografias aéreas das posições inimigas e a crescente utilização das técnicas fotogramétricas.

1.3.1.2 O recobrimento aerofotogramétrico

A operação responsável pela tomada de fotografias aéreas para fins de mapeamento do ambiente terrestre é chamada de recobrimento ou vôo fotogramétrico.

Ele é executado de tal forma que as fotografias obtidas possam ser observadas estereoscopicamente, para isso, basta que as mesmas guardem entre si uma determinada superposição, o que é perfeitamente possível graças ao continuo deslocamento do avião.

O controle direto de homem sobre os equipamentos necessários a execução de um vôo fotogramétrico, incluindo aí a própria aeronave, a alta resolução dos sensores utilizados e da baixa altitude em que as operações podem ser desenvolvidas, fazem com que seja possível a obtenção ou elaboração de produtos que atendem desde estudos de alcance regional carentes de informações gerais, até intervenções em áreas urbanas, que exigem representações bem detalhadas e precisas dos objetos que as ocupam.

Por isso, é indispensável à utilização de dados e produtos decorrentes de sensores aéreos na elaboração de projetos executivos de engenharia urbana, como abastecimento d'água, esgotamento sanitário, sistemas viários, expansão urbana, contenção de encostas, prevenção de enchentes etc. e na elaboração de cartas plani-altimétricas de informações gerais, com precisões controladas, e que permitem o desenvolvimento de estudos sobre sistemas de comunicações, cadastramento rural, ocupação e exploração de espaços rurais, bacias hidrográficas, atividades militares, dentre outros.

Além do mais, os produtos de sensoriamento aéreo são extremamente úteis como subsidiários ou complementares nos trabalhos desenvolvidos com o uso de sensores orbitais.

Por outro lado, ainda no nível aéreo, têm-se os sensores de microondas, que são os radares de visada lateral. Tais equipamentos são também transportados a bordo de aeronaves e, por serem sensores ativos, são caracterizados por emitirem e captarem suas próprias radiações. Desse modo, eles ficam isentos da interferência de condições meteorológicas e independentes de iluminação da área imageada. Contudo o grau das informações por eles transmitidas, dito de reconhecimento, sugere sua utilização em extensas áreas, em que dificuldades das mais diversas impeçam a utilização de outros sistemas sensores.

1.3.2 Em Nível Orbital

Todo sistema de SR Orbital compõe-se de duas partes principais: o Subsistema Satélite e o Subsistema Terrestre.

O Subsistema Satélite tem a função de coletar os dados através de seus componentes básicos, constituídos do próprio satélite, com seu conjunto de sensores, e de sistema de controle de altitude.

O Subsistema Terrestre tem a função de processar os dados e torná-los utilizável por especialistas em extração de informações sobre o ambiente terrestre. Ele é constituído por estações de recepção, processamento e distribuição de dados.

No Brasil, os dados fornecidos por satélites vêm sendo obtidos a partir de 1972, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE que desde aquela época dispõe de uma completa infra-estrutura para recepção, processamento e distribuição de produtos do programa LANDSAT desenvolvido pela NASA.

Até os dias atuais outros equipamentos foram lançados ao espaço e seus produtos tornaram-se disponíveis no Brasil, independentemente da inexistência de estações receptoras, através da interveniência de empresas especializadas no assunto. Assim, é que hoje têm-se em disponibilidade os mais diferentes produtos fornecidos principalmente pelos sistemas LANDSAT, SPOT, IKONOS, CBERS e

QUICK BIRD, perfeitamente utilizáveis em atividades voltadas ao planejamento urbano.

1.3.2.1 O sistema LANDSAT

O sistema denominado LANDSAT representa a fonte de dados de SR com maior potencial de continuidade ao longo do tempo. Ele foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e recebeu inicialmente o nome ERTS, mudado para LANDSAT em 1975.

Os dados do sistema LANDSAT são recebidos no Brasil desde 1972, que conta com toda infra-estrutura para sua recepção, processamento e distribuição de produtos através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Até o presente foram lançados sete satélites do Programa LANDSAT sendo que atualmente somente os Landsat 5 e 7 estão em atividade, embora os produtos dos demais ainda sejam comercializados. Anote-se ainda que o LANDSAT 6, lançado em 1993, foi perdido após o lançamento. O LANDSAT 7, desde do 1º semestre de 2003, está com problemas na transmissão de dados.

O satélite LANDSAT 5 tem a bordo os sensores designados por MSS e TM. O sensor MSS (Multispectral Scanners Subsystem) é um sistema de varredura multiespectral que permite o imageamento do terreno numa faixa de 185km. Apesar da seleção de bandas do MSS ter sido mais favorável a estudos na área de agronomia, a visão sinótica e a possibilidade de dados multi-temporais por ele fornecidos têm-se mostrado extremamente útil no desenvolvimento de metodologias aplicadas a estudos urbanos mormente aqueles atinentes a redes urbanas, a ocupação do solo e suas alterações e também na análise de distribuição da vegetação.

O sensor TM (Thematic Mapper) é um sistema avançado de varredura multiespectral concebido para proporcionar melhor resolução espacial, melhor discriminação espectral entre objetos terrestres e maior fidelidade geométrica dos mesmos.

A guisa de esclarecimento, os sensores captam dados terrestres segundo faixas delimitadas por ondas eletromagnéticas, que são definidas por seus comprimentos. Essas faixas são chamadas de “banda”. Assim, podem ser obtidas distintas imagens inerentes a cada “banda” nas quais são registradas, com maior ênfase os elementos do terreno que refletem as ondas correspondentes.

Tem-se a seguir as principais características e aplicações potenciais do sensor TM que possui sete bandas:

a) Banda 1

- Apresenta grande penetração em corpos d'água, permitindo a realização de estudos batimétricos.
- Possibilita mapeamentos de superfície de água e materiais em suspensão.
- Possibilita mapeamento de áreas costeiras.
- Possibilita diferenciação entre solo e vegetação.
- Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividades industriais.

b) Banda 2

- Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade.
- Permite o mapeamento de vegetação sadia, pela refletância da clorofila.

c) Banda 3

- Permite a identificação de solo exposto, de estradas e de áreas urbanas.
- Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (campo, cerrado, floresta etc.).
- Permite o mapeamento da drenagem do terreno.
- Permite delimitar a mancha urbana e identificar novos loteamentos.
- Permite identificar áreas agrícolas.

d) Banda 4

- Permite o mapeamento de redes de drenagem e delineamento de corpos d'água.
- Permite a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.

- Serve para mapear áreas de queimadas.
- Permite a identificação de áreas agrícolas.

e) Banda 5

- Permite observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico.
- Possibilita a elaboração de estudo de estrutura urbana.

f) Banda 6

- Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo então para detectar propriedades termais de rochas, solos, água e vegetação.
- Possibilita estudos microclimáticos

g) Banda 7

- Permite obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.
- Apresenta potencial favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

A resolução geométrica das imagens nas bandas de números 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30m. A resolução geométrica das imagens na banda 6 é de 120m.

Em 1999 foi lançado ao espaço o mais recente satélite do programa, o LANDSAT 7. Ele apresenta a mesma configuração do LANDSAT 5, tendo a bordo contudo um novo sensor TM com características técnicas bem mais avançadas e por isso chamado TM Plus (TM +). Entre as principais melhorias técnicas, se comparado ao seu antecessor LANDSAT 5, destacam-se a adição de uma banda Pancromática (banda 8) com resolução de 15m, e uma “banda” térmica (6) com resolução de 60m.

Essa banda Pancromática (canal 8), com 15m de resolução, permite que as imagens obtidas possam ser ampliadas até a escala 1:25.000, o que permite uma boa separabilidade dos objetos de interesse tanto em área rural como urbana.

As Figuras 6 e 7 mostram imagens LANDSAT 5 e 7 respectivamente. A primeira mostra a cidade de Brasília-DF e a segunda uma vista da Ilha Bela-SP.



Figura 6 – Imagem LANDSAT 5 – Brasília – DF
Fonte: Banco de dados do SPRING-INPE



Figura 7 – Imagem Landsat 7 ETM +, Ilha Bela-SP
Fonte: <http://www.engesat.com.br/satelite/landsat/.htm>

1.3.2.2 O sistema SPOT

O Sistema SPOT (Sistema Probatoire de Observation de la Terre) é um programa espacial francês semelhante ao LANDSAT.

O sistema é constituído basicamente de satélites, sistemas sensores e sistema terrestre de aquisição, processamento e disseminação de dados.

Até o presente foram lançados ao espaço cinco satélites:

SPOT 1: lançado em fevereiro de 1986;

SPOT 2: lançado em janeiro de 1990;

SPOT 3: lançado em setembro de 1993 e perdido em 1997;

SPOT 4: lançado em março de 1998;

SPOT 5: lançado em maio de 2002.

Assim, a constelação SPOT é constituída de quatro satélites que possibilita o acesso de qualquer ponto da Terra em torno de 24 horas, com uma capacidade de revisita praticamente diária.

Os satélites SPOT 1, 2 e 4 operam em dois modos espectrais distintos que podem ser programados simultaneamente para uma mesma área:

- Modo Multiespectral
- Modo Pancromático

No modo Multiespectral as observações são feitas em três bandas espectrais para os SPOT 1 e 2 e em quatro bandas para o SPOT 4. A resolução em todas elas é de 20 metros.

No modo Pancromático, as observações são feitas por uma única banda, tanto no SPOT 1 e 2 como no SPOT 4, com uma resolução de 10 metros.

O modo Multiespectral é recomendado para aplicações temáticas, para estudos de vegetação, uso e ocupação dos solos etc. O modo Pancromático é aconselhado para aplicações que requeiram precisão geométrica e boa resolução.

Dois sensores idênticos, denominados HRV (High Resolucion Visible), estão a bordo do satélite e podem ser ativados independentemente. Cada um desses instrumentos abrange uma faixa de varredura do terreno medindo 60km. Quando os

dois sensores operam em faixas adjacentes a faixa total de varredura é de 117km, havendo então uma superposição de 3km entre as duas imagens, na qual é possível uma visão estereoscópica do terreno.

