

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CLÁUDIA APARECIDA SOARES MACHADO**

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE DO MUNICÍPIO
DE OSASCO / SP PELO USO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL E SIG – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

**São Paulo
2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CLÁUDIA APARECIDA SOARES MACHADO

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE DO MUNICÍPIO
DE OSASCO / SP PELO USO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL E SIG – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

São Paulo

2008

CLÁUDIA APARECIDA SOARES MACHADO

**DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE DO MUNICÍPIO
DE OSASCO / SP PELO USO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO
ESPACIAL E SIG – UMA PROPOSTA METODOLÓGICA**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia**

**Área de concentração: Engenharia de
Transportes – Informações Espaciais**

**Orientador: Prof. Livre-Docente José
Alberto Quintanilha.**

São Paulo

2008

DEDICATÓRIA

Aos meus anjos:

Matheus, Gabriel, Rachel

Regina e Rafael.

Aos meus pais:

Soares e Filomena.

Para Milton Júnior,

eterna inspiração,

grande amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente:

Ao amigo e orientador José Alberto Quintanilha, um professor no mais profundo sentido da palavra, que investiu seu tempo e energia neste trabalho. Sua disponibilidade irrestrita, sua postura exigente e criativa de argüir as idéias apresentadas foram determinantes para que esta dissertação chegasse a bom termo.

Aos meus grandes amigos do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP: Eduardo Jun, o “Oráculo”, sempre com uma solução para cada problema; Rodrigo, o “Professor Parda”, idéias brilhantes não lhe faltam; Joana; Diana, Olga; Alessandra; Mariana; Luciano, George, Rosângela, Vinícius. Trabalhar ao lado de vocês foi uma honra e um prazer.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

À Prefeitura do Município de Osasco, e ao Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por terem cedido os dados necessários para este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro durante parte desta empreitada.

À minha sogra, Dona Nina, minha tia, Dona Alzira, e principalmente minha prima, comadre e amiga Iara, pela dedicação sem limites, pelo amor e cuidado que sempre ofereceram a mim e a minha família.

À toda equipe do Colégio Vida. Este trabalho não seria possível se eu não tivesse absoluta certeza que meus filhos estavam em boas mãos. A todos, muito obrigada.

E finalmente:

Aos meus pais, Soares e Filomena e meu irmão José Ricardo, por toda uma vida de dedicação, pelo mais irrestrito amor e incentivo incondicional. Pela presença constante, pela força transmitida, pelo entusiasmo, pela nossa união. Éramos quatro, agora somos doze, e posso afirmar categoricamente: “o amor é contagioso” – ainda bem!

Ao meu marido, Milton Júnior, que sempre acreditou em mim, por vezes mais do que eu mesma. Obrigada pelo equilíbrio e paciência. Por seu amor, sua obstinação em lutar pelos nossos objetivos. Não houve um só instante que eu não sentisse sua presença. Você é nossa fortaleza.

Aos meus filhos, Matheus, Gabriel, Rachel, Regina e Rafael, por estarem sempre perto de mim. Meus anjos, cujo calor me aquece, os sorrisos me fazem rir, a alegria e vontade de viver revitalizam meu espírito e me levam adiante. Vocês são a essência da magia que é a razão da minha energia, persistência e luta: com vocês, por vocês, sempre!

“Ao mesmo tempo em que o capital tende, por um lado, necessariamente, a destruir todas as barreiras espaciais opostas ao tráfego, isto é, ao intercâmbio, e a conquistar a terra inteira como um mercado, ele tende, por outro lado, a anular o espaço por meio de tempo, isto é, reduzir a um mínimo o tempo tomado pelo movimento de um lugar ao outro”.

Karl Marx

RESUMO

O presente estudo desenvolve uma metodologia que agrega os produtos do sensoriamento remoto, em especial imagens provenientes de satélites de alta resolução espacial, como é o caso do satélite IKONOS¹, com os recursos dos sistemas de informações geográficas – SIG, para planejamento de Engenharia de Transportes. O parâmetro considerado é a acessibilidade. As cidades brasileiras, notadamente as de grande e médio porte, a partir da segunda metade do século passado até os dias atuais, vêm passando por uma expansão urbana rápida, crescente e desordenada, devido à ausência do planejamento urbano. Em virtude disso ocorrem sérios problemas sociais e econômicos. As medidas de acessibilidade podem ser utilizadas pelo administrador público para promover um adequado planejamento urbano dos municípios, principalmente o planejamento da infraestrutura viária e dos sistemas de transporte público coletivo. O objetivo é apresentar um arcabouço metodológico que se vale dos produtos de sensoriamento remoto e análises em ambiente SIG, para a extração e obtenção dos dados necessários para a determinação do índice de acessibilidade do setor empresarial do município de Osasco, localizado na Região Metropolitana de São Paulo. A partir de uma classificação baseada em objetos da imagem do município adquirida pelo sensor multiespectral do satélite IKONOS II, extraiu-se informações pertinentes quanto à localização das atividades comerciais e industriais do município, bem como sua posição em relação ao sistema viário da cidade. Os dados são convertidos e manipulados em um ambiente SIG. Após essa manipulação a medida de acessibilidade referente aos estabelecimentos comerciais e industriais de Osasco pode ser determinada. Tem-se, portanto, o índice de acessibilidade da atividade comercial e industrial do município. Índice esse, útil, por exemplo, para futuros investimentos e empreendimentos nesse setor para o município. A proposição desta metodologia se justifica, pois a detecção remota dos dados diminui o custo e o tempo despendidos em pesquisas de campo e atualizações de dados cadastrais. Desta forma, ela é uma alternativa interessante e bastante conveniente para localidades que não possuam dados em cadastro ou estes estão desatualizados. A

¹ IKONOS: derivado da palavra grega para “imagem”. Segundo a revista “Earth Observation Magazine”, trata-se de um jogo de palavras, pois a pronuncia leva ao trocadilho: “Eye-KOH-nos”. (Fonte: http://ranier.hq.nasa.gov/Sensors_page/MissionLinks/mlj.html)

validação desse método se verifica com o cálculo dessa mesma acessibilidade pelo método convencional, ou seja, com os dados do cadastro da Prefeitura do Município de Osasco, partindo da hipótese de que esses dados são corretos e confiáveis. Ao se comparar essas duas acessibilidades pode-se concluir sobre a aplicabilidade da metodologia proposta. Ao final, é possível verificar que a metodologia proposta pode ser aplicada, e é uma alternativa viável para localidades que não possuam dados cadastrais passíveis de serem usados para a determinação do índice de acessibilidade.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Imagem de alta resolução. Classificação baseada em objetos. Sistemas de informações geográficas -SIG. Acessibilidade. Planejamento urbano.

ABSTRACT

Considering the continuous urban growth, the lack of urban planning produces serious consequences whatever the subject. The accelerated and disordered urban sprawl faced by Brazilian cities since the 1950's has levered serious social and economic problems. In this context, the accessibility measures can be used as one of the several indicators to promote urban planning, mainly the highway network infrastructure and the public transportation system planning. This paper addresses a methodology for getting an accessibility index based on Remote Sensing and GIS technologies. Thus, objects of interest are detected from high resolution satellite images and then computed using GIS tools in order to refine the contextual classification process. Moreover, based on these objects as well as those based on the existing transportation road system, an accessibility index map is generated. Metrics of accessibility have been employed to validate the effective use of the proposed methodology for transportation planning. The accessibility measures are described and analyzed through a case of study in the city of Osasco, in the Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. The proposed methodology consists in using the IKONOS II images to extract all the information needed to estimate accessibility. In order to do this, the first step is to do an object-based classification of the IKONOS II images. The goal of this classification is to find the commercials and industrial establishments located in the study area, and to extract the highway network of the city. These spatial data are analyzed within a GIS environment and an accessibility index is calculated using the parameters mined from the satellite images. This index is called Commercial and Industrial (C&I) accessibility, and it can be compared with C&I accessibility of other localities. The use of this methodology can be justified based on the fact that there are places with no recorded data or with outdated recorded data (highway network or C&I establishments). In this case, Remote Sensing Technologies can provide support for estimating the accessibility map index. Moreover, Remote Sensing can offer a significant reduction in cost and time for getting the database. The validation of this method is done by calculating the C&I accessibility index of the same study area through recorded data available in the Osasco municipality. These two accessibility index are compared, so it is possible to

conclude about the efficiency of the proposed methodology. Therefore, the proposed methodology can be applied and it leads to satisfactory results.

Keywords: Remote Sensing. High resolution satellite images. Object-based classification. Geographic Information System -GIS. Accessibility. Urban planning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Círculo vicioso gerado pelo crescimento urbano desordenado.....	7
Figura 2: Corrente do Golfo, leste da América do Norte.....	20
Figura 3: Onda eletromagnética.....	21
Figura 4: Decomposição da luz solar no prisma.....	22
Figura 5: Espectro eletromagnético.....	25
Figura 6: Interação básica entre a energia eletromagnética e as feições da superfície da Terra.....	27
Figura 7: Assinatura espectral.....	28
Figura 8: Veículo do tipo “truck-mounted boom” equipado com instrumentos de sensoriamento remoto.....	29
Figura 9: Sensoriamento remoto aéreo: (a) aeronave utilizada como plataforma para a aquisição de imagens, (b) imagem de sensoriamento remoto.....	30
Figura 10: Lançamento do ônibus espacial Endeavour para a missão SRTM em fevereiro de 2000 – Cabo Canaveral, Flórida, EUA.....	31
Figura 11: Imagem SRTM, Monte Kilimanjaro, Tanzânia.....	31
Figura 12: Imagem de satélite: estádio de futebol – São Paulo – SP – Brasil.....	41
Figura 13: Cores-luz primárias.....	43
Figura 14: Imagem LANDSAT TM.....	43
Figura 15: Textura em uma imagem de região agrícola.....	44
Figura 16: Imagem IKONOS do obelisco em Washington – EUA.....	45
Figura 17: Imagem CBERS.....	45
Figura 18: Elementos de interpretação de imagens: associação.....	46
Figura 19: Imagens do sensor AVIRIS apresentando dois padrões de drenagem diferentes.....	47
Figura 20: Representação da classificação supervisionada.....	57
Figura 21: Representação da classificação não-supervisionada.....	59
Figura 22: Objetos e classes.....	61
Figura 23: Fluxograma dos procedimentos adotados na classificação orientada a objetos.....	69
Figura 24: Imagem do satélite SPOT de 2002 e sobreposição dos dados vetoriais da malha viária do município de Osasco – SP – Brasil.....	73

Figura 25: Paradigma dos quatro universos.....	76
Figura 26: Esquema de um SIG.....	78
Figura 27: Ciclo de informação de um SIG.....	82
Figura 28: As camadas de informação em um SIG.....	82
Figura 29: Ciclo do uso do solo e transportes.....	94
Figura 30: Imagem do sensor multiespectral do satélite IKONOS II.....	107
Figura 31: RMSP – Área de abrangência das imagens IKONOS II.....	108
Figura 32: Cobertura das imagens IKONOS II do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.....	108
Figura 33: Ortorretificação de imagens.....	109
Figura 34: Metodologia de estudo.....	114
Figura 35: Imagem do satélite SPOT referente à cidade de Osasco.....	116
Figura 36: Localização de Osasco na região oeste da RMSP.....	117
Figura 37 Mapa político de Osasco:.....	117
Figura 38: Índice de imagens IKONOS II.....	122
Figura 39: Catálogo de imagens IKONOS II referentes à área de estudo.....	123
Figura 40: Empilhamento das imagens IKONOS II.....	123
Figura 41: Mosaico das imagens IKONOS II referente à área de estudo.....	124
Figura 42: Divisão da imagem para os procedimentos de segmentação e extração de atributos.....	128
Figura 43: Segmentação da imagem no software SPRING.....	129
Figura 44: Detalhe da segmentação da imagem (parte 2B) no software SPRING.....	129
Figura 45: Classificação Iseseg gerada no software SPRING e exportada para um software SIG.....	131
Figura 46: Detalhe da classificação Iseseg na parte 1 da área de estudo.....	132
Figura 47: Detalhe da classificação Iseseg na parte 2B da área de estudo.....	132
Figura 48: Imagem reclassificada no software SIG ArcGIS.....	134
Figura 49: Detalhe da imagem reclassificada no software SIG ArcGIS.....	134
Figura 50: Polígonos referentes às empresas do município de Osasco.....	135
Figura 51: Detalhe dos polígonos referentes às empresas do município de Osasco.....	136
Figura 52: Centróides dos polígonos referentes às empresas da área total do mosaico da imagem.....	136

Figura 53: Centróides dos polígonos referentes às empresas apenas dentro do município de Osasco.....	137
Figura 54: Rede viária e empresas de Osasco – software TransCAD.....	139
Figura 55: Detalhe da rede viária e empresas de Osasco.....	139
Figura 56: Localização espacial das empresas de micro, pequeno, médio e grande porte de Osasco.....	142
Figura 57: Localização espacial das empresas de pequeno, médio e grande porte de Osasco.....	143
Figura 58: Estrutura geral de um classificador de decisão em árvore.....	148

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Índice de acessibilidade integral de Ingram.....	99
Equação 2: Índice de acessibilidade relativa.....	139
Equação 3: Índice de acessibilidade integral.....	140
Equação 4: Índice de acessibilidade total.....	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principal divisão do espectro eletromagnético.....	24
Tabela 2: Principais missões de satélites: em operação e projetos futuros.....	33
Tabela 3: Proposta de relação entre a resolução espacial (no terreno) e a escala...	34
Tabela 4: Índice de acessibilidade total (E) calculado pela metodologia proposta..	141
Tabela 5: Índice de acessibilidade total (E) calculado pelo método convencional..	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANPET:** Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte
- ANTP:** Associação Nacional de Transportes Públicos
- ASPRS:** American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
- AVHRR:** Advanced Very High Resolution Radiometer
- AVIRIS:** Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer
- BBC:** British Broadcasting Corporation
- CBERS:** China-Brazil Earth Resources Satellite
- CPDOC:** Centro de Pesquisa e Documentação de História Contemporânea do Brasil
- EDUSP:** Editora da Universidade de São Paulo
- EESC:** Escola de Engenharia de São Carlos
- EMPLASA:** Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano Sociedade Anônima
- EPUSP:** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- ESALQ:** Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
- ETM:** Enhanced Thematic Mapper
- EUA:** Estados Unidos da América
- FGV:** Fundação Getúlio Vargas
- FIOCRUZ:** Fundação Oswaldo Cruz
- FUNCAE:** Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais
- GEIPOT:** Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes
- GIS:** Geographic Information System
- GPS:** Global Positioning System
- GSD:** Ground Sample Distance
- IBAM:** Instituto Brasileiro de Administração Municipal
- IFOV:** Instantaneous Field of View
- IHS:** Intensity, Hue, Saturation
- INCA:** Indian National Cartographic Association
- INPE:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- ISPRS:** International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- JK:** Juscelino Kubitschek
- JPL:** Jet Propulsion Laboratory
- LANDSAT:** Land Remote Sensing Satellite
- LIDAR:** Light Detection and Ranging
- MaxVer:** Máxima Verossimilhança
- MDE:** Modelo Digital de Elevação
- MODIS:** Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- NASA:** National Aeronautics and Space Administration
- NGA:** National Geospatial-Intelligence Agency
- NIR:** Near Infrared