O satélite SPOT 5 tem a bordo dois novos sensores, denominados HRG (High Resolution Geometric) que também operam em dois modos: no modo multiespectral com resolução de 10m (em quatro bandas) e no modo pancromático com resolução de 5m (em uma banda).

O SPOT 5 possui ainda dois instrumentos HRS (High-Resolution Stereoscopic) que fornecem cobertura estereoscópica de amplas regiões e são capazes de fornecer dados em estereoscopia que, uma vez processados, resultam em Modelos Numéricos do Terreno com 10m de precisão altimétrica, servindo pois a inúmeras aplicações em Cartografia, em telecomunicações, em simuladores de vôo e sistemas de informações geográficas.

Com tais características as imagens do SPOT 5 permitem aplicações nas escalas entre 1:10000 e 1:25000, passíveis de utilização em áreas urbanas.

Imagens SPOT podem ser observadas nas Figuras 8 e 9.



Figura 8 – Imagem SPOT PAN, área urbana, 2003
Fonte: <http://www.engesat.com.br/satélites/spot>



Figura 9 – Imagem SPOT PAN+XS, Cidade de Brasília – DF, 1995

Fonte: <http://www.engesat.com.br/panxs.spot.htm>

1.3.2.3 O sistema IKONOS

O satélite IKONOS está operacional desde janeiro de 2000. Ele é operado pela SPACE IMAGING, entidade privada americana, que detém os direitos de comercialização para todo o mundo. Ele gera imagens com até 1m de resolução espacial, característica nunca antes alcançada por outro satélite comercial. Tal resolução permite discriminar objetos do terreno com área de até 1m².

Em razão disso, são inúmeras as aplicações potenciais desse satélite, nos mais distintos assuntos, como a seguir discriminados:

- Nos Sistemas de Informações Geográficas (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente etc.).
- Na elaboração de mapas urbanos.
- Na elaboração de cadastro urbano e rural.
- Em trabalhos de apoio em GPS.
- No uso e ocupação do solo (urbano sobretudo).
- Nos estudos do meio ambiente que requeiram escalas grandes.

- Em Arquitetura/Urbanismo/Paisagismo.
- Em assuntos fundiários (regularização de propriedades, demarcação de glebas etc.).
- Em trabalhos de engenharia que requeiram escalas entre 1:5000 e 1:2500.
- Na agricultura convencional ou de precisão.
- Na engenharia florestal (projetos de desenvolvimento sustentável e censo de árvores).
- Em turismo (identificação de locais e localização de atrativos turísticos).
- Na realização de perícias em questões ambientais.

Tais imagens, de alta resolução, estão revolucionando o mercado de imagens de satélites tanto no Brasil como no exterior.

As Figuras 10 e 11 mostram imagens do Sistema IKONOS.



Figura 10 – Imagem IKONOS PSM, Área residencial ao Norte do Lago Paranoá em Brasília DF, 2004
Fonte: http://www.engesat.com.br/download_imgs/new/brasilia2.htm



Figura 11 – Imagem do satélite IKONOS, trecho da Rodoferroviária de Curitiba-PR, 2001
Fonte: http://www.engesat.com.br/download_imgs/new/curitiba.htm

1.3.2.4 O sistema CBERS

Um programa de cooperação técnica foi firmado entre a China e o Brasil em 1988 para desenvolver dois satélites de observação da Terra. O primeiro deles, denominado CBERS foi lançado por foguetes chineses, a partir da base de lançamento de Shanxi, na República Popular da China, em 1999. O segundo satélite foi lançado da mesma base, no final do ano 2003. As imagens por eles produzidas já vêm sendo comercializadas no Brasil. O satélite CBERS leva a bordo três sensores imageadores:

- Um imageador de Visada Larga (WFI) que permite uma visada de 910km no solo, com resolução espacial de 260m, em duas bandas espectrais.

- Uma Câmera de Alta Resolução (CCD) fornecendo imagens em quatro bandas multi-espectrais e uma pancromática, abrangendo uma área de 113km x 113km, com resolução espacial de 20m.
- Um Varredor Multi-espectral Infravermelho (IR-MSS), fornecendo imagens em três bandas multi-espectrais e uma pancromática, abrangendo uma área de 119km x 119km, e com resoluções de 80m, para o modo pancromático e infravermelho, e 160m para as imagens térmicas

Os dados desses múltiplos sensores são especialmente interessantes para acompanhar ecossistemas que requerem alta repetitividade.

A Figura 12 mostra uma imagem CBERS, obtida no ano de 2000.



Figura 12 – Imagem CBERS, Brasília-DF, 2000
Fonte: <http://www.cbbers.inpe.br/download/img3.jpg>

1.3.2.5 O sistema QUICK BIRD

O satélite QUICK BIRD foi lançado em outubro de 2001 na Califórnia, EUA, e é operado pela empresa norte-americana Digital Globo. Seus sensores têm como

características principais a obtenção de imagens com uma alta resolução espacial, uma apurada precisão em geoposicionamento e uma extensa área de imageamento.

O sistema opera no modo pancromático com a notável resolução de 0,61m e no modo multi-espectral com resolução de 2,44m apresentando assim, a mais alta resolução em termos de sensores óticos disponíveis comercialmente.

No modo pancromático as imagens são obtidas em uma única banda (branco e preto) e no modo multi-espectral em quatro bandas (correspondentes ao azul, ao verde, ao vermelho e ao infravermelho próximo) que permitem a elaboração de produtos em cores naturais ou em falsa cor.

Com tais características as potencialidades do uso dos produtos obtidos são as seguintes:

- na agricultura: a resolução espectral de 2,44m permite a avaliação de diversas informações sobre uma área de plantio, como tipo e tamanhos de cultura, análise de irrigações, desgaste do solo, avaliação de avarias causadas por geadas, tempestades, pragas etc.;
- no planejamento urbano: a alta resolução de satélite permite que sejam feitas mensurações precisas de ruas, controle de elevações, controle de arrecadação tributaria, monitoramento de tráfego de veículos, entre outras, permitindo ainda a realização de uma grande variedade de projetos de infra-estrutura urbana;
- em meio-ambiente: podem ser monitoradas por diversos tipos de poluição do ar, bem como mensurar sua extensão e dissipação nas correntes aéreas, possibilitando a identificação de áreas passíveis de serem atingidas por um tipo de poluição. É possível também realizar levantamentos de áreas a serem desmatadas ou inundadas, possibilitando assim mensurar impactos ambientais decorrentes de diversos projetos, bem como observar e localizar desmatamentos, construção de estradas e pistas de pouso ilegais, ocupação ilegais de área e até cumprimento de leis ambientais.

As Figuras 13 e 14 mostram imagens do sistema QUICK BIRD, obtidas em 2002 e 2004.

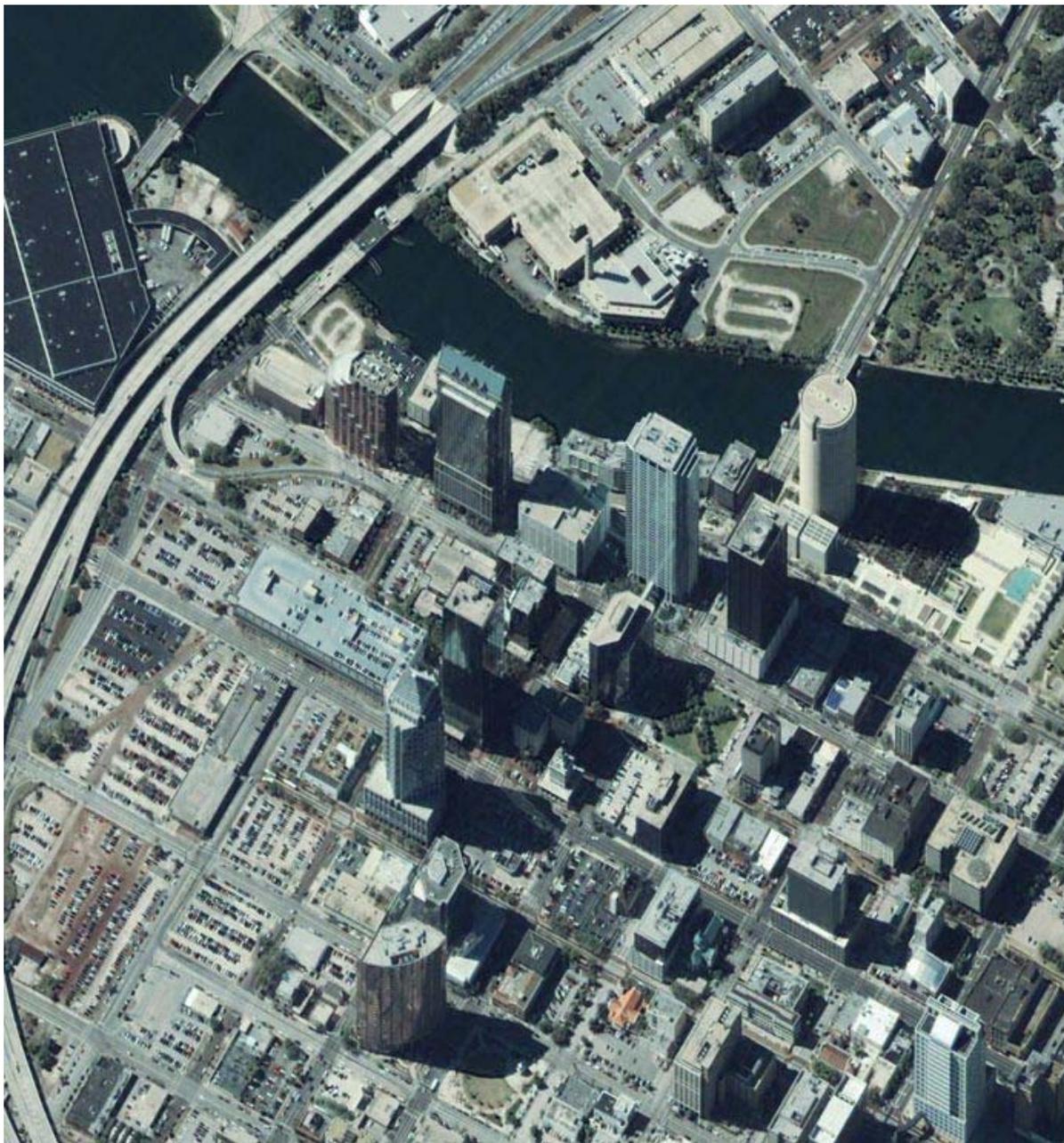


Figura 13 – Imagem QUICK BIRD, Cidade de Tampa na Flórida. 2002
Fonte; <http://www.infoterra-global.com/quickbird.htm>



Figura 14 – Imagem do QUICK BIRD, da construção da Vila Olímpica na Grécia, 2004
Fonte: http://www.digitalglobe.com/images/qb/athens_olympic_may07_2004_dg.jpg

CAPÍTULO 2

2 APLICAÇÕES DE SR EM PROBLEMAS URBANOS

O referencial teórico aqui apresentado constitui a base fundamental para o desenvolvimento dos mais diversos estudos e aplicações das técnicas de SR em levantamentos e monitoramento do uso do solo.

Nos últimos anos vários pesquisadores e estudiosos do assunto vêm empreendendo esforços na busca de metodologias para utilização de dados de SR no equacionamento de problemas inerentes à ocupação do espaço urbano.

Os exemplos de aplicações a seguir apresentados, embora em nível de amostragem, dizem bem desses esforços, indicam como as técnicas e produtos de SR vêm sendo utilizados no Brasil e podem até servir como indicativos para solução de problemas semelhantes.

2.1 EM ANÁLISE DE EXPANSÃO URBANA

Oliveira et al (1978) desenvolveu trabalho buscando maximizar a utilização de produtos de SR, tomados de baixa altitude, na setorização urbana, dentro de uma linha de pesquisa patrocinada pelo INPE. A análise da estrutura espacial urbana foi basicamente, realizada através da interpretação de fotografias aéreas pancromáticas, escala 1:10.000, que possibilitou identificar zonas homogêneas e daí partir para a setorização. O método foi, aplicado para a setorização urbana das cidades de Cachoeira Paulista e São José dos Campos, ambas em São Paulo.

Barros et al (1982) utilizando aquele mesmo tipo de produto, isto é, fotografias aéreas escala 1:10.000, e mosaicos aerofotogramétricos elaborados em épocas e escalas diferentes, desenvolveram um modelo para análise e projeção da estrutura espacial urbana em cidades de porte médio. A cidade de São José dos Campos, em São Paulo, foi utilizada como área teste.

Nessa mesma década, quando dinamizou a utilização de dados obtidos por sensores orbitais, numerosos trabalhos foram apresentados visando principalmente externalizar a importância e viabilidade da utilização daqueles dados nos estudos de monitoramento e avaliação da expansão urbana de importantes cidades brasileiras.

Assim, Pereira et al (1982) tomando por área teste a região localizada entre as represas Billings e Guarapiranga, em São Paulo, estudaram a utilização de vários produtos do sistema LANDSAT no monitoramento da expansão urbana naquela área. Técnicas de interpretação visual e automática foram utilizadas para executar o mapeamento local e fazer a avaliação de sua expansão urbana no período 1977/79.

Cerca de dois anos depois Maria de Lourdes de Oliveira et al (1984) utilizando também dados orbitais de SR e tratamento automático de imagens procederam a análise da expansão urbana da cidade de Brasília no período de 1973/83, tomando como referencia a proposta estabelecida no Plano Piloto daquela cidade.

Pereira (1988) apresentou um novo trabalho sobre expansão urbana, desta feita da cidade de São José dos Campos, em São Paulo, e utilizando imagens TM-LANDSAT, fotografias aéreas escalas 1:10.000, ambas tomadas em 1985, e ainda cartas topográficas escala 1:50.000 construídas pela Fundação IBGE em 1974. Com o uso associado desses produtos foi possível verificar o crescimento urbano daquela cidade no período de 1966/85.

Vieira (1993) procedeu a um estudo voltado ao desenvolvimento de metodologia de interpretação visual de fotografias aéreas e interpretação digital de produtos de SR orbital para definição da expansão urbana em ambientes litorâneos. Para o estudo foram utilizadas imagens MSS e TM do sistema LANDSAT, imagens do sistema SPOT, fotografias aéreas escala 1:25.000, cartas topográficas e mapeamentos temáticos específicos. A área teste escolhida foi a do município de Ubatuba, litoral norte da cidade de São Paulo, que apresentou constantes problemas de ordem ambiental, em decorrência da falta de critérios para a ocupação do solo urbano. Aos dados da expansão urbana obtidos foram integrados dados provenientes da adaptação feita à carta geotécnica elaborada pelo IPT em 1991, no intuito de adequar o uso do solo urbano, e suas formas de ocupação, e as atividades socioeconômicas às peculiaridades físicas e ambientais do município. Dessa integração foram gerados dois importantes produtos cartográficos: o primeiro, com indicativo de expansão urbana do município no período de 1973 a 1979 e o

segundo, com indicativo das áreas com diferentes tipos de restrições a ocupação urbana.

Recentemente, Freitas et al (2003) apresentaram trabalho sobre a utilização de fotografias aéreas na avaliação das transformações sócio-espaciais ocorridas na zona sul da cidade de São José dos Campos, em São Paulo, no período de 1962 a 1997. Os autores, utilizando, também cartas topográficas escala 1:10.000, nas quais foram lançadas as informações extraídas no processo de fotointerpretação também realizado, elaboraram um conclusivo material cartográfico em que é mostrado o crescimento da área, ocupada e as alterações acontecidas no uso do solo no período do estudo.

2.2 EM ESTUDOS DE QUALIDADE AMBIENTAL E EM GEOTECNOLOGIAS

Os produtos e técnicas de SR têm também grande aplicação, nos estudos voltados a avaliação da qualidade ambiental urbana e em geotecnologias.

Foresti et al (1986) desenvolveram trabalho com o objetivo de demonstrar que a vegetação é um excelente indicador da qualidade de vida nas áreas urbanas. Para isso, aquelas pesquisadoras utilizaram dados obtidos em imagens TM-LANDSAT e fotografias aéreas infravermelho falsa cor e daí conseguiram definir indicadores de quantidade de vegetação. Na conclusão, foi possível estabelecer oito intervalos de indicadores em áreas que variam desde aquelas totalmente sem vegetação até parques bastante arborizados.

Em 1987, Foresti, desenvolveu estudos visando avaliar o impacto ambiental decorrente da expansão urbana do setor oeste da área metropolitana da cidade de São Paulo, no período compreendido entre 1975 e 1985, utilizando dados extraídos de imagens MSS-LANDSAT, TM-LANDSAT e HRV-SPOT. A identificação das alterações ocorridas na estrutura espacial urbana no período estudado e a análise do uso do solo dessas novas áreas incorporadas ao tecido urbano foram feitas com a utilização das imagens do sistema LANDSAT. A análise da estruturação urbana e do monitoramento ambiental foi aprofundada a partir dos dados pancromáticos de sensores do sistema SPOT, ampliados digitalmente para a escala 1:10.000, e complementadas com trabalhos de campo e com sobrevôo de helicópteros. Os

resultados do trabalho mostraram que os impactos ambientais no setor oeste da região metropolitana da cidade de São Paulo estão bem mais relacionados às condições do padrão de assentamento urbano do que propriamente as características físicas da área e que a cobertura vegetal se mostrou como o mais importante indicador das alterações do equilíbrio ambiental.

Uma proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de fotografias aéreas, imagens orbitais do sistema SPOT, imagens TM-LANDSAT, um sistema de informações geográficas e um banco de dados georelacional foi desenvolvido por Ceccato, (1993). A proposta baseou-se num modelo conceitual de qualidade de vida urbana, envolvendo variáveis como: infraestrutura, renda, saúde, criminalidade, padrão de espaço construído e áreas verdes. Para isso, foi avaliado em caráter exploratório a potencialidade dos padrões texturais e classes de índices de vegetação, ambos extraídos de imagens orbitais, como indicadores das condições sócio-ambientais. Tanto os dados de produtos convencionais (fotografias aéreas) como os de sensoriamento orbital foram inseridos em um banco de dados e possibilitaram a produção de representações cartográficas de cada variável do modelo de qualidade de vida urbana. O modelo mostrou-se útil para o diagnóstico da qualidade de vida urbana da cidade de Rio Claro, em São Paulo.

Jardim elaborou em 1995, uma avaliação da expansão urbana próxima à área de mineração, tomando por base o fato de ser a mineração uma das atividades humanas que mais causam impacto ao meio ambiente, podendo provocar modificações na topografia local, na cobertura vegetal, além de poluir os recursos hídricos e provocar o aumento das concentrações humanas, devido a grande demanda de mão-de-obra. O fato se torna mais grave quando ocorre próximo a áreas de expansão urbana, principalmente quando esta é possuidora de obras de valor histórico incalculável, que é o caso de Congonhas, em Minas Gerais. A metodologia proposta consistiu em uma primeira etapa na confecção de mapas de declividade, de frequência hidrográfica e de amplitude e dissecação do relevo a partir da carta topográfica escala 1:50.000, da área, visando construir um banco de dados morfométricos do município. Em uma segunda etapa, foram processadas imagens TM-LANDSAT multi-temporais, objetivando a identificação da tendência de expansão urbana no período de 1985 a 1989 e a delimitação da área sob influência

das minerações. A partir daí então foi realizado um estudo integrado da expansão urbana da cidade de Congonhas e apresentadas sugestões para o zoneamento e monitoramento de áreas urbanas situadas próximas às minerações.

No próximo capítulo é apresentado um exemplo de aplicação de SR, cujos trabalhos foram desenvolvidos pelo autor em uma área da zona Oeste da cidade do Recife. Este trabalho visa a análise da expansão urbana a partir de mapas temáticos obtidos de fotografias aéreas em duas épocas.

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS

Este estudo trata da utilização de fotografias aéreas na avaliação das transformações físicas ocorridas em uma área situada na zona oeste da cidade do Recife. Para isto utiliza-se os recursos de fotogrametria, digitalização e superposição dos *layers* (planos de informação).

A área em questão, com um total de 700.000m², está compreendida entre os meridianos de 34° 54'52" e 34° 55'15"W e os paralelos de 08° 02'18" e 08° 02'50"S, conforme indicado na Figura 15.