NTU: Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbanos

PIB: Produto Interno Bruto

RADAM: Projeto Radar na Amazônia

RADAR: Radio Detection and Ranging

RGB: Red, Green, Blue

RMSP: Região Metropolitana de São Paulo

SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAD: South American Datum

SEDU/PR: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SLAR: Side-Looking Airborne Radar

SONAR: Sound Navigation and Ranging

SPOT: Satellite Pour l'Observation de la Terre

SPRING: Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

SQL: Structured Query Language

SRTM: Shuttle Radar Topography Mission

TM: Thematic Mapper

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

USGS: United States Geological Survey

USP: Universidade de São Paulo

UTM: Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

C *apítulo 1*

INTRODUÇÃO	1
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	16

C *apítulo 2*

SENSORIAMENTO REMOTO	17
2.1 DEFINIÇÃO	18
2.2 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA.....	21
2.3 PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	29
2.4 SISTEMAS SENSORES E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	35
2.5 INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	40
2.6 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO..	49
2.6.1 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM.....	51
2.6.1.1 CLASSIFICAÇÃO <i>PIXEL A PIXEL</i>	54
2.6.1.1.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	54
2.6.1.1.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO-SUPERVISIONADA.....	57
2.6.1.1.3 CLASSIFICAÇÃO HÍBRIDA.....	59
2.6.1.2 CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS.....	60

2.6.1.2.1 TÉCNICA DE MODELAGEM DE OBJETOS.....	61
A. ABSTRAÇÃO.....	63
B. ENCAPSULAMENTO.....	64
C. POLIMORFISMO.....	65
D. HIERARQUIA OU HERANÇA.....	65
2.6.1.2.2 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS ORIENTADA A OBJETOS.....	67
2.6.1.2.3 SEGMENTAÇÃO.....	69
2.6.2 FUSÃO DE DADOS E INTEGRAÇÃO COM SIG.....	71

C *apítulo 3*

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – (SIG).....	74
3.1 DEFINIÇÃO.....	75
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SIG.....	79

C *apítulo 4*

ACESSIBILIDADE.....	85
4.1 CONCEITO.....	89
4.2 ÍNDICES DE ACESSIBILIDADE.....	96
4.2.1 ÍNDICES DE INGRAM E ALLEN.....	98
4.2.2 ÍNDICES DE LEE E GOULIAS.....	100
4.2.3 ÍNDICES DE HANDY.....	101
4.3 MOBILIDADE.....	103

Capítulo 5

METODOLOGIA.....	106
-------------------------	------------

Capítulo 6

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	115
--	------------

Capítulo 7

ESTUDO DE CASO E RESULTADOS.....	121
7.1 EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DA IMAGEM DE SENSORIAMENTO REMOTO.....	122
7.2 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE.....	138
7.3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	142

Capítulo 8

CONCLUSÕES.....	145
------------------------	------------

Capítulo 9

RECOMENDAÇÕES.....150

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....152

Capítulo 1- INTRODUÇÃO

“The engineer is the key figure in the material progress of the world. It is his engineering that makes a reality of the potencial value of science by translating scientific knowledge into tools, resources, energy and labor to bring them into the service of man... To make contributions of this kind the engineer requires the imagination to visualize the needs of society and to appreciate what is possible as well as the technological and broad social age understanding to bring his vision to reality”.

Sir Eric Ashby

1 - INTRODUÇÃO

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E SUA EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O crescimento urbano desordenado é um fenômeno mundial. É um dos principais problemas que o mundo enfrenta na atualidade. O processo de crescimento urbano brasileiro é bem diverso daquele verificado nos países desenvolvidos, onde o processo de urbanização ocorreu ao longo de um período de 100 a 200 anos, tendo como marco inicial a Revolução Industrial (segunda metade do século XVIII), que introduziu o capitalismo como sistema econômico vigente. Antes da Revolução Industrial a grande maioria da população dos países do primeiro mundo habitava as zonas rurais (até o século XVIII, cidade grande na Inglaterra era uma localidade com cerca de 5000 habitantes²). Em decorrência da industrialização a população urbana cresceu e as cidades modificaram-se. Houve, então, um êxodo da população rural, que se dirigiu para as cidades para trabalhar como operários nas indústrias. Esses operários foram se acumulando nos subúrbios, pois com seus poucos recursos financeiros não tinham como se manter nos centros das cidades. A população urbana crescia em um ritmo cada vez mais acelerado.

Esses países se adaptaram a essa nova realidade ao longo dos anos, principalmente em virtude dos avanços tecnológicos que surgiram na Europa e Estados Unidos, como por exemplo, nos sistemas de transporte e de comunicação – os primeiros barcos a vapor (Robert Fulton – 1807) e locomotiva (Stephenson – 1814), revestimento de pedras nas estradas (McAdam – 1819), telégrafo (Morse – 1836), a descoberta da lei da corrente elétrica (Ohm – 1827) e do eletromagnetismo (Faraday – 1831)³. As distâncias entre as pessoas, entre os países, entre os mercados diminuíram.

² Informação advinda do *site*: <www.hystoria.hpg.ig.com.br>

³ Informação advinda do *site*: <<http://paginas.terra.com.br/arte/mundoantigo/industrial/tira1.htm>>

Conforme afirma Brito (1995), uma das características da história do capitalismo é a intensa mobilidade espacial da população. Nos diferentes países as cidades se transformaram em *locus* hegemônico da acumulação de capital, acelerando os processos de urbanização, fruto não apenas de crescimento vegetativo da população, mas, principalmente, das migrações internas originárias do campo.

É sabido que cada país possui sua própria história, o que acarreta processos específicos de desenvolvimento, urbanização e mobilidade espacial da população. No entanto, não houve economia e sociedade que se desenvolvessem sem que houvesse uma intensa mobilidade espacial da população (BRITO, 1995).

Até o final do século XVIII e início do XIX, apenas 3% da população mundial vivia em cidades; na década de 1970, a população na área urbana alcançou 40% e a perspectiva é de que até o final da presente década a taxa de urbanização duplique nos países em desenvolvimento, ou seja, alcance 80% (PEREIRA, 2001).

O Brasil, sendo um representante do bloco dos países em desenvolvimento, vem passando por este processo de urbanização. Todavia, aqui o processo foi bem mais acelerado, pois durou cerca de 50 anos, a partir da segunda metade do século passado. Conforme afirmam Deák e Schiffer (1999), em pouco mais de uma geração, o Brasil, um país predominantemente agrário, transformou-se em um país urbanizado. Em 1950, tinha uma população de 33 milhões de camponeses (em crescimento), com 19 milhões de habitantes nas cidades, ao passo que hoje tem a mesma população no campo (agora diminuindo) e a população urbana saltou para mais de 120 milhões.

Os anos 1950, como afirma Nolli (2005), entraram para a memória política como uma década de grandes transformações econômicas, ideológicas, políticas e culturais. A memória coletiva da população brasileira identifica esse tempo com a expressão “anos dourados” (basicamente os anos do governo do presidente Juscelino Kubitschek – 1956/1961). Com a entrada maciça de recursos estrangeiros no Brasil, propiciada pelo Plano de Metas⁴ do governo JK que fazia o país acreditar

⁴ Política desenvolvimentista do governo JK consolidado num conjunto de 31 objetivos a serem alcançados em diversos setores da economia (SILVA, Suely Braga da. 50 anos em 5: a odisséia

e seguir o bordão: “Crescer 50 anos em 5”, o crescimento das cidades brasileiras acelerou-se a olhos vistos, notadamente as cidades do sudeste brasileiro, onde se instalou, por exemplo, a então recém chegada indústria automobilística.

O crescente desenvolvimento das cidades do sudeste atraiu um grande fluxo migratório proveniente de outras regiões do país. Pessoas que vinham em busca de emprego e melhores condições de vida. O resultado foi um inchaço urbano, ou seja, a expansão urbana desordenada, pois as cidades não estavam preparadas para esse rápido crescimento.

Gerou-se, então, o processo de periferização das cidades. Sem recursos econômicos a população foi obrigada a se afastar cada vez mais das áreas centrais da cidade, onde estavam concentrados os locais de emprego, hospitais, estabelecimentos de ensino, áreas de lazer, etc. Esta situação perdura desde então até o presente, em maior ou menor grau de crescimento, porém não mais apenas no sudeste, mas em todas as grandes e médias cidades brasileiras.

O crescimento periférico de cidades é raramente acompanhado pela rede integrada de transportes públicos ou outros serviços. Na ausência do planejamento urbano, com o passar do tempo isto afetou sobremaneira os sistemas de transporte, pois, com a população cada vez mais distante de seus destinos, os tempos de viagens e distâncias a serem percorridas aumentaram, e isto se refletiu na qualidade do serviço de transporte, que diminuiu.

Isto é explicado pelo fato de que a qualidade do sistema de transporte faz a interface da oferta e a demanda. A aferição da qualidade depende da percepção do usuário. Cada pessoa percebe a qualidade de forma individual e subjetiva, e como a demanda por transporte é fortemente heterogênea com grandes variações como, por exemplo, renda, status socioeconômico, sexo, idade, escolaridade, etc., é bastante

difícil aferir qual o nível de serviço⁵ a ser disponibilizado de forma a maximizar a utilidade do usuário (i. e. minimizar o tempo de viagem e maximizar o conforto). Sendo a qualidade de serviço em transporte um conceito pouco preciso que abrange vários aspectos da oferta do serviço de transporte, sua avaliação depende da utilização de indicadores de qualidade (WAISMAN, 1983). Segundo Waisman (2004) tais indicadores estão associados ao:

- Tempo de viagem:
 - ✓ Velocidade - o indicador mais importante;
 - ✓ Freqüência - número de veículos por hora, seu inverso é o intervalo em tempo, ou “headway”, entre veículos. A freqüência é determinante no tempo de espera, que é uma das parcelas que compõem o tempo de viagem;
 - ✓ Confiabilidade - é a certeza que o usuário tem de que chegará ao seu local de destino num tempo previsível.

- Conforto:
 - ✓ Nível de ruído;
 - ✓ Suavidade - por exemplo, o efeito “Jerk” ou “João-Bobo” – refere-se ao usuário viajar balançando para frente e para trás dentro do veículo, devido à aceleração e desaceleração a que é imposto;
 - ✓ Disponibilidade de assentos (no caso de transporte público coletivo como ônibus, trem, etc.).

- Conveniência:
 - ✓ Acesso físico – minimizar as distâncias de caminhada. Isto depende do desenho urbano, hidrografia, relevo, topografia, etc. Esta dependência condiciona o desenho do sistema de transporte;
 - ✓ Rotas diretas – caminho mais direto e rápido possível. As rotas do transporte coletivo não devem ser mais do que 30% mais longas do que as do transporte individual;

⁵ Nível de serviço são características multidimensionais dos sistemas de transporte que indicam a quantidade, mas, sobretudo a qualidade proporcionada, e é fortemente associado ao nível de conforto (SEDU e NTU, 2002).

- ✓ Horários de serviço – o usuário deseja o serviço disponível 24 horas por dia, em contrapartida o operador do serviço não deseja arcar com o ônus de disponibilizar o serviço 24 horas por dia;
 - ✓ Pontos de parada - deve-se calcular o espaçamento entre os pontos de parada de forma que o veículo consiga atingir a velocidade de cruzeiro. Não há regras, recomenda-se nas áreas centrais a distância média de 300 metros, em áreas intermediárias de 300 a 800 metros, e em áreas de periferia acima de 800 metros;
 - ✓ Qualidade dos pontos de embarque – hoje há uma preocupação de que haja piso elevado (para pessoas portadoras de restrição de mobilidade), bancos, iluminação, cobertura contra intempéries, etc.;
 - ✓ Sistemas de informação – sistemas estáticos, por exemplo, os painéis que informam sobre itinerários, e os sistemas dinâmicos em tempo real que informam sobre tempo de espera, interrupção do serviço por acidente ou pane de veículo, e etc.
- Segurança: prevenção de acidentes, agressão, furto, roubo, etc, (eventos causados pela violência urbana).

Esses indicadores de qualidade são fatores que afetam a qualidade da viagem, por consequência afetam a qualidade de vida dos usuários do sistema de transporte. Os usuários passaram a gastar mais tempo nas viagens (que é atividade meio e não um fim em si mesma), mais recursos econômicos e com maior desconforto físico e emocional. Este último gerado pela incerteza do horário de chegada ao destino, e pelo receio da violência urbana se fazer presente durante as viagens.

Uma vez que a oferta de transporte (infra-estrutura viária e serviço de transporte), não foi capaz de acompanhar a crescente demanda pelo sistema de transporte, isto comprometeu a qualidade de vida das pessoas no espaço urbano, gerando uma corrente sem fim, um círculo vicioso (figura 1), o qual levará a cidade a continuar crescendo de maneira desordenada.

Segundo o Ministério das Cidades e o Instituto Brasileiro de Administração Municipal – IBAM (2006), algumas consequências imediatas desse círculo vicioso são:

- O crescimento do uso de veículos contribui para o aumento da poluição;
- A economia das cidades fica prejudicada;
- Os espaços urbanos deterioram-se diante da distribuição desigual de atividades;
- Aumenta a chance de ocorrerem acidentes;
- O crescimento do número de viagens motorizadas significa um aumento de consumo energético, acarretando uma dependência cada vez maior de fontes de energia não renováveis, como o petróleo;
- Com a degradação do transporte público inviabiliza-se o fluxo pleno em todas as áreas, com maior prejuízo para os mais pobres.