A área do estudo está localizada entre os bairros de Casa Forte e Cordeiro, separadas pelo rio Capibaribe. Ela sofreu profundas alterações no seu aspecto físico, em decorrência de acontecimentos que serão convenientemente explorados no decorrer do relato.

Com o uso de fotografias aéreas, tomadas a baixa altitude, foram definidas as alterações ambientais no período compreendido entre os anos de 1974 (Figura 16a) e 1997 (Figura 16b), e evidenciada a importância e o caráter indispensável da utilização do SR aéreo em trabalhos que requeiram verificar a dinâmica espacial urbana sob o aspecto temporal e também informações detalhadas do espaço intra-urbano.

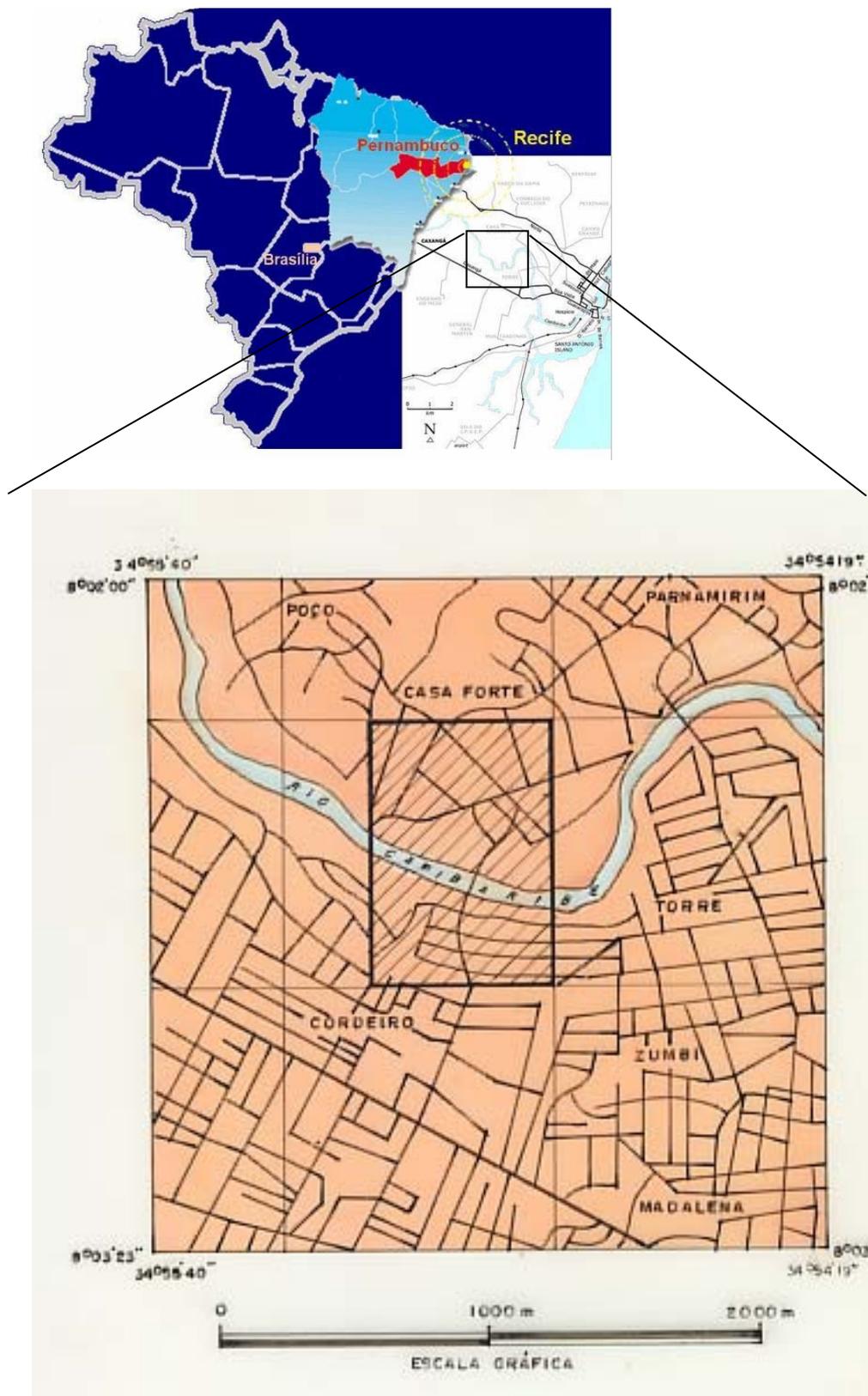


Figura 15 - Localização da área



Figura 16^a – Foto aérea de 1974

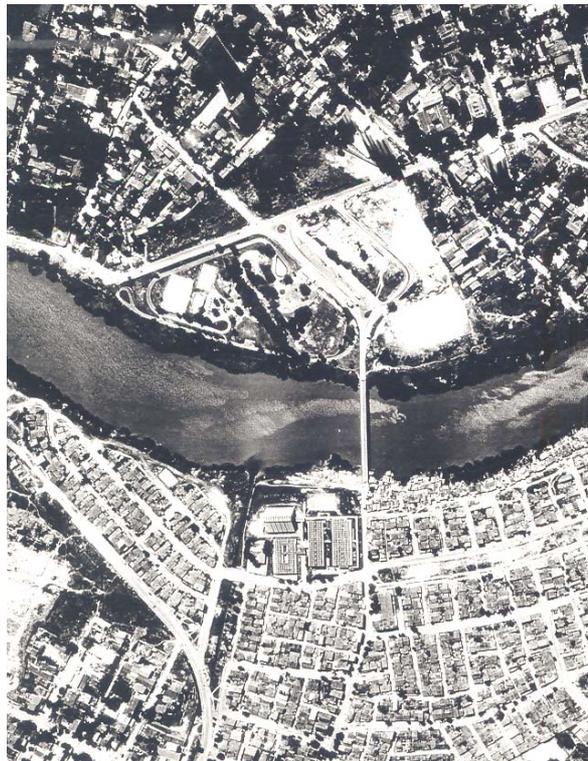


Figura 16^b – Foto aérea de 1997

O período da análise, compreendido entre os anos de 1974 e 1997 foi definido como adequado ao estudo pretendido em função da existência, e disponibilidade de produtos de SR aéreo adequado ao tipo de informações pretendidos.

3.1 MATERIAL UTILIZADO

Para a consecução do estudo foram utilizados os materiais e equipamentos a seguir descritos:

- Fotografias aéreas pancromáticas, escalas 1:6.000, tomadas em 1974 pela Aerofoto S.A., atendendo solicitação da Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife – FIDEM.

- Fotografias aéreas pancromáticas escalas 1:6.000, tomadas em 1997 pela PROSPEC S.A., também por solicitação da FIDEM.
- Ortofotocartas, escala 1:2.000 e 1:10.000, elaboradas em 1974 pela Aerofoto S.A., para a FIDEM.
- Carta topográfica escala 1:25.000, elaborada pelo Serviço Geográfico do Exército para então Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, em 1995.
- Equipamentos óticos-mecânicos para análise e interpretação de fotografias aéreas.
- Equipamentos óticos-mecânicos para medição gráfica de áreas.
- Equipamentos mecânicos para redução e ampliação de documentos cartográficos.

3.2 MÉTODO

O método utilizado para viabilizar a avaliação das alterações ambientais ocorridas no período compreendido entre os anos de 1974 e 1997, consistiu na utilização de dados obtidos através da análise e interpretação visual de fotografias aéreas pancromáticas escala 1:6.000, tomadas distintamente naqueles dois anos, e as atividades desenvolvidas obedeceram o fluxograma observado na Figura 17.

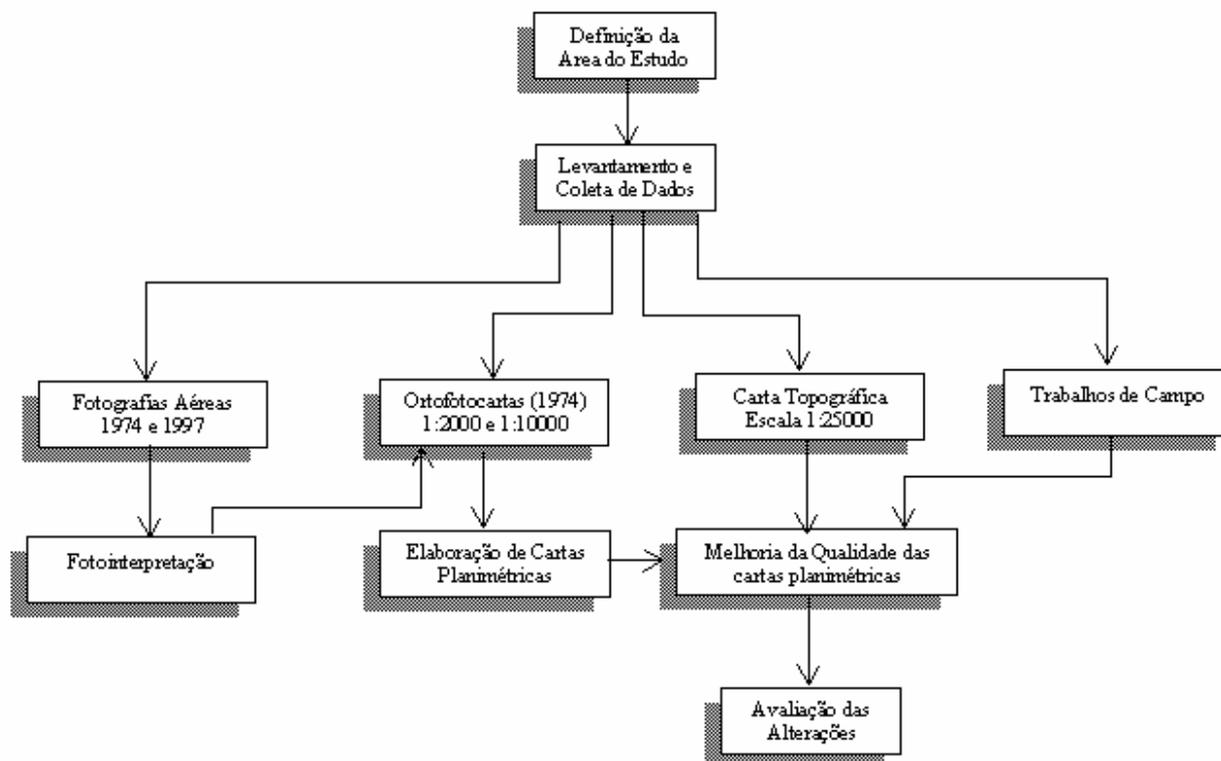


Figura 17 – Fluxograma das atividades desenvolvidas

Inicialmente foram trabalhados os produtos elaborados em 1974, buscando retratar com fidelidade a paisagem da área naquela época. Tal tarefa tornou-se possível graças a um cuidadoso trabalho de análise e interpretação das fotografias aéreas escala 1:6.000 existentes; esse trabalho permitiu, por seu lado, melhorar consideravelmente a parte informativa e as feições de uma ortofotocarta, escala 1:2.000, também existente.

Com tais elementos foi elaborada uma carta planimétrica, escala 1:2.000, que retrata de uma forma clara e legível o cenário da área de estudo naquele ano de 1974. A citada carta constitui a Figura 18, (Anexo 1 em CD-ROM).

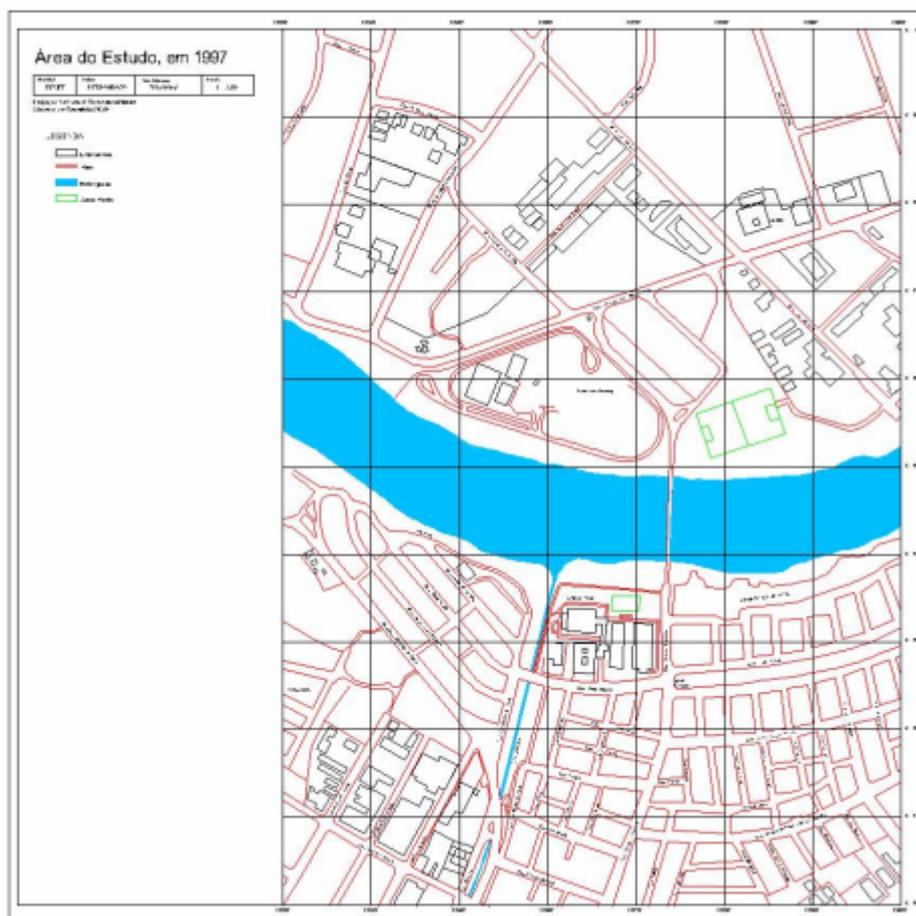


Figura 19 - Carta Planimétrica com a feição de 1997

Nesta fase os trabalhos foram complementados com sucessivas observações feitas diretamente no campo, que permitiram um melhor conhecimento da área, além de possibilitar a realização do completamento da carta planimétrica (atividade que consiste em enriquecer ou melhorar a parte informativa de uma carta) com a introdução dos nomes dos acidentes (toponímia) e com a classificação dos tipos de ocupação (comércio, indústria, logradouros públicos, equipamentos de lazer etc.).

Paralelamente foi feito também o levantamento das áreas vegetadas, tanto referentes ao ano de 1974 como ao ano de 1997, tendo em vista o importante papel que a vegetação desempenha nas zonas urbanizadas, no tocante a qualidade ambiental. Para o desenvolvimento dessa tarefa foi utilizada a mesma técnica de foto-análise anteriormente referida.

Os documentos mostrando as áreas vegetadas nos anos de 1974 e 1997 constituem respectivamente as Figuras 20 e 21 .

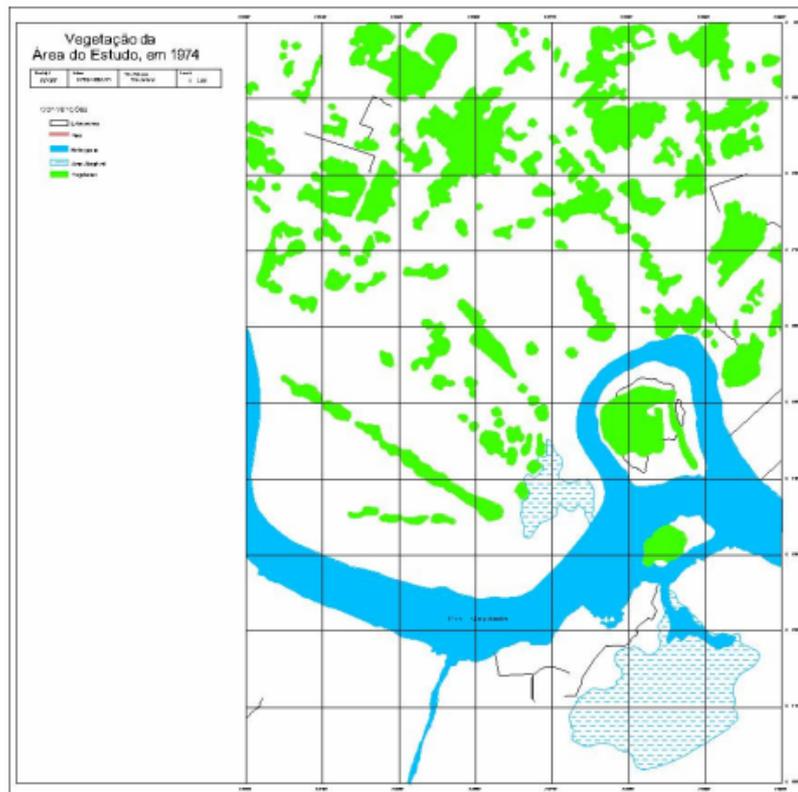


Figura 20 - Área Vegetada, em 1974

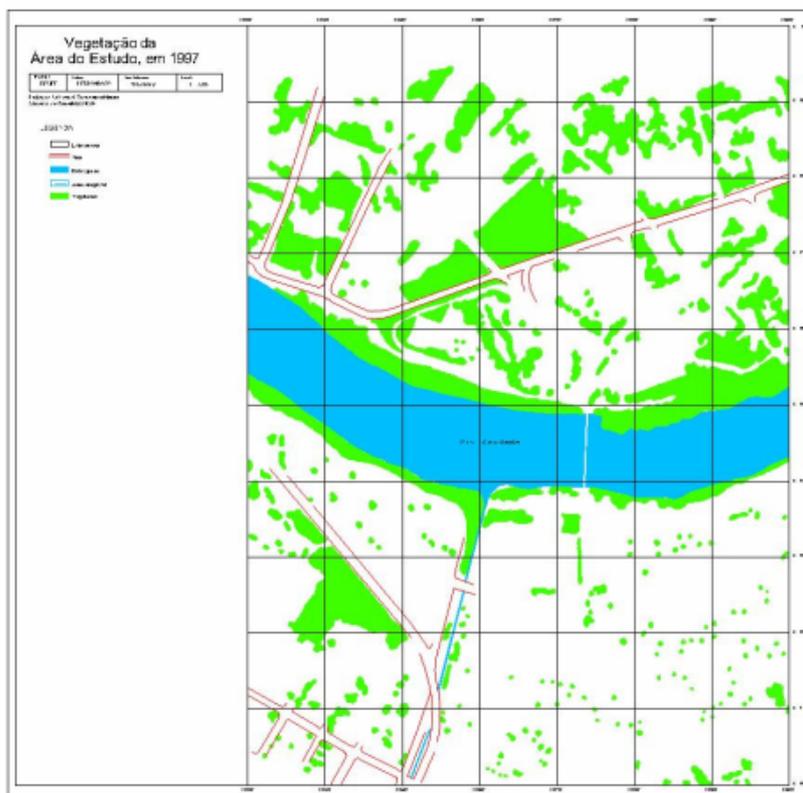


Figura 21 - Área Vegetada, em 1997

Com a documentação obtida de conformidade com o que foi descrito, foi possível então observar e até mensurar as alterações ambientais acontecidas no período estabelecido para o estudo.

3.3 A ÁREA DO ESTUDO E SUAS ALTERAÇÕES

Conforme relatado no item anterior, a área selecionada para a análise teve suas feições levantadas em dois momentos distintos. No primeiro momento (ano de 1974), o documento que retrata o meio físico ocupado, evidencia uma área plana, com baixa ocupação residencial e extensa vegetação rasteira, entremeada de vegetação arbórea e apresentando ainda manguezais em suas partes ribeirinhas ao rio Capibaribe.

As atividades industriais observadas resumem-se a pequenas fábricas de produtos cerâmicos (olarias), enquanto que no tocante ao lazer nota-se apenas a existência de pequenos campos utilizados para práticas esportivas.

A atividade comercial, naquela época, não pôde ser observada nas fotografias, deduzindo-se, no entanto, em função do próprio tipo de ocupação humana, que a mesma deveria ser representada por pequenos estabelecimentos de secos e molhados, como padarias, açougues, mercearias etc., muito comum, aliás, em bairros residenciais naquela época.