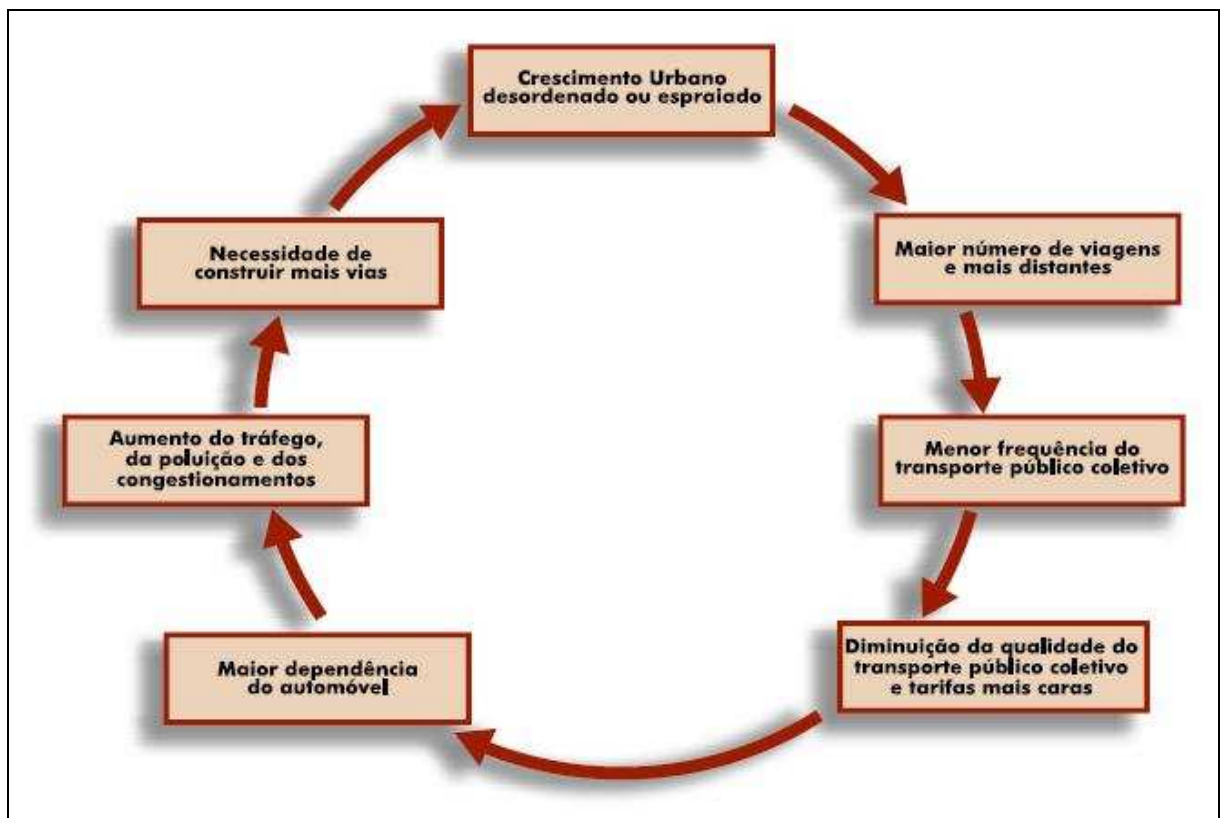


Figura 1: Círculo vicioso gerado pelo crescimento urbano desordenado
 Fonte: Ministério das Cidades e IBAM, (2006).

Outros aspectos da concentração econômica e demográfica nas cidades se mostram na crescente violência urbana, no crescimento de áreas marginalizadas e no aumento da segregação e fragmentação urbanas (o que se manifesta, por exemplo,

em shopping centers, condomínios fechados, etc., lugares particulares sem livre acesso), (ZIRKL, 2003).

A expansão urbana acelerada e desordenada nas grandes e médias cidades dos países em desenvolvimento acarreta uma degradação sócio-espacial contínua, que traz consigo uma série de conseqüências negativas para a “vida urbana”, influenciando diretamente na qualidade de vida de seus habitantes, principalmente no uso do espaço público (FERREIRA, 2002). Sobre esse aspecto, Ferreira (1997, p.15) afirma que:

“... a expansão urbana acelerada e desordenada, tendo como causas, as diversas intervenções públicas localizadas (pontuais), desarticuladas (aplicação parcial de planos e projetos, como também, descontinuidade no processo de planejamento, etc.) e paliativas nas cidades brasileiras, vem acarretando uma acelerada deterioração da qualidade de vida de seus habitantes, principalmente aqueles de baixa renda”.

Essa situação poderia ser revertida ou pelo menos minimizada com um planejamento adequado para as cidades. Em linhas gerais o planejamento é um processo de trabalho permanente, que tem por objetivo final a organização sistemática de meios a serem utilizados para atingir uma meta, que contribuirá para a melhoria de uma determinada situação, no contexto aqui estudado aplica-se essa melhoria às cidades (FERRARI JÚNIOR, 2004).

Deák e Schiffer (1999) entendem por planejamento urbano o conjunto das ações de ordenação espacial das atividades urbanas que, não podendo ser realizadas ou sequer orientadas pelo cidadão comum, devem ser assumidas pelo Estado, tanto na sua concepção quanto na sua implementação. Entendimento este ratificado pelo Estatuto das Cidades (Lei nº 10257 / 2001) em seu artigo 3º, incisos I e III que afirma que compete à União, entre outras atribuições de interesse da política urbana: legislar sobre normas gerais de direito urbanístico; e instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos.

Segundo Scaringella (2001), o planejamento urbano é um processo praticamente inexistente nas cidades brasileiras. O que se propõe é sempre atrasado e vai a reboque da realidade incontrolada que se implanta apesar e ao arrepio da lei.

Da mesma forma as redes de infra-estrutura, por seu caráter de essencialidade, são sistemas majoritariamente monopólicos, para os quais o Estado exerce, e realmente deve exercer, formas adequadas de controle (SILVA, 1999). Dentro deste contexto insere-se a rede de infra-estrutura de transporte, que se caracteriza, segundo Deák e Schiffer (1999), como um elemento estratégico de infra-estrutura urbana, que se constitui em uma das áreas de maior deficiência, o que traz sérios problemas de acessibilidade e mobilidade, poluição e devastação dos recursos naturais.

Segundo a Presidência da República (2007), a infra-estrutura de transporte, vetor estrutural para a sustentação do crescimento econômico de longo prazo, nas últimas décadas recebeu investimentos proporcionalmente decrescentes, quando mensurados em relação ao PIB – aproximadamente 3% nos anos 70, 1,5% nos anos 80 e 0,7% nos anos 1990. Esse comportamento provocou uma redução na eficácia da malha de transportes, que não acompanhou a evolução da demanda.

Meios de remediar o problema da expansão urbana desordenada que ocorre devido à ausência do planejamento urbano são poucos, onerosos e demorados. Resolver o problema que o espalhamento da população acarreta para o sistema de transporte é tarefa assaz árdua, pois o modelo de transporte das grandes e médias cidades, notadamente da Região Metropolitana de São Paulo, é um modelo saturado. Isto quer dizer, não importa o quanto se esteja disposto a investir em infra-estrutura viária, o sistema operará sempre no seu limite. Ressalta Scaringella, (2001) que em uma cidade como São Paulo, com mais de 10 milhões de habitantes e uma frota superior a cinco milhões de veículos, não há obra viária ociosa, qualquer que seja. O mesmo autor afirma que:

“O crescimento da oferta de capacidade do sistema viário e do transporte coletivo de grande capacidade, que sempre envolve capital intensivo, tem sido uma solução absolutizada pelo poder público e pelas comunidades científica e tecnológica, sem deixar de citar a iniciativa privada. É a escola do ‘hardware

urbano'. O erro não está em valorizar a grande obra, e sim absolutizá-la, como se ela fosse a única e completa solução. Essa é uma visão limitada da realidade e característica de países menos desenvolvidos. A supervalorização da 'cirurgia' urbana não é corrente nos países de Primeiro Mundo, onde há o primado do 'software urbano' em relação ao 'hardware urbano'. Racionalizar o uso da infra-estrutura já existente tem prioridade em relação a novas soluções de capital intensivo" (SCARINGELLA, 2001, p.56).

Apenas o investimento em nova infra-estrutura viária não resolve o problema. Em primeiro lugar não existem recursos financeiros e, mesmo que existissem, não haveria tempo (a frota dobra a cada dez anos). Caso houvesse tempo e dinheiro, não existiria espaço para ampliar o complexo viário. Não se deve privilegiar obras em relação aos serviços, pois se assim fosse, resultaria em uma cidade ainda mais desequilibrada sob vários aspectos (SCARINGELLA, 2001).

De acordo com Gualda (1994), o planejamento da implantação de sistemas de transporte deve levar em consideração a disponibilidade tecnológica no curto, no médio e no longo prazos, bem com os aspectos econômicos de cada tecnologia aplicável. Essa implantação de sistemas de transportes está atrelada a fatores econômicos. Desta forma, alternativas que, teoricamente, seriam as mais adequadas por levar a um menor custo do passageiro, da carga ou da informação transportados, não são implantadas por falta de recursos financeiros. Este é o caso, por exemplo, das linhas de metrô em São Paulo, que não são implantadas em maior número por falta de recursos, apesar das vantagens econômico-operacionais e de bem estar coletivo que proporcionariam.

Uma maneira de atenuar a situação de saturação do sistema de transporte é promover a melhora da qualidade do transporte público coletivo, priorizando-o em relação ao transporte individual. Hoje quem não possui veículo próprio e é usuário cativo⁶ de ônibus é penalizado pelo congestionamento provocado pelo automóvel

⁶ É preciso entender as necessidades dos usuários e identificar a melhor maneira de atendê-los. Atualmente, o usuário "genérico" não é mais chamado cativo, pois ele pode escolher entre várias modalidades: ônibus, trem, metrô, lotação, mototaxi, etc., o que vale afirmar que não existe mais a fidelidade. O usuário busca o modo de transporte que lhe dá maior satisfação. (ABREU, 2002 e ZUCCOLOTTO, 2002). Porém, a expressão usuário cativo do ônibus foi empregada para fazer referência àquele usuário que realmente não possui outra alternativa de transporte, quer particular ou mesmo outro modal do transporte público.

particular, o que parece ser no mínimo injusto. Outras medidas que podem ser adotadas são: o escalonamento de horários de trabalho ou das diferentes atividades; a segregação do transporte público que divide o espaço com o transporte particular (uso de faixas preferenciais ou exclusivas para ônibus, por exemplo); o transporte solidário, adotado em Londres sob o nome de *Carpool*, onde os usuários do sistema de transporte acessam e preenchem um formulário pela Internet para que seja possível identificar as possíveis pessoas que poderiam compartilhar o carro e assim reduzir gastos – a conhecida “carona”. Ou ainda, medidas nada populares e um tanto quanto questionáveis do ponto de vista constitucional, como é o caso do rodízio de veículos que ocorre na cidade de São Paulo, que restringe a livre circulação dos veículos em dias e horários específicos dentro do centro expandido da cidade; dos impedimentos legais para a aquisição de um veículo particular, a exemplo do Japão onde o cidadão só pode adquirir um veículo particular se comprovar que tem onde guardar esse veículo (SCARINGELLA, 2001); ou do pedágio urbano, como ocorre na Inglaterra (Londres), onde a solução do trânsito tarifado ou pedágio urbano (*London Congestion Charging*) foi adotada em fevereiro de 2003 na área central de Londres, e em fevereiro de 2007 a área original do *Congestion Charging* londrino foi ampliada, abrangendo também a parte ocidental da capital inglesa (TRANSPORT FOR LONDON, 2007).

Segundo Transport for London (2004) e Parra (2006) após seis meses da implantação do sistema houve uma redução considerável no congestionamento do tráfego (30%), e as viagens para dentro e para fora da zona pedagiada (*charging zone*) diminuíram 15%. De acordo com o Transport for London (2007) o *congestion charging* contribuiu diretamente para que fossem atingidos as quatro maiores prioridades da prefeitura de Londres em sua política e estratégia em transportes:

- Redução dos congestionamentos;
- Possibilitou que fossem introduzidas grandes melhorias no serviço de transporte coletivo por ônibus;
- Melhorou a confiabilidade e reduziu os tempos de viagem para os usuários do sistema de transporte;
- Viabilizou a realização de uma distribuição mais eficiente de bens e serviços.

Além disso, o pedágio urbano reduz os níveis de tráfego, o que contribui para a redução da emissão de poluentes dos veículos, diminui os níveis de poluição sonora, reduz o número de acidentes de trânsito, e também proporciona a geração de receitas para o suporte e manutenção das estratégias em transportes (TRANSPORT FOR LONDON, 2007).

O pedágio urbano não foi aplicado em outras cidades do tamanho e da complexidade de Londres, apesar de experiências semelhantes terem feito sucesso em Estocolmo, na Suécia e na área central de Cingapura, no qual um esquema semelhante está em vigor desde os anos 70 (COSTA, 2003).

Seja qual for a solução a ser adotada para controlar a expansão urbana desordenada e ordenar o sistema de transportes das cidades, deve existir o respaldo de um adequado planejamento urbano. O que se propõe nesse estudo é a adoção de ferramentas que auxiliem o planejamento das redes de transportes, neste caso a medida a ser estudada é a acessibilidade, obtida a partir de imagens de satélite de sensoriamento remoto com alta resolução espacial.

1.2 OBJETIVOS

A finalidade do estudo é o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho que agrega produtos provenientes do sensoriamento remoto, e neste caso por se tratar de ambiente urbano esses produtos são imagens de satélite de alta resolução espacial, como as do sensor multiespectral do satélite norte-americano IKONOS II⁷, com a grande quantidade de recursos computacionais que os sistemas de informações geográficas (SIG) são capazes de fornecer, para que sejam feitas análises de planejamento em Engenharia de Transportes.

Diversas são as análises passíveis de consideração, no entanto optou-se pelo estudo de índices de acessibilidade, que conforme afirma Lima (1998) servem, em certa medida, como ferramentas de planejamento urbano, para evitar problemas futuros relativos às redes de transporte, uma vez que os índices de acessibilidade avaliam como é feito o acesso da população aos seus destinos, tais como locais de trabalho, educação, saúde, lazer, e etc, permitindo que o cidadão possa tomar parte no sistema de transporte.

O objetivo principal deste trabalho é a apresentação de um arcabouço metodológico para a obtenção e extração de uma base de dados diretamente de imagens de alta resolução espacial, para que seja possível a determinação do índice de acessibilidade da área de estudo.