No segundo momento, isto é atinente ao ano de 1997, tem-se a área do estudo já contemplada com as alterações acontecidas no período da análise e o cenário correspondente, evidencia profundas alterações no ambiente, como pode ser visto na Figura 19. Para uma observação mais clara destas alterações tem-se: a Figura 22 que mostra a alteração do leito do rio de 1974/1997, a Figura 23 que mostra as áreas vegetadas de 1974/1997 e a Figura 24 com as áreas edificadas de 1974/1997.

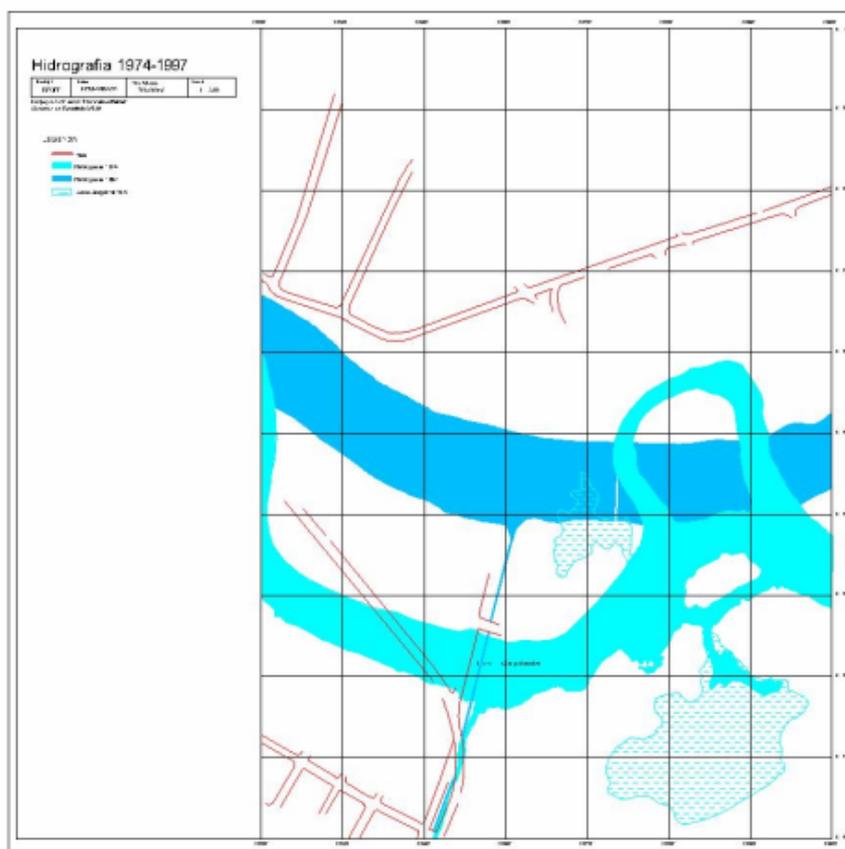


Figura 22 - Alteração do leito do rio de 1974/1997

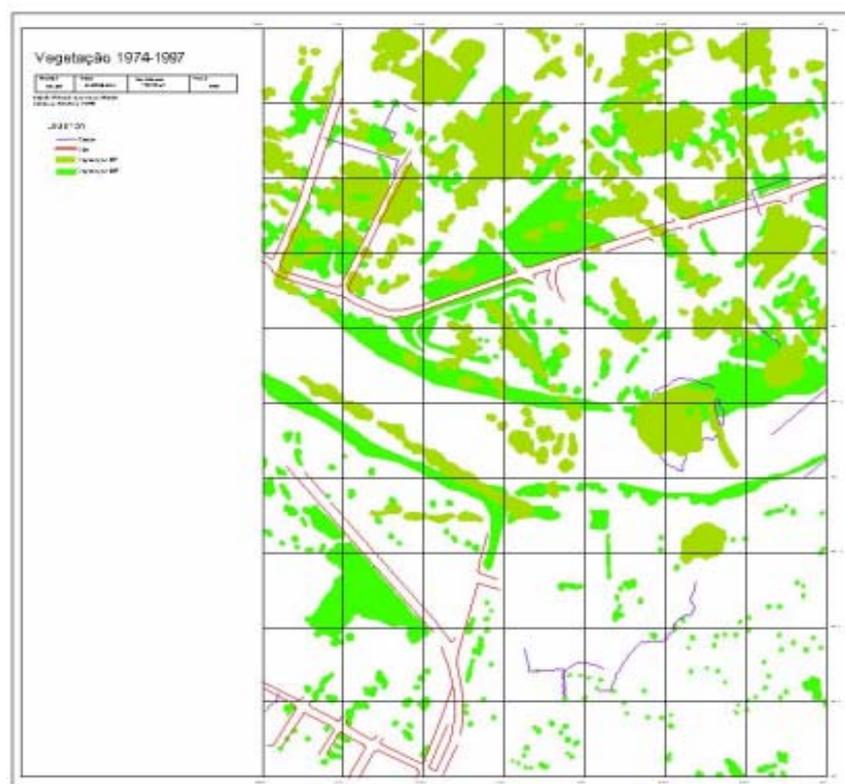


Figura 23 - Áreas vegetadas de 1974/1997

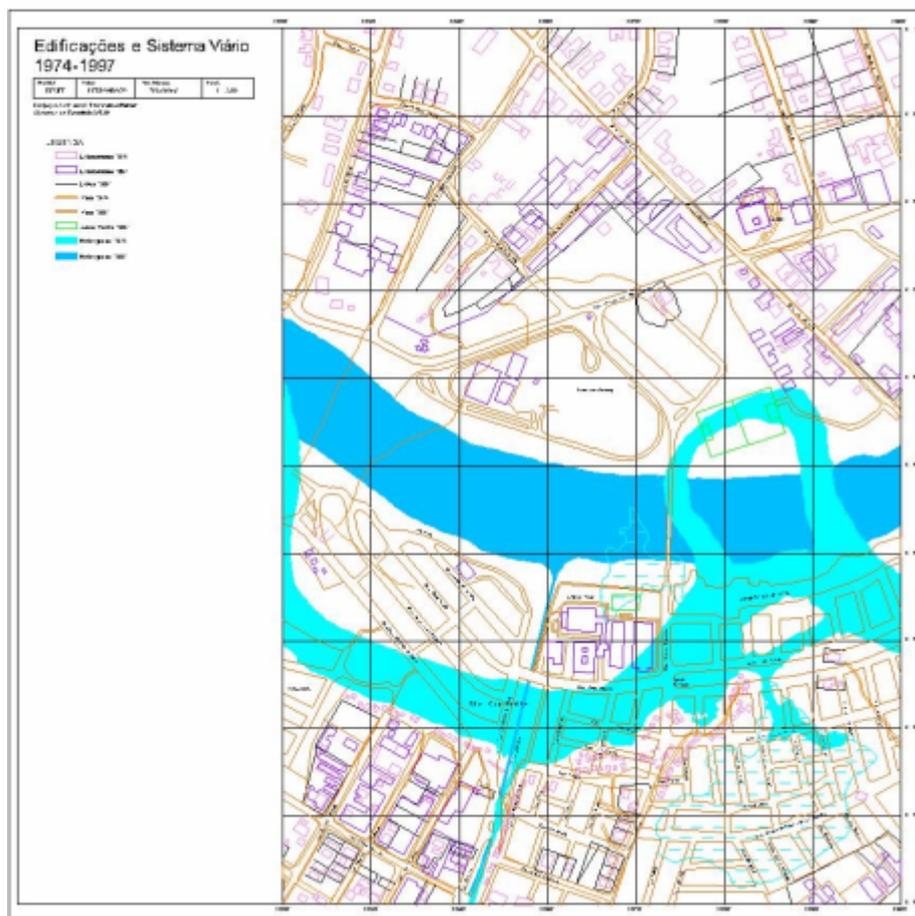


Figura 24 - Áreas edificadas de 1974/1997

De um lado, têm-se as alterações decorrentes do próprio espaço de tempo escolhido para a análise (cerca de 23 anos), o que certamente era de se esperar. De outro lado, no entanto, registra-se a ocorrência de caso fortuito que resultou em consideráveis alterações no meio físico, mudando radicalmente as feições do local. Trata-se da grande inundação acontecida na cidade do Recife em 1975, provocada pelo rio Capibaribe e que ensejou a necessidade de executar numerosas obras de engenharia na área selecionada para o presente estudo.

Por coincidência, o autor vivenciou aquele episódio e na oportunidade participou, inclusive, dos levantamentos de campo necessários à avaliação dos impactos provocados tanto no meio físico natural como nos setores de ocupação humana.

Posteriormente, equipes especializadas promoveram estudos que induziram à adoção de medidas visando impedir a repetição de desastres semelhantes.

Dali surgiram como prioridades a construção das barragens de Carpina e de Glória do Goitá, que juntamente com a barragem do Tapacurá, já construída, formariam um complexo capaz de conter as águas do Capibaribe, diante de grandes precipitações pluviométricas, controlando assim sua vazão na cidade do Recife.

Como obra complementar foi decidido também que o rio Capibaribe teria seu curso retificado em alguns trechos. Um desses trechos foi exatamente o selecionado para o presente estudo e que pode ser visualizado, em seu aspecto original (Figura 16a, Figura 22 e Figura 24).

A retificação executada alterou literalmente a paisagem no local. Grandes cortes e aterros foram efetuados, eliminando os meandros e ilhotas então existentes e alargando consideravelmente a calha do rio. Como consequência imediata, foram sensivelmente ampliadas as áreas passíveis de ocupação e uso, o que de resto veio acontecer.

A análise e interpretação das fotografias aéreas tomadas em 1997 permitiram evidenciar a acentuada ocupação dos novos espaços físicos surgidos em decorrência da retificação executada. Observa-se então que extensas áreas hoje urbanizadas, principalmente pela implantação de numerosas residências, de instituições de ensino, de estabelecimentos comerciais, de equipamentos de lazer, e outros, pertenciam anteriormente ao próprio leito do rio.