Para se alcançar o objetivo descrito, o conceito de acessibilidade é descrito e analisado por meio do estudo de caso do Município de Osasco, localizado na Região Metropolitana de São Paulo. Os dados necessários para as análises são extraídos das imagens do satélite IKONOS II da área onde se localiza a cidade de Osasco, uma classificação da imagem baseada em objetos indica onde estão os estabelecimentos comerciais e industriais de pequeno, médio e grande porte do

⁷ Utilizou-se as imagens do sensor multiespectral do satélite IKONOS II por ser o dado disponível no Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP por ocasião desta dissertação. Por se tratar de imagens de alta resolução espacial, preencheram perfeitamente os requisitos técnicos para as análises aqui desenvolvidas.

município. Com essas informações o índice de acessibilidade desse setor da economia osasquense é determinado.

Essa metodologia é validada comparando o índice de acessibilidade estimado com outro obtido a partir de dados cadastrais cedidos pela Prefeitura do Município de Osasco, ou seja, pelo modelo convencional. Admite-se por hipótese que esses dados oriundos da Prefeitura são corretos e confiáveis. Ao se comparar esses dois índices de acessibilidade pode-se então concluir sobre a aplicabilidade da metodologia proposta.

1.3 JUSTIFICATIVA

O trabalho tem como motivação a apresentação de uma metodologia multidisciplinar que utiliza a tecnologia da detecção remota dos dados, que serão convertidos e analisados em ambiente SIG, para que seja possível o estudo e a mensuração de índices de acessibilidade. Como a construção da base de dados por meio de pesquisas de campo é mais demorada e onerosa, a proposta é diminuir o custo e o tempo despendidos nessas pesquisas e atualizações de dados cadastrais.

Assim sendo, essa metodologia se apresenta bastante útil para localidades que não possuam dados em cadastro ou estes estão desatualizados de um modo que não mais reflitam a realidade da região a ser analisada. A utilização do geoprocessamento tem por finalidade imprimir maior rapidez ao procedimento de análise. O método proposto alia agilidade e redução de gastos, na medida em que elimina a fase da construção da base de dados *in loco*.

1.4 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Nos capítulos seguintes encontram-se as revisões bibliográficas, possibilidades de aplicação e possíveis restrições, sobre os assuntos tratados nesta dissertação. Ou seja, o capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica sobre o tema Sensoriamento Remoto, o capítulo 3 sobre SIG e o capítulo 4 sobre o tema Acessibilidade. A metodologia proposta e aplicada é pormenorizada no capítulo 5. No capítulo 6 encontra-se a caracterização da área de estudo, e o capítulo 7 é o estudo de caso propriamente dito, bem como os resultados obtidos no estudo. Segue o capítulo 8 com as conclusões e o capítulo 9 com algumas recomendações para estudos posteriores. Por fim, encontram-se as referências bibliográficas.

Capítulo 2- SENSORIAMENTO REMOTO

“O Homem deve elevar-se acima da Terra – ao topo da atmosfera e além – para assim somente entender na totalidade o mundo em que vive”.

Sócrates – 500 A.C.

2 SENSORIAMENTO REMOTO

2.1 DEFINIÇÃO

O termo sensoriamento remoto foi pela primeira vez utilizado no final dos anos 50, por Evelyn Pruitt, uma cientista que desenvolvia suas pesquisas no Escritório de Pesquisa da Marinha dos Estados Unidos da América (Office of Naval Research). Sua definição incluía fotografias aéreas, bem como as imagens adquiridas pelos então novos sistemas sensores. O termo surgiu para descrever o processo de observação, mensuração e identificação de objetos sem estar em contato direto com eles (ARONOFF, 2005).

De acordo com Novo (1992) o sensoriamento remoto é o modo de obtenção de dados à distância, a partir da utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos de processamento e de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc. Os sensores são os equipamentos capazes de coletar a energia proveniente de um objeto que se deseja avaliar, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. O propósito é o estudo do ambiente terrestre, por meio do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Similarmente, Lillesand *et al.* (2004) definem o sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informações a respeito de um objeto, área ou fenômeno, por meio da análise de dados adquiridos por dispositivos que não estão em contato direto com tal objeto, área ou fenômeno que está sendo investigado. Trata-se, portanto, de uma tecnologia para aquisição, processamento e análise de informações acerca da superfície terrestre, das condições urbanas e das suas mudanças, por meio da interação entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes da superfície. Tais informações são obtidas remotamente por meio de sensores instalados em plataformas orbitais ou aerotransportadas.

A fotografia e o imageamento digital permitem que as visadas aéreas sejam adquiridas rapidamente, tornando possível a obtenção e a análise de imagens de grandes áreas da superfície terrestre. A tecnologia dos satélites possibilita que todo o globo terrestre seja sistematicamente imageado e monitorado. Hoje, diversas atividades humanas dependem de um fluxo constante de imagens adquiridas a partir de pontos elevados, muito acima da superfície da Terra, para que seja possível inventariar, avaliar e manejar recursos, agora não mais em uma escala local, mas sim em uma escala global. A análise desse imageamento é a disciplina conhecida como sensoriamento remoto (ARONOFF, 2005).

O sensoriamento remoto permite que sejam coletadas informações a respeito de regiões onde o acesso direto dos observadores humanos seria demasiadamente caro ou perigoso. Vastas áreas do oceano, extensas plantações ou florestas, vulcões ativos, áreas de conflitos militares, regiões de extremo rigor climático (p. e. desertos ou geleiras), ou áreas submetidas à radioatividade podem ser facilmente monitoradas com o uso da tecnologia de sensoriamento remoto (ARONOFF, 2005).

Os produtos de sensoriamento remoto, ou seja, as imagens digitais ou fotografias aéreas coletadas a partir de aeronaves ou espaçonaves, têm sido muito usados na produção de mapas da superfície da Terra e da topografia do fundo dos oceanos, trabalhos que envolvem recursos naturais e infra-estrutura urbana. Aronoff (2005) enfatiza que o sensoriamento remoto oferece vantagens substanciais em comparação com outros métodos de coleta de dados, o que o tem levado a uma ampla gama de aplicações. O sensoriamento remoto proporciona uma visão geral e permite o discernimento de padrões e relações não aparentes quando observadas ao nível do solo. Outra vantagem diz respeito à rapidez com que as informações são disponibilizadas, o que é de grande valor para a prevenção e a avaliação de desastres naturais, por exemplo, onde a resposta das atividades de emergências deve ser o mais breve possível. As imagens provenientes do sensoriamento remoto são ferramentas que assessoram, ajudam a planejar e a monitorar tais atividades emergenciais. O sensoriamento remoto pode registrar comprimentos de onda que o olho humano não pode ver, como o infravermelho, para detectar fenômenos que do contrário não seriam visíveis, como por exemplo, emissão de calor ou radioatividade. A figura 2 traz uma imagem referente à banda da radiação infravermelha termal,

capturada pela NASA – sensor MODIS, e claramente mostra o padrão da Corrente do Golfo. Uma corrente de água quente que flui do leste, onde atravessa o Golfo do México, em direção ao norte da Europa. A corrente do Golfo é mostrada nesta figura nas cores amarelo, laranja e vermelho, sendo a parte representada com a cor vermelha a porção mais quente.

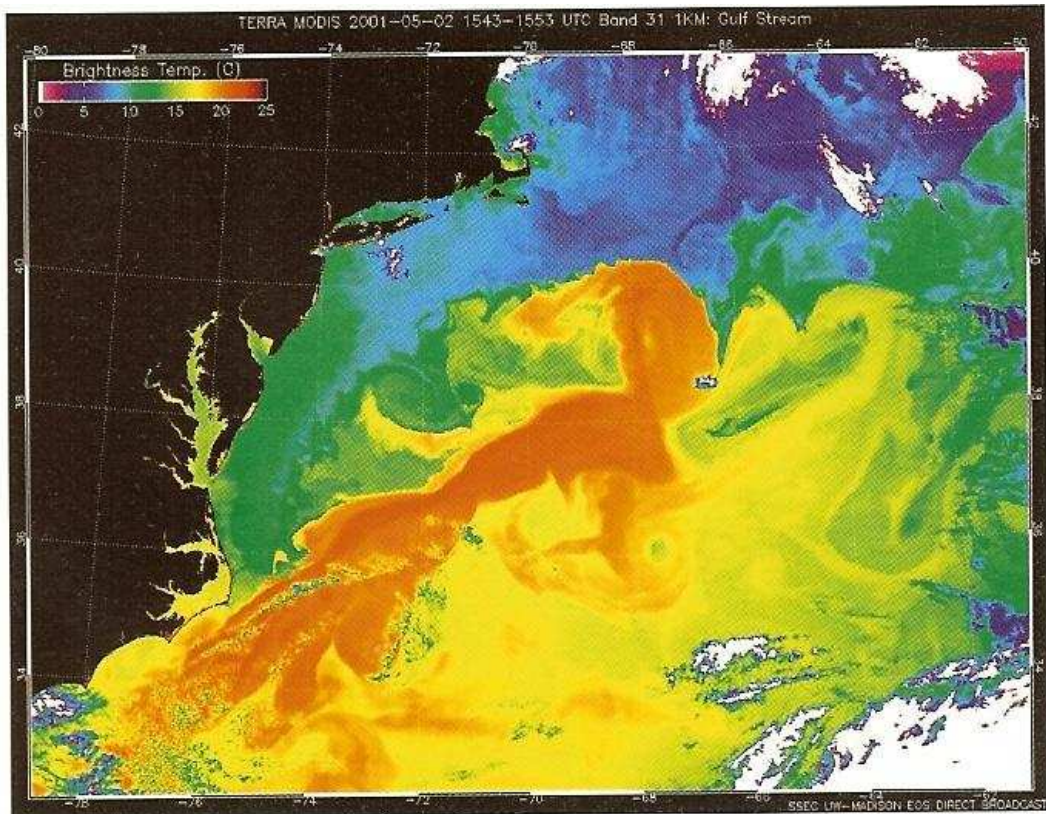


Figura 2: Corrente do Golfo, leste da América do Norte.
Fonte: Aronoff (2005): p.4.

Segundo Rodrigues (1990), o sensoriamento remoto assume crescente importância e razões existem para tal, principalmente nos dias de hoje. Os dados provenientes de sensoriamento remoto são de abrangência espacial muito superior àqueles advindos de levantamento de campo. Em grandes áreas ou em áreas de difícil acesso, o sensoriamento remoto apresenta a grande vantagem da acessibilidade. A rápida cobertura de grandes áreas facilita a comparação de regiões. O imageamento de grande altitude possibilita uma visão sinóptica, permitindo a percepção de variações espaciais de grande escala. O imageamento repetitivo viabiliza o monitoramento de grandes áreas. E a manutenção de arquivos de imagens permite a extração de dados do passado.

2.2 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (REM)

Em uma análise mais rigorosa, o sensoriamento remoto mede as trocas energéticas entre os fenômenos ou objetos e o meio ambiente. Essas trocas manifestam-se predominantemente por emissão ou modificações na radiação eletromagnética, ou perturbações nos campos naturais (QUINTANILHA *et al.*, 1998).

A radiação eletromagnética se propaga na forma de ondas produzidas pela oscilação dos campos elétrico e magnético. Ela é caracterizada por apresentar comprimentos de onda (λ) que representam a distância entre dois pontos de igual intensidade dos campos elétrico e magnéticos.

A figura 3 exemplifica uma onda eletromagnética. Seus componentes incluem uma onda elétrica senoidal (E) no plano vertical, e uma onda similar magnética (M) no plano horizontal formando um ângulo reto com a onda elétrica. Ambas são perpendiculares à direção de propagação.

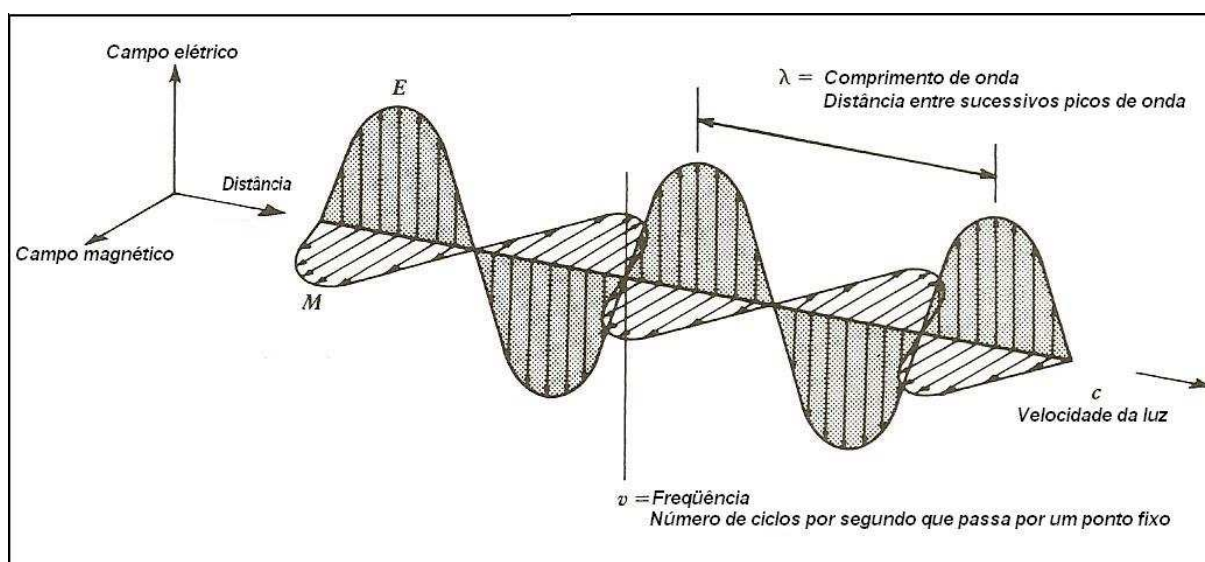


Figura 3: Onda eletromagnética.
Fonte: Adaptado de Lillesand *et al.*, 2004 (p.4).

As ondas eletromagnéticas são do tipo transversal⁸ e não necessitam de um meio de propagação, ou seja, propagam-se até mesmo no vácuo (MOREIRA, 2005).

⁸ Ondas cujos picos e vales (cristas e depressões) formam ângulos retos com a direção do movimento, como aquelas que se propagam ao longo de uma corda (MOREIRA, 2005).