Por outro lado é importante chamar atenção ainda para o fato de que o presente relato não se limita apenas a retratar o surgimento de um novo bairro, com evidentes marcas da intervenção e ocupação antrópicas no ambiente. Ele também resgata, graças aos registros temporais obtidos pelo SR aéreo, um acontecimento notável que subtraiu do rio Capibaribe um dos mais belos trechos do seu curso natural na cidade do Recife, alterando literalmente a paisagem no local.

Aí é que se ressalta a importância do SR na realização do estudo, pois somente através dos dados extraídos das fotografias aéreas, retratando aqueles momentos, foi possível reviver um episódio que por certo poucos da geração atual, e muito menos das gerações futuras, dele têm ou terão conhecimento.

As alterações acontecidas na área, os impactos resultantes e a forma como se deu à ocupação dos solos resultantes dos aterros promovidos na própria calha do rio sugerem que se façam reflexões sobre o processo de urbanização ali acontecido.

Dessas reflexões provavelmente surgirão questionamentos cujas respostas estão ligadas a várias áreas do conhecimento, como na geotécnica, na engenharia de fundações, na hidrogeologia, dentre outras, abrindo então um leque de temas passível de induzir ao desenvolvimento de diferentes estudos, mesmo no meio acadêmico.

Por fim, é conveniente esclarecer que o critério adotado para a análise efetuada levou em consideração apenas aspectos funcionais, não havendo, portanto, nenhuma preocupação com o nível socioeconômico da ocupação.

3.4 AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES NA ÁREA DO ESTUDO

A avaliação das alterações acontecidas na área de estudo, no período da análise, pôde ser feita através de comparação dos cenários inerentes aos anos de 1974 e 1997, convenientemente mostradas nos documentos que constituem as Figuras 18 e 19 (Anexos 1 e 2 CD-ROM).

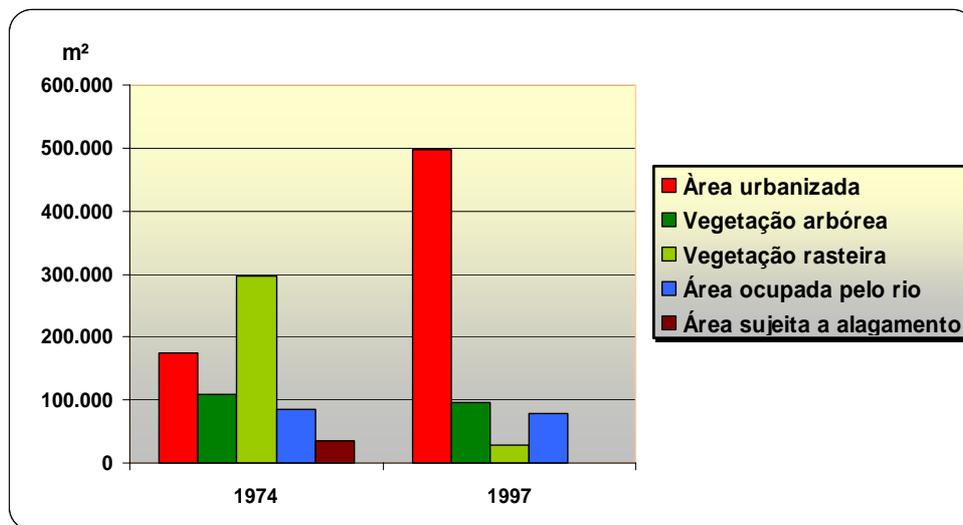
A mensuração dessas alterações permitiu a elaboração da Tabela 1 e do Gráfico 1 que retratam objetivamente o nível das ocupações referentes aqueles anos, tomando-se como variáveis: as áreas urbanizadas, as áreas com vegetação arbórea, as áreas com vegetação rasteira, as áreas ocupadas pelo rio e aquelas sujeitas a alagamentos naturais.

Tabela 1- Alterações na Área do Estudo no Período de 1974 a 1997

VARIÁVEIS	ÁREA OCUPADA (em m ²)	
	Ano de 1974	Ano de 1997
Área urbanizada	174.280	496.440
Área com vegetação arbórea	109.590	96.640
Área com vegetação rasteira	296.050	28.960
Área ocupada pelo rio	85.560	77.960
Área sujeita a alagamento	34.520	-
Total	700.000	700.000

Fonte: Pesquisa direta, 2003.

Gráfico 1 – Avaliação das Alterações na área do Estudo – 1974-1997



O aumento da área passível de ocupação e uso possibilitou o incremento de numerosas residências, algumas delas em edificações de grande porte notadas principalmente na margem esquerda do rio. Nota-se inclusive, que o processo de urbanização deu-se em quase sua totalidade, de forma ordenada, com arruamentos bem definidos (na sua maioria com revestimento sólido) e habitações de boa qualidade. Apenas uma pequena área, ribeirinha à margem direita do rio, aconteceu de forma desordenada em decorrência de processos de invasão e favelamento.

Os trabalhos de campo possibilitaram observar ainda a existência de pequenos estabelecimentos comerciais (farmácias, padarias, mercearias etc.), algumas instituições de ensino fundamental, inclusive um Centro de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente (CAIC) e uma grande área de lazer (Parque de Santana), enquanto que não há registro de existência de estabelecimentos industriais, o que de certo modo vem confirmar a aptidão residencial da área.

3.5 CONCLUSÃO

Por tudo que foi exposto, é possível concluir então que os métodos utilizados, os estudos desenvolvidos e os documentos elaborados, na forma convenientemente descritas permitiram confirmar que a evolução das atividades humanas sobre o meio ambiente é um aspecto dinâmico perfeitamente passível de ser observado e analisado mediante a utilização de dados e produtos de Sensoriamento Remoto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste documento, a apresentação de vários trabalhos, elaborados com a utilização de técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto, incluindo um “estudo experimental”, visou, acima de tudo, mostrar a diversidade de aplicação daquelas ferramentas e destacar, em termos práticos, as vantagens e limitações no uso dos dados, resultantes seja de Sensoriamento Orbital, seja de Sensoriamento Aéreo.

É sabido que, desde a década de 50 do século XX, se faz uso de fotografias aéreas, principal produto do Sensoriamento Aéreo, para subsidiar as mais diversas intervenções do Homem no setor urbano, sobretudo pela riqueza de pormenores e pela precisão das informações nelas contidas, fruto da ótima resolução espacial dos sensores aéreos (provavelmente, uma das suas maiores qualidades). Tais características atendem perfeitamente às exigências da execução de obras civis, o que explica a larga utilização desses produtos em projetos urbanos (como, por exemplo, em abastecimento de água, esgotamento sanitário e sistemas viários, dentre outros), mesmo diante da reconhecida deficiência no que diz respeito à desatualização das informações. De fato, tratando-se do domínio urbano, as alterações nas feições do terreno são extremamente dinâmicas.

Em princípio, poder-se-ia dizer que os produtos resultantes do Sensoriamento Aéreo são indicados, de preferência, para atividades que requeiram informações muito detalhadas do tecido urbano, preterindo-se, inclusive, sua atualização, sempre demorada e onerosa, além de dependente das condições de tempo favoráveis à execução das operações.

Por outro lado, a partir de 1970, quando os dados fornecidos por sensores instalados no primeiro satélite da série LANDSAT foram colocados à disposição da sociedade civil, tornou-se possível recuperar a informação sobre o ambiente terrestre, em um período de tempo realmente significativo, graças à passagem diária do satélite por um mesmo local, permitindo o acompanhamento da dinâmica espacial urbana e a avaliação das suas tendências de organização e expansão. Além do mais, a visão da área de interesse, em toda a sua extensão, facultada pelo nível de altura com que os dados são coletados, fornece ao planejador uma completa

dimensão do nexos existente entre os vários componentes da teia urbana, dando-lhe melhores condições para avaliar as formas e a amplitude da ocupação, bem como as tendências de expansão, elementos de suma importância para o uso e a defesa do ambiente urbano. Assim, os dados obtidos por Sensoriamento Remoto orbital deveriam ser utilizados, preferencialmente, em atividades que priorizem a visão espacial do terreno em toda a sua extensão e que requeiram uma contínua atualização das informações.

Em vista disso, uma breve reflexão remeteria à inferência de que se poderiam perfeitamente separar os campos de uso dos produtos decorrentes do Sensoriamento Aéreo e dos oriundos do Sensoriamento Orbital. Entretanto, na prática, o uso integrado de dados resultantes de sensores aéreos e dados obtidos de sensores orbitais têm-se mostrado muito mais eficaz, uma vez que permite explorar as vantagens tanto das fotografias aéreas (preservando-se a sua resolução espacial), quanto das imagens orbitais (com sua boa resolução espectral). Em alguns dos trabalhos apresentados neste documento, é possível verificar que se adotou tal procedimento.

Na realidade, o mais sensato tecnicamente é que, para cada trabalho ou estudo, se faça uma avaliação prévia do tipo de produto mais adequado ao objetivo que se deseja alcançar. No “estudo experimental”, por exemplo, a pequena dimensão da área a trabalhar-se e o nível de minudência pretendido sugerem o uso de produtos em que o espaço urbano possa ser visto e até mensurado em todas as suas nuances. Essa exigência é perfeitamente atendida pelo uso de fotografias aéreas, tomadas à baixa altitude, técnica de largo emprego e muito fácil manuseio.

A deficiência do uso de fotografias aéreas, aspecto já ressaltado em outros momentos deste trabalho, decorre do fato de as informações nelas contidas estarem limitadas à época em que foram tomadas e de qualquer tentativa de atualização resultar impraticável, pelos altos custos e pelo tempo necessário à sua renovação. Essa, aliás, foi a principal razão de limitar-se o “estudo experimental”, visto no capítulo 3, ao ano de 1997, quando os produtos de sensores orbitais ainda não propiciavam a observação de alvos urbanos com aquele nível de minudência.

A partir o ano 2000, o mundo começou a ser imageado por sensores orbitais com resolução espacial melhor, desenvolvidos com a mais alta tecnologia e capazes de captar imagens de objetos terrestres com dimensões em torno de um (1) metro,

mesmo deslocando-se os equipamentos em órbitas com altitudes um pouco acima de 400km. Os produtos desses sensores, ditos de alta resolução, até poderiam ter sido utilizados no “estudo experimental”, não fossem proibitivos seus custos de aquisição.