No sensoriamento remoto é comum a classificação das ondas eletromagnéticas quanto ao seu comprimento e localização dentro do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético é a distribuição da radiação eletromagnética em relação ao seu comprimento de onda ou frequência. Muito embora denominações como radiação ultravioleta, infravermelho, microondas, raios gama, etc sejam freqüentemente usadas para assinalar as diferentes regiões do espectro eletromagnético, não existe uma divisão clara entre uma região espectral e outra que a sucede ou antecede. Essa divisão do espectro é meramente por uma questão de conveniência para facilitar o estudo sobre o assunto, do que por haver diferenças significativas nas características e propriedades da energia dentre os vários comprimentos de onda do espectro (LILLESAND *et al.*, 2004).

O espectro da radiação eletromagnética engloba a luz visível, os raios gama, as ondas de rádio, as microondas, os raios X, ultravioleta e infravermelho. Esses nomes, como já enfatizado anteriormente, indicam áreas do espectro divididas com fins didáticos e práticos, pois o espectro é contínuo e não há diferenças abruptas entre as formas de radiação, e todas são basicamente o mesmo fenômeno físico. Por exemplo, todas se propagam pelo espaço com a mesma velocidade – a velocidade da luz – de cerca de 300 mil km/s. As diferenças estão no comprimento das ondas e na frequência da radiação⁹, que fazem com que tenham diferentes características, como o poder de penetração dos raios X ou o aquecimento do infravermelho. Uma fonte, como o Sol, pode emitir luz dentro de um espectro variado. Por exemplo, decompondo-se a luz solar com um prisma é possível observar um espectro de cores, como as do arco-íris (figura 4). Outras são invisíveis ao olho humano, mas detectáveis por instrumentos.

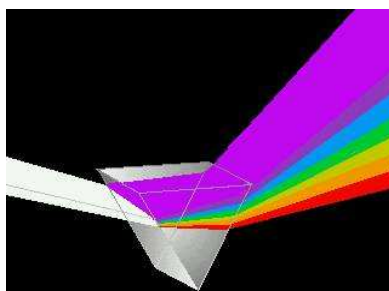


Figura 4: Decomposição da luz solar no prisma

Fonte: http://www.radiacao.com.br/radiacao_eletromagnetica.html

⁹ Conforme descritos na figura 3.

Segundo Moreira (2005) as diferentes denominações para as radiações eletromagnéticas são decorrentes de natureza histórica ou dos processos utilizados na sua produção ou determinação:

- **Radiação Gama:** emitida por materiais radioativos e pelo Sol. Localiza-se no espectro eletromagnético antes dos raios X, ou seja, aquém de 1 angstrom¹⁰. Possui altas frequências e, por isso, é muito penetrante (alta energia). Na prática, tem aplicações na medicina (radioterapia) e em processos industriais, principalmente na conservação de alimentos.
- **Raios X:** Esta denominação foi dada por seu descobridor, o físico alemão Wilhelm Röntgen, em 1895, por não conhecer suas trajetórias. Os raios X surgem do interior da eletrosfera do átomo, por rearranjos eletrônicos. São muito usados em radiografias e em estudos de estruturas cristalinas de sólidos. Os raios X provenientes do Sol são absorvidos pelos gases na alta atmosfera.
- **Radiação ultravioleta (UV):** Estas radiações são muito produzidas durante as reações nucleares no Sol. Entretanto, ao atingir o topo da atmosfera terrestre, são quase totalmente absorvidas pelo gás ozônio (O₃). O espectro do UV é dividido em três bandas: UV próximo, UV distante e UV máximo.
- **Radiação visível (luz):** conjunto de radiações eletromagnéticas compreendidas entre 0,38 e 0,70 μm. As radiações contidas nesta faixa de comprimento de onda, ao incidirem no sistema visual humano, são capazes de provocar uma sensação de cor¹¹ no cérebro.

¹⁰ Unidade de comprimento, equivalente a 10⁻¹⁰ metro.

¹¹ O fato de o ser humano enxergar cores está ligado aos estímulos do cérebro, que utiliza este recurso para diferenciar uma onda da outra, ou melhor, uma frequência da outra. Assim, o vermelho possui uma frequência diferente do violeta. Por esta razão, pode-se dizer que na natureza não existem cores, apenas objetos que refletem ondas de frequências diferentes, que provocam no cérebro humano a sensação de cores (MOREIRA, 2005).

- **Radiação infravermelha (IV):** conjunto de radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de onda variam de 0,7 a 1000 μm (1 mm). Também são denominadas de radiação térmica
- **Microondas:** radiações eletromagnéticas que se estendem pela região do espectro de 1000 μm até cerca de 100 cm. São mais comumente referenciadas em Hertz e seus múltiplos, estando, neste caso, compreendidas entre 300 MHz a 300 GHz.
- **Ondas de rádio:** conjunto de radiações com frequências menores que 300Mhz (comprimento de onda maior que 100 cm). Estas ondas são utilizadas principalmente em telecomunicações e radiodifusão.

A tabela 1 a seguir apresenta a principal divisão do espectro eletromagnético (ilustrado na figura 5) tipicamente utilizado em sensoriamento remoto:

Região	Limite
Raios Gama	Menos de 0,03 nm
Raios X	0,03 nm – 240 nm
Ultravioleta	0,24 μm – 0,38 μm
Visível	0,38 μm – 0,70 μm
Infravermelho	0,70 μm – 1000 μm
Infravermelho próximo	0,70 μm – 1,0 μm
Infravermelho de ondas curtas	1,0 μm – 3,0 μm
Infravermelho de ondas médias	3,0 μm – 8,0 μm
Infravermelho de ondas longas	8,0 μm – 14 μm
Infravermelho distante	14 μm – 1000 μm
Microondas	1 mm – 100 cm
Ondas de radio	Mais de 100 cm

Tabela 1: Principal divisão do espectro eletromagnético.
Fonte: Adaptado de Aronoff (2005), p. 57.

A porção do espectro mais relevante para o sensoriamento remoto é aquela correspondente à faixa da luz (visível) e do infravermelho. Mais recentemente, com o

avanço da tecnologia de radar, a porção que se refere às microondas passou a despertar bastante interesse ao sensoriamento remoto. A região de microondas, com comprimentos de onda que podem variar de 1 mm até próximo de 1 m, é a que contém os mais longos comprimentos de onda usados no sensoriamento remoto. (FONSECA FILHO e QUINTANILHA, 2003).

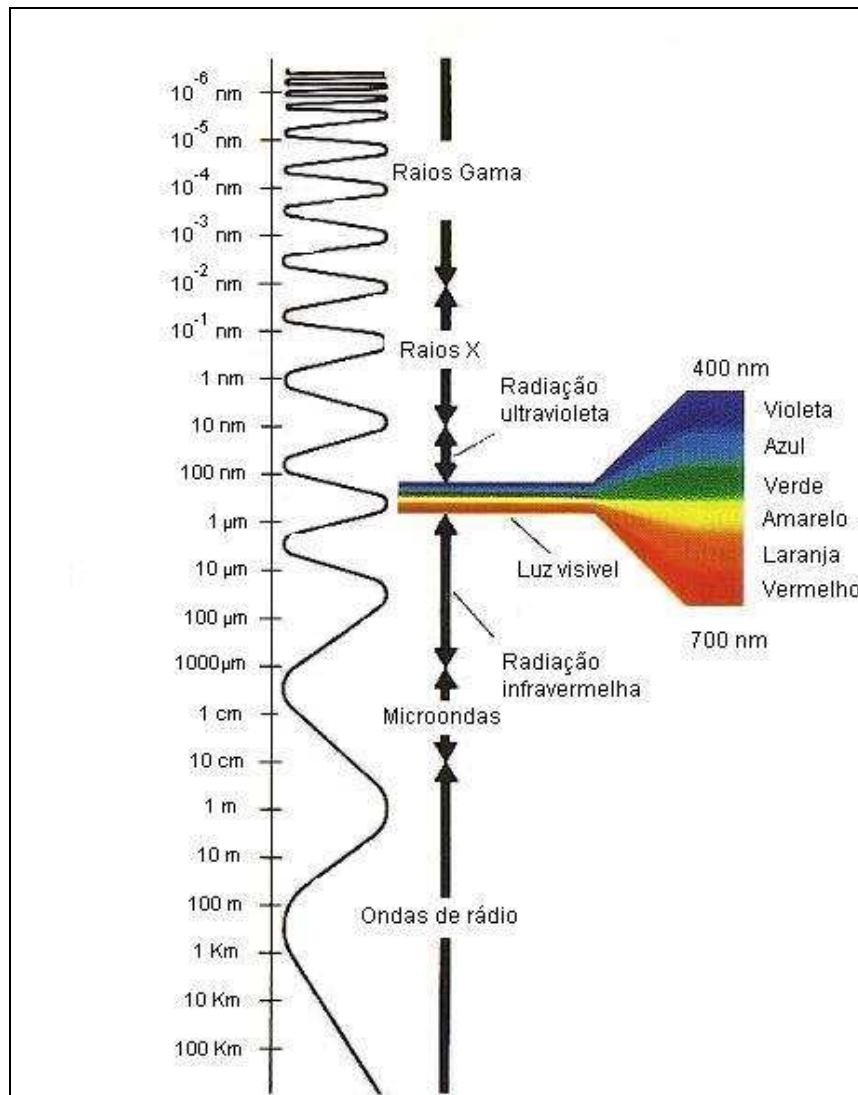


Figura 5: Espectro eletromagnético.

Fonte: Adaptado de Kaufmann III, W. J. **Universe**. Ed. W. H. Freeman, New York, 1991

Toda radiação detectada remotamente pelos sensores percorre uma longa distância até que consiga ultrapassar a atmosfera terrestre. A atmosfera exerce um profundo efeito sobre a intensidade e na composição espectral da radiação disponível para os sistemas sensores. Esses efeitos oriundos da atmosfera variam conforme: a distância a ser percorrida pela radiação, com a magnitude da radiação incidente,

com as condições atmosféricas presentes e com o comprimento de onda envolvido. Esses efeitos devem-se, principalmente, aos mecanismos de espalhamento e absorção.

O espalhamento, que é a difusão aleatória da radiação eletromagnética causada por partículas em suspensão na atmosfera, é gerado por um campo de energia difusa que se propaga em todas as direções (LILLESAND *et al.*, 2004).

Por sua vez, a absorção é o resultado da perda efetiva de energia para os componentes constituintes da atmosfera. Os mais eficientes absorvedores da radiação solar são o vapor d'água, o dióxido de carbono e o ozônio. Em virtude desses efeitos exercidos pela atmosfera sobre a radiação eletromagnética incidente na Terra, os sensores remotos são calibrados para operar nas chamadas janelas atmosféricas, que são as faixas espectrais livres ou com menor grau de interferência desses efeitos (LILLESAND *et al.*, 2004).

A radiação eletromagnética que não sofre espalhamento ou absorção quando de sua passagem pela atmosfera, pode então atingir e interagir com a superfície terrestre, ou seja, com seus objetos ou alvos. Essa radiação interage de forma diferenciada com os objetos ou alvos, podendo ser absorvida (a energia é absorvida pelo objeto), transmitida (o fluxo de energia passa através do objeto) ou refletida (o fluxo de energia muda de direção após atingir o objeto).

Conforme ilustra a figura 6, para um elemento de volume de um corpo d'água, várias frações da energia incidente no elemento são refletidas, absorvidas. e/ou transmitidas. Aplica-se então o princípio da conservação de energia (equação do balanço de energia), onde todos os componentes são função do comprimento de onda λ . É necessário ressaltar, todavia, que as proporções de energia refletida, absorvida e transmitida variam dependendo das diferentes feições terrestres, seus materiais, tipos e condições. São essas diferenciações que nos permitem distinguir as diversas feições em uma imagem. Além disso, para uma mesma feição essas proporções de energia refletida, absorvida e transmitida variam para diferentes comprimentos de onda. Isto significa que duas feições podem ser indistinguíveis em um certo comprimento de onda (ou seja, em uma determinada banda do espectro

eletromagnético), e bastante diferentes em outra banda espectral (LILLESAND *et al.*, 2004).

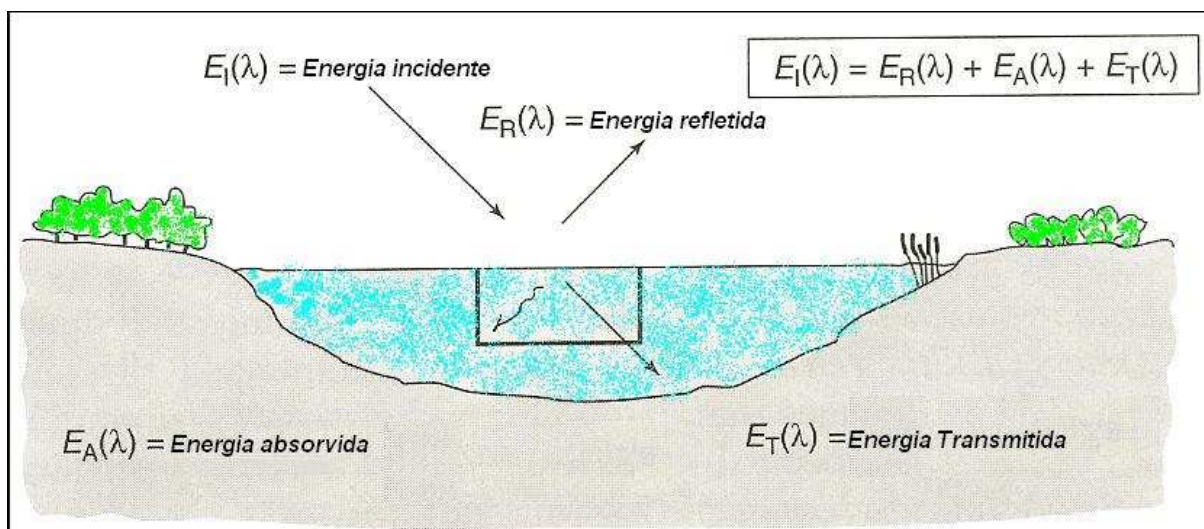


Figura 6: Interação básica entre a energia eletromagnética e as feições da superfície da Terra.
Fonte: Adaptado de Lillesand *et al.*, 2004 (p.12).

O sensoriamento remoto utiliza a quantidade de radiação refletida (também chamada de radiância) e a compara com a quantidade incidente (irradiância) sobre o alvo. Isto fornece a medida de reflectância captada por sensores, denominados radiômetros ou espectrorradiômetros¹² (SOUSA JUNIOR, 2005). Por meio da reflectância pode-se conhecer as características de um objeto quanto à sua capacidade de refletir a radiação eletromagnética, pois ela depende das características físico-químicas deste objeto (FONSECA FILHO e QUINTANILHA, 2003).

Os objetos estudados são, então, as diversas feições terrestres, como: solo; água (rios, oceanos, etc); vegetação (florestas, pastagens, lavouras, etc); estradas; áreas urbanas; e assim por diante. Cada uma destas feições apresenta uma resposta diferente à radiação eletromagnética nela incidente, seja essa radiação oriunda do sol ou gerada por radares. É o que se denomina comportamento espectral de alvos ou assinatura espectral. Conforme acentua Novo (1992), para a extração das informações contidas nos produtos de sensoriamento remoto é imprescindível o conhecimento do comportamento espectral de alvos (objetos) sobre a superfície

¹² Os espectrorradiômetros diferem dos radiômetros por operarem em faixas espectrais estreitas.

terrestre, ou seja, como as substâncias se comportam na interação com a energia eletromagnética. A figura 7 mostra a assinatura espectral de alguns alvos terrestres.

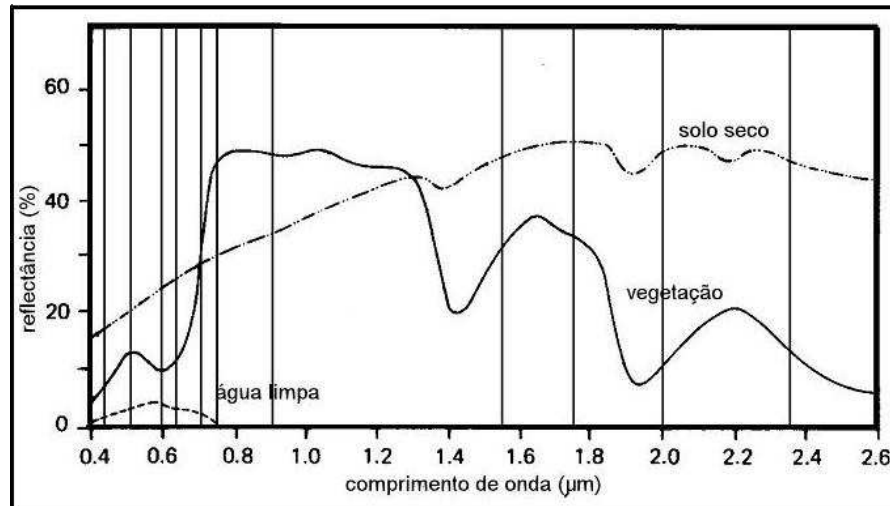


Figura 7: Assinatura espectral
 Fonte: Adaptado de Lillesand *et al.*, 2004 (p.17).

Muitos pesquisadores despenderam muito tempo e esforço realizando simulações em laboratório e campos de prova com a finalidade de observar, estudar e catalogar como determinadas feições da superfície terrestre respondem a diferentes comprimentos de onda da radiação eletromagnética (bandas do espectro). Atualmente essas informações geradas são utilizadas como referência em muitas pesquisas e projetos de geoprocessamento (NÓBREGA, 2007).

Ressaltam ainda Meneses et al (2001) que a interpretação e o entendimento de uma imagem de sensoriamento remoto é, essencialmente, um exercício da descoberta e do entendimento de como interage a radiação eletromagnética com o material da superfície terrestre, a fim de se descobrir informações ou propriedades relacionadas com sua natureza intrínseca, ou seja, com a composição de seus constituintes. Desta feita, busca-se nas imagens identificar, pelas respostas espectrais dos materiais, que tipo de feição está presente numa área. O sucesso desta análise depende do número de bandas que o sensor é capaz de analisar e, principalmente, do conhecimento do intérprete sobre os fatores que controlam o comportamento espectral da reflectância dos alvos. Este conhecimento é obtido de medidas espectrais feitas em laboratório ou no campo, usando-se espectrorradiômetros de alta resolução.

2.3 PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Os instrumentos de sensoriamento remoto operam a partir de plataformas, que podem variar desde equipamentos terrestres até espaçonaves. Os equipamentos terrestres posicionados ao nível do solo, tais como em veículos do tipo “truck-mounted boom”¹³(figura 8), altos edifícios, torres de caixa d’água, ou até mesmo escadas, são freqüentemente usados para testar os instrumentos de sensoriamento remoto e para coletar medidas espectrais detalhadas de feições conhecidas, para testar e/ou calibrar as imagens (ARONOFF, 2005).



Figura 8: Veículo do tipo “truck-mounted boom” equipado com instrumentos de sensoriamento remoto.

Fonte: <http://scissorplatforms.co.nz/index.aspx?site=342&page=2232>

O termo imageamento aéreo (figura 9) refere-se aos dados coletados a partir de aviões, helicópteros e outros veículos operando dentro da atmosfera terrestre. O sistema aéreo oferece a flexibilidade de posicionar os instrumentos de sensoriamento remoto quando e onde eles são necessários. Os veículos podem voar a baixas altitudes para adquirir imagens ricas em detalhes e com menor interferência atmosférica do que as imagens adquiridas pelas plataformas espaciais. No entanto, quando sob a ação de fortes ventos, eles são muito menos estáveis do que as plataformas espaciais (ARONOFF, 2005).

¹³ Os veículos do tipo “truck-mounted boom” são equipamentos especialmente projetados para permitir medidas de sensoriamento remoto muito próximas do solo e em locais apropriados para o controle das condições de aquisição dos dados (NARAYANAN e SHEA, 1993).

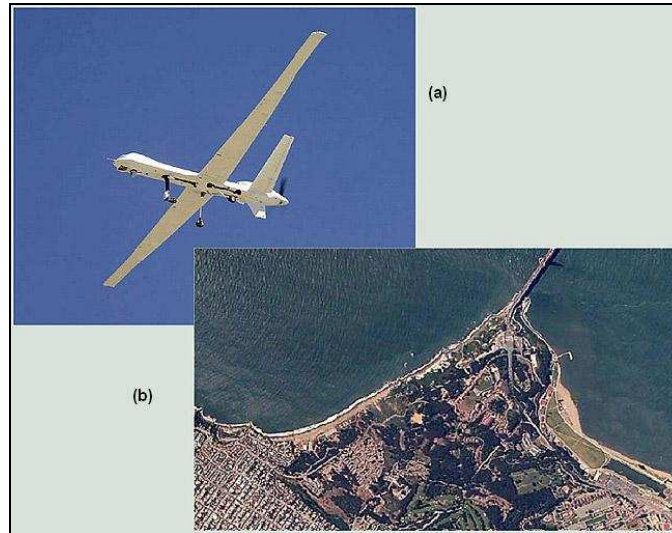


Figura 9: Sensoriamento remoto aéreo: (a) aeronave utilizada como plataforma para a aquisição de imagens; (b) imagem de sensoriamento remoto aéreo.

Fonte: http://celebrating200years.noaa.gov/visions/remote_sensing/image3.html

Os instrumentos de sensoriamento remoto no espaço ou orbital são basicamente os satélites, embora estações espaciais orbitais de baixa altitude e veículos reutilizáveis, como os ônibus espaciais (space shuttle) também sejam usados. Segundo Williamson (1999) a utilização de veículos espaciais reutilizáveis oferece uma relativa simplicidade operacional e o potencial para uma significativa redução de custos, ao se comparar com os custos relativos do veículo lançador (foguetes) que só pode ser usado uma única vez, e do satélite, que ao final da sua vida útil perde-se no espaço e se transforma em sucata espacial. Entretanto, eles são tecnologicamente muito mais difíceis de serem concebidos, construídos e operados.

Um exemplo da utilização de ônibus espaciais em sensoriamento remoto é a missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para obtenção do modelo de elevação da superfície terrestre. Trata-se do mais completo banco de dados digital topográfico de alta resolução do planeta (mapa tridimensional da Terra). O SRTM consiste em um sistema de radar especialmente modificado, a bordo do ônibus espacial Endeavour (figura 10), que imageou cerca de 80% da superfície da Terra. A missão teve duração de 11 dias ininterruptos (devido ao uso da tecnologia de radar, que pode adquirir as imagens durante a noite, e independentemente da cobertura de nuvens), de 11 a 22 de fevereiro de 2000. O SRTM é um projeto internacional, encabeçado pela NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), pela NASA

(National Aeronautics and Space Administration) e pela USGS (United States Geological Survey).



Figura 10: Lançamento do ônibus espacial Endeavour para a missão SRTM, em fevereiro de 2000, Cabo Canaveral – Flórida – EUA.

Fonte science.ksc.nasa.gov/.../KSC-00PP-0224.jpg

O imageamento realizado pela missão SRTM encontra-se disponível gratuitamente para download no site da USGS (<http://srtm.usgs.gov/>), para uma resolução espacial de 90 metros (ou seja, pontos amostrados no terreno a cada 90 metros para a construção do *grid* utilizado no modelo digital de elevação), e de 30 metros para usuários nos Estados Unidos, seus territórios ou possessões. Hennig *et al.* (2001), Rabus *et al.* (2003) e USGS (2007), apresentam maiores detalhes sobre a missão SRTM e seus produtos. A figura 11 é um exemplo de produto obtido pela missão SRTM. A imagem de radar é sobreposta ao modelo digital de elevação e o resultado é uma imagem 3D.

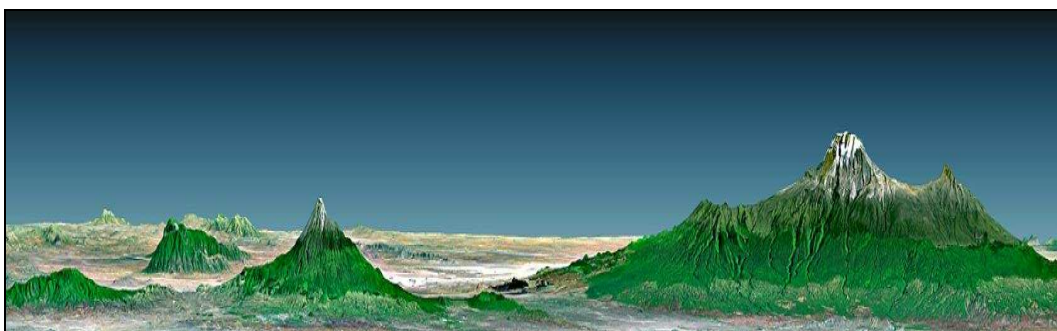


Figura 11: Imagem SRTM: Monte Kilimanjaro, Tanzânia

Fonte:

<http://srtm.usgs.gov/srtmimagegallery/Perspective%20with%20Landsat%20Overlay,%20Mount%20Kilimanjaro,%20Tanzania.php>

Segundo Ehlers (2007), os modernos dados de sensoriamento remoto provêm predominantemente de satélites e são imediatamente registrados digitalmente. A maior vantagem dos sensores instalados nos satélites é a sua consistência. Eles são capazes de oferecer uma cobertura contínua usando o mesmo sensor por longos períodos de tempo, proporcionando uma valiosa fonte de dados para o monitoramento ambiental, por exemplo. A tabela 2 apresenta uma visão de conjunto de alguns dos mais utilizados sistemas de satélite atualmente em operação (notadamente no Brasil) e alguns projetos de lançamentos futuros.

A relação de resolução e escala do produto cartográfico tem muita importância na identificação de feições no terreno e na conseqüente possibilidade de definir quais as maiores escalas possíveis de serem obtidas (SILVA E DALMOLIN, 1998). Levando-se em consideração os principais sistemas de satélites comerciais e a relação existente entre suas resoluções espaciais (no terreno) e as escalas cartográficas mais comumente utilizadas, a tabela 3 apresenta as relações resolução no terreno/escala propostas por Konecny (1996) *apud* Silva e Dalmolin (1998) e pela Organização Internacional de Hidrografia (INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION, 2005).

Empresa / Instituição	NASA EUA		CAST & INPE China e Brasil		CNES França		NRSA Índia					
Sistema	LANDSAT-7 ETM (Lançamento 1999)		CBERS-2B (Lançamento 2007)		SPOT 3 (Lançamento 1993) e SPOT 4 (Lançamento 1998) / HRV		SPOT 5 (Lançamento 2002)					
Modo	Pan (8 bits)	MS + termal (8 bits)	Pan (8 bits)	MS (8 bits)	Pan (8 bits)	MS (8 bits)	Pan (6 bits)	MS (7 bits)				
Resolução Geométrica	15 m	30 m 60 m (IvT)	2,5 m	20 m	10 m	2,5 m (Supermodo realçado) 5,0 m (modo normal)	10 m (SWIR 20 m)	5,8 m 23,5 m				
Resolução Espectral (nm)	500-900	450-620 (az) 530-610 (vd) 620-690 (vm) 780-910 (IvP) 1570-1780 (SWIR) 10420-12500 (IvT) 2080-2350 (IvM)	500-800	450-620 (az) 520-590 (vd) 630-690 (vm) 770-890 (IvP) 510-730 (Pan)	480-710	500-590 (vd) 610-680 (vm) 790-890 (IvP) 1580-1750 (IvM)	430-470 (az) 500-590 (vd) 610-680 (vm) 780-890 (IvP) 1580-1750 (SWIR)	500-750	520-690 (vd) 620-680 (vm) 770-860 (IvP) 1550-1700 (IvM)			
Tamanho da cena ou Faixa imageada	185 x 185 km ²		27 km	113 km	60 x 60 km ²		23 x 23 km ² 70 x 70 km ²					
Altura da órbita	704 km		778 km	832 km	822 km		817 km					
Empresa / Instituição	Digital Globe EUA				GeoEye (Orbimage & Space Imaging) EUA							
Sistema	QuickBird 2 (Lançamento 2001)		WorldView1 (Lançamento 2007)		WorldViewII (Lançamento 2008)		IKONOS-2 (Space Imaging) (Lançamento 1999)		OrbView-3 (Orbimage) (Lançamento 2003)		GeoEye-1 (OrbView-5) (Lançamento 2007)	
Modo	Pan (11 bits)	MS (11 bits)	Pan (11 bits)	MS (11 bits)	Pan (11 bits)	MS (11 bits)	Pan (11 bits)	MS (11 bits)	Pan (11 bits)	MS (11 bits)	Pan (11 bits)	MS (11 bits)
Resolução Geométrica	0,51 m	2,44 m	0,46 m (nadir) 0,51 m (off nadir)	1,8 m (nadir) 2,4 m (off nadir)	1 m	4 m	1 m	4 m	1 m	4 m	0,41 m	1,84 m
Resolução Espectral (nm)	450-900	450-620 (az) 520-600 (vd) 630-690 (vm) 760-900 (IvP)	400-900	400-480 (coastal) 460-510 (az) 510-580 (vd) 595-625 (am) 630-690 (vm) 705-745 (vm edge) 770-895 (IvP 1) 860-1040 (IvP 2)	450-900	450-620 (az) 520-600 (vd) 630-690 (vm) 760-900 (IvP)	450-900	450-620 (az) 520-600 (vd) 625-695 (vm) 760-900 (IvP)	450-900	450-620 (az) 520-600 (vd) 625-695 (vm) 760-900 (IvP)	450-900	450-620 (az) 520-600 (vd) 625-695 (vm) 760-900 (IvP)
Tamanho da cena ou Faixa imageada	16,5 x 16,5 km		16 km	16,4 km	11 x 11 km ²		8 x 8 km ²		15 x 15 km ²			
Altura da órbita	450 km		450 km	770 km	681 km		470 km		694 km			

Obs: Pan: pancromático; MS: multiespectral; IvP: infravermelho próximo; Ivm: infravermelho médio; IvT: infravermelho termal; SWIR: short wavelength infrared; az: azul; vd: verde; vm: vermelho; am: amarelo.