A referência feita, no entanto, é pertinente, visto que os produtos oriundos desses sensores começaram, desde o seu lançamento, a revolucionar os estudos voltados ao meio urbano, aumentando consideravelmente o potencial de uso dos dados de sensores orbitais. Em suma, o Homem tem hoje, à sua disposição, um verdadeiro arsenal de equipamentos e produtos, capaz de fornecer-lhe toda e qualquer informação sobre a superfície da Terra, cabendo-lhe, no entanto, a difícil tarefa de selecioná-los.

O processo de seleção dos produtos do Sensoriamento Remoto deve ser precedido de cuidadoso exame, no qual se leve em conta o tipo e a magnitude do problema que se tenha. A partir daí é simples. Com efeito, o elemento definidor é a resolução possibilitada pelo sensor e correspondente, em geral, ao menor objeto do terreno capaz de ser captado por um sensor e, posteriormente, apresentado em seu produto. Conhecida então essa característica fundamental, é possível selecionar os produtos necessários e direcionar seu uso, para alcançar os objetivos, por certo já bem definidos. Isso posto, resta decidir sobre o que adquirir, levando-se em conta os custos e os benefícios que poderão advir.

O ato de decidir é, obviamente, atribuição do gestor ou planejador, quase sempre levado a fazê-lo, sem que tenha, a rigor, um nível de informação ou de conhecimento condizente com sua formação acadêmica ou sua especialidade. Ora, não se pode exigir de um gestor ou planejador, mormente daquele envolvido com questões voltadas ao meio ambiente, que tenha sob seu domínio o leque de disciplinas componentes da complexidade do tema.

É razoável reconhecer, contudo, que qualquer um, em tal posição, deve possuir um nível de saber que lhe permita discernir sobre as melhores alternativas formuladas para a solução dos problemas que lhe sejam afetos. Para isso, é de fundamental importância saber acessar as diversas ferramentas de trabalho que lhe sejam postas, embora não necessariamente em caráter operacional.

De acordo com a proposta central do presente trabalho, buscou-se transmitir, de forma expositiva e livre de fundamentação matemática, os conhecimentos básicos e instrumentais sobre os seguintes temas: i) **o meio físico terrestre**, onde o Homem atua, com destaque para as dificuldades, as limitações e os cuidados para representá-lo graficamente e de forma adequada; ii) **as formas de visualização espacial do meio físico**, particularizando-se o Sensoriamento Remoto, tanto aéreo, quanto orbital, e seus principais produtos; iii) **os principais equipamentos de SR empregados no Brasil**; iv) **os referenciais mais elementares e, por isso mesmo, gerais** (a exemplo de precisão da imagem, extensão da cobertura, tempestividade e atualidade da informação, entre outros), **destinados a servir como base de julgamento e avaliação de eventuais serviços** a serem requisitados ou contratados; v) **algumas aplicações do Sensoriamento Remoto no equacionamento de problemas urbanos**. vi) um estudo experimental evidenciando a utilização do Sensoriamento Remoto Aéreo na avaliação e monitoramento das alterações ambientais em uma área da cidade do Recife-PE

Paralelamente, e conforme também objetivado, desde o início do presente trabalho, este **documento pode servir como fonte de consulta para aqueles que, não sendo especialistas no ramo, careçam de informações sobre o elenco de atividades técnicas necessárias à representação do ambiente terrestre**. De fato, as informações almejadas estão postas e tratadas de forma simples e bem objetiva, enfatizando o Sensoriamento Remoto, por sua grande importância, nos estudos voltados à ocupação e ao uso do solo e, em particular, do solo urbano. Os estudantes de cursos técnicos enquadram-se perfeitamente nessa clientela e serão muito beneficiados com as exposições aqui feitas, em termos de forma e de conteúdo.

No âmbito dos avanços tecnológicos e suas perspectivas, há de ressaltar-se, mais uma vez, o desenvolvimento de sensores de alta resolução e o seu uso pela sociedade civil. Tais sensores produzem imagens, que permitem ao usuário identificar, cadastrar, monitorar e planejar uma expressiva gama de projetos de infraestrutura urbana. Assim, ruas, avenidas, pontes, rodovias, canais e edifícios de qualquer dimensão podem ser precisamente identificados e localizados, a poucos metros de suas reais posições planimétricas.

Essas características vêm ao encontro das necessidades de gestores e planejadores do ambiente urbano, os quais, até então, somente poderiam obter informações, nesse nível, por meio de fotografias aéreas, tomadas a baixa altitude. No entanto, como, neste trabalho, já se ressaltou, as fotografias aéreas têm, em contraponto às suas virtudes de instrumento de mapeamento urbano, reais limitações de uso, devido à fácil desatualização e à pequena visão espacial.

É fácil antever que, em futuro não muito distante, as imagens orbitais de alta resolução (normalmente obtidas a altitudes acima e 400km) venham ocupar os espaços hoje exclusivos de imagens aéreas, tomadas a baixa altitude (cerca de um quilômetro), com a grande vantagem da contínua atualização e da extensa visão espacial propiciada.

Em termos globais, há possibilidade de se produzirem, com essas imagens, cartas na escala de 1:25.000, sem pontos de apoio terrestre, criando, assim, uma grande oportunidade de se mapearem extensas áreas, a baixo custo e com rápida atualização.

O momento é oportuno para esclarecer que todos os equipamentos capazes de fornecer dados sobre a superfície do Planeta têm, prioritariamente, a missão de atender a interesses militares. Tais equipamentos, quando colocados à disposição do mundo civil, provavelmente já tiveram todos os seus atributos explorados para aqueles fins.

A propósito, a liberação de imagens produzidas por sensores de alta resolução carece de prévio consentimento do governo dos EUA, detentor dos direitos de propriedade. Em termos práticos, as autorizações são providenciadas pelas próprias empresas, que comercializam esses produtos, poupando, assim, seus usuários.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Lucilene C. M de Sá et al. *Análise do município de São José-SC, utilizando técnicas de sensoriamento remoto*. Florianópolis, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-10520. *Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação*. Rio de Janeiro, ago. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-14724. *Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – apresentação*. Rio de Janeiro, ago. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-6023. *Informações e documentação – Referências – Elaboração*. Rio de Janeiro, ago. 2002.

BARROS, Maria Suelena Santiago et al. Sensoriamento remoto na análise da evolução espaço-temporal da estrutura urbana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982, Brasília. *Anais...* Brasília, 1982.

BRASIL. MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO E CULTURA. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília, 1998.

BRASIL. MINISTÉRIO DO EXERCITO. *Manuais Técnicos*. Brasília: Serviço Geográfico do Exército, 1976.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA – Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. *Estatuto da Cidade - Lei 10257/10.06.2001*. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_3/leis2001/l10257.htm>.

BRASIL. SENADO FEDERAL. Secretaria Especial de Editoração e Publicações. *Manual de Padronização de textos*. Brasília, 1999.

BRASIL. SENADO FEDERAL. Subsecretaria de Edições Técnicas. *Conferência das Nações Unidas sobre meio ambiente e desenvolvimento*. 2. ed. Brasília, 1985.

CECATO, Vânia et al. Proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e de um banco de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. 1993, Curitiba. *Anais ...*, Curitiba, 1993.

COELHO, Arnon Coutinho de Araújo. *Topografia prática*. Recife: ed. do Autor, 1977.

FAGUNDES, Placindino. *Notas de aula*. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1970.

FORESTI, Celina; HAMBURGER, Diana Sarita. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. São Paulo: Fundação de Desenvolvimento da Universidade de São Paulo, 1991.

FORRESTI, Celina et al. Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM – LANDSAT no estudo da qualidade ambiental urbana: cidade de São Paulo. *Boletim de Geografia Teórica*, São Paulo, p. 225-227, 1986.

FORRESTI, Celina. *Avaliação e monitoramento ambiental da expansão urbana do sector oeste da área Metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto*. 1986. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREITAS, R. N.; COSTA, S. M. F. A utilização de fotografias aéreas na avaliação das transformações sócio-espaciais ocorridas na zona sul da cidade de São José dos Campos, Sp, de 1962 a 1997. In: SBSR, 11. 2003, Belo Horizonte. *Anais ...* Belo Horizonte: INPE, p. 1811-1818.

GREEN, Eliane D'Arrigo. *Sistema municipal de gestão do planejamento*. Disponível em: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja>. Acesso em: 15 set. 2002.

JARDIM, Helder Lages. *Estudo da expansão urbana próxima a área de mineração através de sensoriamento remoto, índice morfométricos e geoprocessamento: Congonha-SP*. 1995. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

MENDONÇA, Francisco. *Geografia e meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 1993.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR/GPS: descrição fundamentos e aplicações*. São Paulo: UNESP, 2000, v.1. p.287.

NOVO, Evelyn. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 1989.

OLIVEIRA, Maria de Lourdes et al. Aplicação de dados dos satélites Landsat no estudo da evolução urbana de Brasília. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE, 1984, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro, 1984.

OLIVEIRA, Maria de Lourdes Neves et al. Setorização urbana através do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 1978, São José dos Campos-SP. *Anais ...* São José dos Campos-SP, 1978.

PACHECO, Edmilson Penha et al. *Sensoriamento remoto aplicado ao Cadastro de Imóveis Rurais*. Recife, Departamento de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, 2001.

PEREIRA, Madalena Niero et al. Utilização de dados LANDSAT no monitoramento da expansão urbana da Grande São Paulo, em áreas de proteção aos mananciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982, Brasília. *Anais ...* Brasília, 1982.

PEREIRA, Madalena Niero. Avaliação da expansão urbana de São José dos Campos através de dados orbitais. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, p. 156-160, 1988.

RAISZ, Erwin, *Cartografia geral*. Rio de Janeiro: Científica, 1969.

SANTOS, A. A. dos. *Geodésia: geodésia elementar e princípios de posicionamento global (GPS)*. Recife: Universitária, 2001. 215 p.

SANTOS, A. A. dos. *Representações cartográficas*. Recife: Universitária, 1985.

VIEIRA, Ieda Maria. 1993. *Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas no estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

ANEXOS 1 E 2