Tabela 2: Principais missões de satélites: em operação e projetos futuros
Fonte: Adaptado de Ehlers (2007)

Satélite / Sensor	Resolução Espacial	Escala
QuickBird	0,7 m	1 : 3.500
IKONOS II	1 m	1 : 5.000
	4 m	1 : 20.000
SPOT 3 e 4 (PAN)	10 m	1 : 50.000
SPOT 3 e 4 (XS)	20 m	1 : 50.000 – 1 : 100.000
SPOT 5 (PAN)	2,5 m	1 : 10.000
	5,0 m	1 : 25.000
LANDSAT 7 (ETM)	15 m	1 : 75.000
LANDSAT (TM)	30 m	1 : 100.000
CBERS	20 m	1 : 50.000 – 1 : 100.000

Tabela 3: Proposta de relação entre a resolução espacial (no terreno) e a escala.
 Fonte: Konecny (1996) *apud* Silva e Dalmolin (1998) e International Hydrographic Organization (2005).

2.4 SISTEMAS SENSORES E SUAS CARACTERÍSTICAS

Aronoff (2005) agrupa os sistemas sensores em três categorias: câmeras fotográficas, sensores eletrônicos passivos e sensores eletrônicos ativos (RADAR, LIDAR e SONAR¹⁴). A resolução e a cobertura dos sistemas de sensoriamento remoto variam com a tecnologia e a plataforma.

Segundo Lillesand *et al.* (2004) a detecção da energia eletromagnética pode ser feita fotograficamente ou eletronicamente. O processo de fotografia¹⁵ usa reações químicas sobre uma superfície de filme foto-sensível, ou seja, sensível à luz, para detectar a variação de energia dentro de uma cena. Os sistemas fotográficos oferecem vantagens, tais como: são relativamente simples e de custo baixo, além de propiciarem um alto grau de detalhamento espacial e integridade geométrica. Os sensores eletrônicos captam um sinal elétrico que corresponde às variações de energia na cena original. Um exemplo familiar de um sensor eletrônico é a câmera de vídeo. Embora muitas vezes mais complexo e oneroso do que o sistema fotográfico, os sensores eletrônicos oferecem as vantagens de uma larga faixa espectral de sensibilidade com superior potencial para calibração, e permite armazenar e transmitir dados eletronicamente.

Os sensores eletrônicos realizam medidas em diferentes intervalos do espectro eletromagnético, e podem fazê-lo de diferentes maneiras. Quanto à fonte de energia são classificados em passivos e ativos. O sensor passivo mede a radiação solar refletida pela superfície terrestre e também é capaz de medir a radiação termal da Terra. Por sua vez, o sensor ativo mede a radiação relativa à faixa das microondas, que são emitidas pelo próprio sistema sensor, e mede-se, então, a intensidade do

¹⁴ RADAR: Radio Detection and Ranging; LIDAR: Light Detection and Ranging; SONAR: Sounding Navigation and Ranging.

¹⁵ No sensoriamento remoto, o termo 'fotografia' é reservado exclusivamente para imagens que são detectadas e gravadas em filme. O termo mais genérico 'imagem' é usado para qualquer representação pictorial de dado de imagem. Portanto, uma gravação pictorial proveniente de um scanner termal (um sensor eletrônico) pode ser chamada de 'imagem termal', mas não de 'fotografia termal', porque o filme não é o mecanismo de detecção original da imagem. Isto nos permite concluir que o termo imagem é relativo a qualquer produto pictorial, e que toda fotografia é uma imagem, entretanto, nem toda imagem é uma fotografia (LILLESAND *et al.*, 2004).

retorno desta energia depois de refletida na superfície terrestre (NOVO, 1992, e PENIDO, 1998).

Os sistemas sensores são caracterizados por sua resolução, que é uma habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou objetos próximos espacialmente (NOVO, 1992). A resolução é classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal. Aronoff (2005) destaca que ao selecionar uma imagem, essas quatro componentes da resolução devem ser consideradas. As componentes da resolução são:

- **Resolução espacial:** mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Corresponde à capacidade dos sensores de detectarem objetos de diferentes dimensões e formas. Conforme exemplifica Novo (1992), um sistema sensor que possui uma resolução espacial de 30 metros, significa que objetos distanciados entre si menos de 30 metros não são, em geral, discriminados pelo sistema. Portanto, quanto menor (numericamente) a resolução espacial do sistema, maior será o poder de resolução desse sistema (NOVO, 1992). Em sensoriamento remoto a resolução espacial de uma imagem é dada em função do campo de visada do sensor – IFOV (Instantaneous Field of View), que define a área abrangida pela imagem. Em termos práticos, atribui-se a unidade de medida de distância sobre o terreno – GSD (Ground Sample Distance.) em função do ângulo de abertura do IFOV e da altitude do sensor (MATHER, 2004). Para Lillesand *et al.* (2004), a resolução espacial de um sensor é uma indicação de quão bem este sensor pode discriminar detalhes espaciais.
- **Resolução espectral:** mede a largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Ela corresponde ao número e ao intervalo das bandas espectrais medidas pelo sistema sensor (NOVO, 1992). De acordo com Mather (2004) a posição no espectro eletromagnético, largura e número de bandas espectrais determina o grau com que alvos individualizados (espécies vegetais, plantações, tipos de rochas, etc.)

podem ser discriminados em uma imagem multiespectral¹⁶. E além disso, o uso de imageamento multiespectral conduz a um grau mais apurado de poder de discriminação do que a utilização de uma única banda espectral. Novo (1992) apresenta o exemplo de um sistema sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm . Este sensor tem uma resolução espectral maior que um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,6 μm . Isto porque ele será capaz de registrar pequenas variações no comportamento espectral em regiões mais estreitas do espectro eletromagnético.

- **Resolução radiométrica:** refere-se ao número de níveis de quantização digital usado para expressar o dado coletado por um sensor. No geral, quanto maior o número de níveis de quantização, maior a quantidade de detalhes nas informações coletadas pelo sensor (MATHER, 2004). É expressa em termos de “*bits*” necessários para se representar o intervalo de intensidade da reflectância disponível na cena imageada. Corresponde, portanto, à quantidade de níveis de cinza¹⁷ ou níveis digitais com os quais a imagem é representada. Ela depende da sensibilidade do sistema sensor (NOVO, 1992). Por exemplo, um sensor com 6 *bits* de resolução radiométrica apresenta 64 possíveis níveis de quantização, enquanto que um sensor com 8 *bits* apresenta 256¹⁸.
- **Resolução temporal:** refere-se à capacidade do sistema sensor de voltar a imagear uma mesma região da superfície terrestre. Ela é quantificada pelo intervalo de tempo mínimo entre diferentes aquisições.

Meneses e Madeira Neto (2001) afirmam que as diferenças em termo de resoluções espaciais e espectrais entre as fotografias e as imagens são o motivo para serem

¹⁶ Uma imagem multiespectral consiste em imagens de um mesmo objeto, tomadas com diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas, ou seja, a informação é coletada simultaneamente em várias bandas do espectro eletromagnético (LILLESAND *et al.*, 2004).

¹⁷ O termo nível de cinza refere-se a uma medida escalar de intensidade que varia do preto às diferentes tonalidades de cinzas, e finalmente ao branco (GONZALEZ e WOODS, 2000).

¹⁸ Sensor com 6 bits de resolução radiométrica: $2^6 = 64$; sensor com 8 bits de resolução radiométrica: $2^8 = 256$. Os níveis de cinza são representados em uma base binária, i.é, base 2, maiores detalhes em Mather (2004), capítulo 3.

usados diferentes métodos de interpretação, e um dos fatores que influenciam a escolha entre um sistema e outro. Nas fotografias aéreas a resolução espectral é considerada ruim porque o filme registra de maneira integrada a radiação refletida de uma ampla faixa espectral, dificultando a diferenciação dos objetos pela análise de suas reflectâncias, expressas em níveis de cinza nas fotografias preto e branco. Em contrapartida, os sensores fotográficos possuem ótima resolução espacial, geralmente da ordem de 1 a 3 metros, o que possibilita maior precisão de análise dos atributos de forma, tamanho e textura dos objetos, auxiliados, ainda, por uma visão tridimensional estereoscópica. Nas imagens multiespectrais, é a resolução espectral, isto é, o número de bandas por região espectral que é muito boa, permitindo que os objetos possam ser identificados ou discriminados por meio de suas diferenças de reflectância.

Como ainda não se dispõe de uma tecnologia capaz de operar em alturas orbitais, sistemas sensores que tenham conjuntamente altas resoluções espaciais (1 a 3 metros) e espectrais (mais de 100 bandas), tem sido mais comum optar por um ou por outro sistema sensor. Embora sensores orbitais pancromáticos¹⁹, com 1 metro ou menos de resolução espacial, já se encontrem em operação, há ainda certa preferência pelos sistemas sensores que operam simultaneamente em diferentes regiões do espectro eletromagnético, gerando imagens em diferentes bandas espectrais. Nesse caso, a opção é por valorizar os atributos das propriedades espectrais dos objetos, sobre os espaciais. Por essa razão, a análise ou a interpretação das imagens dos objetos registradas por um sensor imageador multiespectral, obrigatoriamente exige do intérprete conhecimentos sobre como os alvos se comportam espectralmente ao longo dos diversos intervalos de comprimento de onda da radiação eletromagnética: visível, infravermelho, termal e microondas (MENESES e MADEIRA NETO, 2001).

Segundo Nóbrega (2007) a terceira geração de satélites teve início a partir dos anos 90, com o desenvolvimento de sensores de resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal mais apuradas. De acordo com Blaschke *et al.* (2007), são os denominados satélites de resolução métrica, como por exemplo, o IKONOS II, o

¹⁹ Sensível a todas as cores do prisma (vide figura 4), bem como ao infravermelho e ao ultravioleta.

QuickBird e algumas missões futuras (vide tabela 2). Esse desenvolvimento foi possível graças ao final da Guerra Fria e, conseqüentemente, pelo relaxamento das severas legislações governamentais sobre a soberania dos Estados envolvidos no sensoriamento remoto.

Para Jacobsen (2004) as imagens de satélite de alta resolução estão hoje em dia enfrentando uma competição com as imagens (fotografias) aéreas. Apenas os aspectos econômicos e a disponibilidade das imagens estão influenciando a decisão de usar os diferentes tipos de imagem. A tendência para as imagens com alto poder de resolução (com menores GSD) é contínua e crescente, e novos satélites estão sendo anunciados. Todavia, devido aos elevados custos de implementação, a maioria dos sistemas é usada para aplicações militares e governamentais, uma vez que sem os contratos militares e com os órgãos governamentais as companhias privadas não poderiam sobreviver.

2.5 INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Ao se observar fotografias aéreas e imagens espaciais, podem ser vistos vários objetos de diferentes tamanhos e formas. Alguns desses objetos podem ser prontamente identificados, enquanto que outros não, dependendo do grau de percepção individual e experiência do intérprete. Quando é possível identificar o que se está observando na imagem e comunicar esta informação a outrem, o que se está fazendo é a interpretação da imagem (LILLESAND *et al.*, 2004).

Algumas décadas atrás a interpretação visual de imagens restringia-se basicamente a fotografias aéreas, pois as imagens de satélite possuíam baixo poder de resolução espacial, o que tornava muito limitada qualquer interpretação visual. No entanto, atualmente, as habilidades essenciais que um fotointérprete aplica em fotografias em papel podem ser igualmente aplicadas para imagens digitais oriundas de sensoriamento remoto orbital. Segundo Campbell (2005) em virtude dessas mudanças o título fotointérprete, a rigor aplicável apenas a fotografias, torna-se restritivo, embora ainda utilizado informalmente. O autor sugere outras designações com analista de imagens ou intérprete de imagens. Muito embora as análises automatizadas de imagens tenham evoluído muito em sofisticação, elas devem ser usadas conjuntamente com a análise humana.

As fotografias aéreas e as imagens orbitais contêm detalhes das características da superfície terrestre na data de sua aquisição. Um analista de imagens examina sistematicamente as imagens e, freqüentemente, outros materiais de apoio como mapas e relatórios de observação de campo. Baseado nesses estudos conjuntos é que uma interpretação visual é feita. O sucesso de uma análise de imagem varia de acordo com o treinamento e experiência do analista, com a natureza dos objetos ou fenômenos a serem interpretados, e com a qualidade das imagens utilizadas. Além disso, é importante que o intérprete possua um completo entendimento do fenômeno que está sendo estudado, bem como conheça a região geográfica objeto do estudo (LILLESAND *et al.*, 2004).

Segundo Campbell (2005) e Sausen (2007), o procedimento de análise de imagens requer o conhecimento de oito elementos de interpretação de imagens que formam a estrutura para o entendimento do significado de uma imagem:

- **Forma:** refere-se aos contornos da feição. Algumas feições possuem contornos característicos que indicam suas identidades ou funções. É importante notar que a forma, como observada em imagens aéreas, depende da perspectiva com que foi adquirida. As formas de objetos vistos de cima (produtos de sensoriamento remoto) diferem grandemente das formas observadas ao nível do solo. Da mesma maneira, a perspectiva vista de cima introduz o efeito de escala, ou seja, essas imagens permitem que sejam observadas grandes feições. De outra maneira não seria possível perceber o tamanho real dessas feições por meio da perspectiva normal de um ser humano. A figura 12 ilustra um estádio de futebol, que por sua forma peculiar (contornos característicos), é de fácil identificação visual.



Figura 12: Imagem de satélite: estádio de futebol, São Paulo, SP, Brasil.
Fonte: Google Earth

- **Tamanho:** refere-se às dimensões da feição, tanto em termos absolutos como relativos. O tamanho relativo é determinado pela comparação do objeto com outras feições familiares que podem estar por perto. Geralmente o

tamanho relativo é suficiente para designar um objeto como pertencente a uma classe geral de feições (por exemplo: um veículo). O tamanho absoluto, por sua vez, refere-se ao uso da imagem para fazer medições em unidades de extensão, geralmente para designar um objeto como pertencente a uma classe específica (por exemplo: um automóvel marca X modelo Y), ou para cálculos de distâncias, volumes ou áreas.

- **Cor e Tonalidade:** refere-se ao brilho médio de uma área, ou no caso de cor ou cor infravermelha²⁰ da imagem é a coloração dominante na região. Ao se observar a tonalidade nas imagens de sensoriamento remoto deve-se notar que ela depende da natureza da superfície imageada e dos ângulos de observação e iluminação. A tonalidade relaciona-se com a intensidade de energia eletromagnética refletida por um tipo de feição na superfície da Terra, em um determinado comprimento de onda do espectro eletromagnético. Ou seja, a tonalidade está estreitamente ligada com o comportamento espectral das diferentes coberturas da superfície terrestre. Em produtos de sensoriamento remoto as diferentes quantidades de energia refletida pelos alvos estão associadas a tons ou níveis de cinza. Quanto mais energia um alvo reflete, mais energia é captada pelo sensor, e o alvo será associado a um tom de cinza claro. Caso contrário, se o alvo presente na superfície terrestre reflete pouca energia, o sensor capta pouca energia e esse alvo será associado a tons escuros de cinza. Porém, o olho humano é mais sensível a cor do que a tons de cinza. Segundo Gonzales e Woods (2000) em análises desempenhadas por seres humanos (em contraposição às análises automatizadas), a motivação para o uso de cores é que o olho humano é capaz de discernir milhares de tons e intensidades de cores, enquanto que pode discernir apenas duas dúzias de tons ou níveis de cinza. Devido à estrutura do olho humano todas as cores são vistas como combinações variáveis das três cores primárias em fonte de luz ou cores-luz²¹: vermelho, verde e azul (essas cores formam o sistema RGB, do idioma inglês red -

²⁰ Do original “color infrared” – CIR (CAMPBELL, 2005).

²¹ Cores-luz são as que provêm de uma fonte luminosa direta. São elas que iluminam nossas vidas, como a luz do Sol, a de uma vela, a de uma lâmpada ou a de uma descarga elétrica. Sua tríade é constituída pelo vermelho, verde e azul (PEDROSA, 2003).

vermelho, green - verde e blue - azul). A mistura das três cores-luz primárias: vermelho, verde e azul. Em intensidades corretas e por síntese denominada aditiva essas cores produzem a luz branca (figura 13) (GONZALEZ e WOODS, 2000 e PEDROSA, 2003).

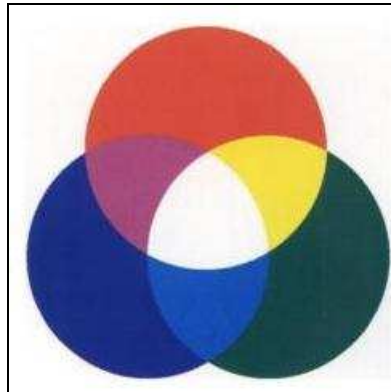


Figura 13: Cores-luz primárias
Fonte: Pedrosa (2003), p.29.

Portanto, para facilitar a interpretação visual dos dados de sensoriamento remoto são associadas cores aos tons de cinza, conforme pode ser percebido na figura 14 que mostra o encontro das águas dos rios Solimões (azul) e Negro (preto) formando o rio Amazonas.



Figura 14: Imagem LANDSAT TM
Fonte: SAUSEN (2007).

- **Textura:** refere-se à variação de tonalidade sobre a superfície ou à aparente rugosidade ou suavidade de um alvo em uma imagem de sensoriamento remoto. A textura em uma imagem é percebida por meio de micro-sombras

provenientes de pequenas irregularidades na superfície. Por exemplo, um pavimento de boa qualidade aparece com uma textura suave porque as irregularidades são tão pequenas que não são capazes de criar sombras perceptíveis nas escalas de trabalho normalmente usadas. Uma floresta, por outro lado, é caracterizada por uma textura rugosa, criada por micro-sombras das folhas e galhos que formam um padrão rústico alternando trechos claros e escuros (CAMPBELL, 2005). A figura 15 ilustra a textura em uma imagem de região agrícola, onde é possível a distinção entre as respostas espectrais de variadas plantações. Textura suave (escura) indica a plantação de alfafa pronta para a colheita. Texturas mais rugosas indicam padrões de plantação e o uso de maquinário agrícola para cultivar e colher as lavouras. Padrões manchados indicam variação em termos de drenagem e padrões de umidade no interior das plantações.

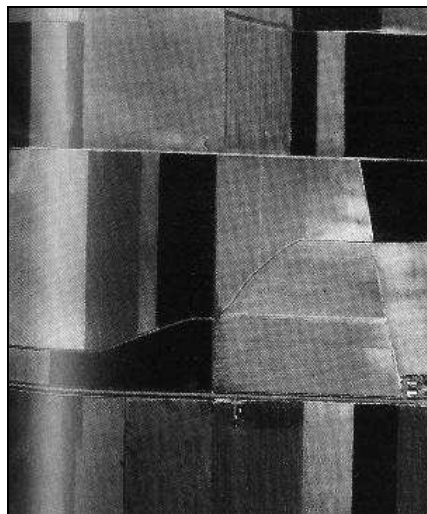


Figura 15: Textura em uma imagem de região agrícola.
Fonte: Campbell (2005), p. 263.

- **Sombra:** refere-se às grandes sombras que revelam os contornos de um alvo projetado sobre uma superfície plana. A natureza da sombra está intrinsecamente ligada à natureza do objeto, ângulo de iluminação, perspectiva e declividade da superfície do terreno. Por exemplo, uma sombra que se projeta em uma superfície com grande grau de declividade ascendente ou descendente aparecerá mais longa ou mais curta do que uma sombra que se projeta em uma superfície plana. Do mesmo modo, o ângulo de incidência dos raios solares provoca diferentes sombras, ou seja, baixos ângulos de

incidência de raios solares criam sombras longas, e altos ângulos (Sol na posição vertical, por volta do meio dia) criam sombras curtas (CAMPBELL, 2005). A figura 16 ilustra a sombra do Obelisco em Washington, EUA. A sombra do monumento destaca-se na imagem, encobrindo qualquer alvo “embaixo” dela. O tamanho e a inclinação da sombra fornecem indícios sobre o horário e a época do ano em que a imagem foi adquirida.

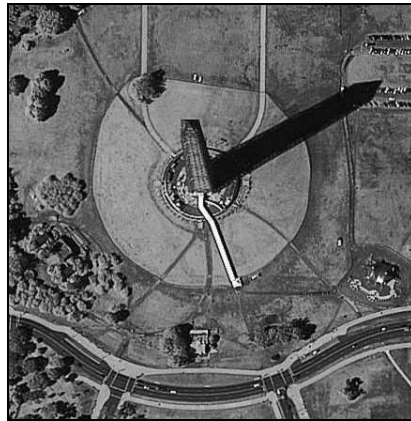


Figura 16: Imagem IKONOS do Obelisco em Washington, EUA.

Fonte: http://www.geog.ucsb.edu/~jeff/115a/lectures/elements_aids_and_techniques.html

De um modo geral o relevo sempre provoca uma sombra do lado oposto a incidência solar, fazendo com que estas áreas apresentem tonalidades escuras na imagem, dificultando assim a caracterização dos alvos que estão “atrás” das sombras na superfície terrestre (SAUSEN, 2007). A figura 17 traz uma imagem do satélite sino-brasileiro CBERS, que apresenta nuvens em branco e as sombras das nuvens em preto. As sombras confundem-se com a tonalidade preta da água do açude que se localiza na porção inferior da imagem.



Figura 17: Imagem CBERS.

Fonte: Sausen, 2007.

- **Posicionamento:** refere-se à posição do alvo no que se refere à topografia e drenagem. Muitas feições devido à suas funções inerentes devem ocupar específicas posições topográficas. Por exemplo, caixas d'água e redes de telecomunicação, tais como antenas de microondas e de telefonia celular, são posicionadas nas mais altas posições topográficas. Redes de tratamento de esgoto são posicionadas nas mais baixas cotas topográficas. Usinas de energia térmica ou nuclear (comum nos EUA, porém quase que inexistentes no Brasil) são posicionadas nas proximidades de corpos d'água, para que se tenha fonte de água para o resfriamento dos equipamentos das usinas. A história da interpretação visual de imagens é caracterizada por muitos exemplos em que o posicionamento contribuiu para uma identificação bem sucedida de redes de serviços de funções desconhecidas (CAMPBELL, 2005).
- **Associação:** refere-se às diferentes inter-relações espaciais entre feições, geralmente devido a conexões funcionais entre os componentes em questão. Por exemplo, um grande estacionamento lotado de veículos é associado com grandes shoppings centers ou hipermercados, e no mais das vezes são particulares indicadores para a interpretação visual desses alvos (CAMPBELL, 2005). A figura 18 mostra como a associação pode ser usada como um elemento de interpretação de imagens, no caso de um shopping center, que pode ser identificado pela associação com grandes áreas de estacionamento de veículos ao redor do agrupamento de grandes edifícios.



Figura 18: Elementos de interpretação de imagens: associação.
Fonte: Campbell (2005), p. 264.

- **Padrão:** refere-se ao arranjo espacial de feições em particular. Exemplos típicos incluem os pomares, onde as árvores são alinhadas em filas, e o posicionamento sistemático de lápides em cemitérios (CAMPBELL, 2005). Este conceito indica que um alvo apresenta uma organização peculiar que o distingue de todos os outros. Em estudos de bacias de drenagem o padrão de drenagem é um elemento importante, pois ele está associado ao tipo de solo, rocha e estrutura geológica na área de estudo (figura 19), (SAUSEN, 2007).

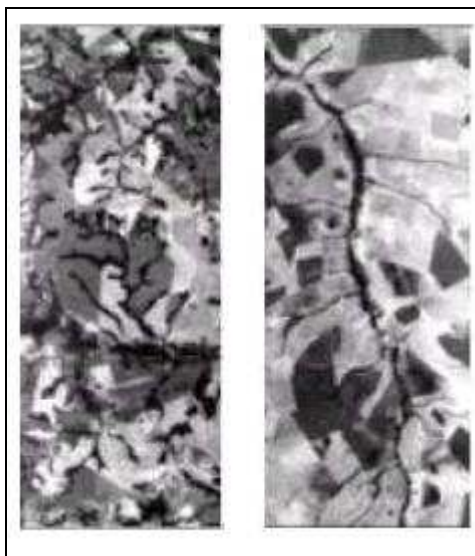


Figura 19: Imagem do sensor AVIRIS apresentando dois padrões de drenagem diferentes.
Fonte: Sausen (2007).

As técnicas de análise de imagens aplicam os elementos de interpretação de imagens de uma maneira que auxilie o intérprete a extrair informações úteis da imagem. A classificação de imagens, muitas vezes, designa objetos em classes baseando-se nos elementos de interpretação de imagens. Frequentemente a distinção é feita de acordo com três níveis de confiança e precisão. A detecção é a determinação da presença ou ausência de uma feição. O reconhecimento implica que o intérprete pode deduzir um conhecimento mais específico da feição em questão, que pode então ser designada em uma categoria particular. A identificação significa que o intérprete pode colocar a feição em uma classe minuciosamente definida (CAMPBELL, 2005).

Embora haja uma demanda crescente por processos automáticos de classificação, grande parte de suas aplicações necessita das técnicas de interpretação visual da

imagem, seja como produto final ou para seleção de amostras de treinamento para extração de informações (NÓBREGA, 2007).

A interpretação visual de imagens proporciona acesso a uma ampla gama de informações incluindo uso do solo, sistemas de transporte, agricultura, hidrografia e análise de vegetação.

2.6 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

O processamento digital de imagens envolve a manipulação e interpretação de imagens digitais com o auxílio de um computador. O processamento digital de imagens teve o seu início na década de 1960 no Jet Propulsion Laboratory – JPL da NASA, sediado em Pasadena, na Grande Los Angeles, com o objetivo específico de obter o máximo de informações das imagens enviadas de volta a Terra pelas espaçonaves não tripuladas de exploração lunar e planetária. No entanto, não foi antes do lançamento do satélite LANDSAT 1, em 1972, que os dados de imagens digitais tornaram-se amplamente disponíveis para aplicações de sensoriamento remoto. Naquela época não apenas a teoria e a prática do processamento digital de imagens estavam engatinhando, como também o custo dos computadores era demasiado alto e sua eficiência computacional bastante limitada comparando-se com os padrões atuais. Atualmente, os custos diminuíram consideravelmente, a eficiência computacional aumentou dramaticamente e as fontes de dados de imagens digitais são bastante variadas (LILLESAND *et al.*, 2004).

O interesse em métodos de processamento de imagens digitais advém de duas áreas principais de aplicação: melhoria de informação visual para a interpretação humana e o processamento de dados de cenas para percepção automática através de máquinas (GONZALEZ e WOODS, 2000).

O processamento digital de imagens é uma área extremamente ampla, e que muitas vezes envolve procedimentos que podem ser matematicamente muito complexos. Portanto, o objetivo aqui é introduzir os princípios básicos do processamento digital de imagens sem entrar no mérito dos detalhados e complexos procedimentos matemáticos, que estão muito bem apresentados em Gonzales e Woods (2000).

Imagem digital é definida como uma matriz bidimensional de números inteiros que corresponde a medidas discretas de radiância espectral de uma área. Cada ponto dessa matriz é denominado “*picture element*” ou abreviadamente *pixel*.

O processamento de imagens consiste em uma série de procedimentos para a produção de novas imagens a partir da imagem pré-existente. Isto envolve todas as operações aplicáveis a qualquer tipo de imagem, e.g., imagens brutas adquiridas a partir de sensores remotos; imagens contaminadas por ruído, tal como nuvens e sombras; imagens distorcidas pelo mal funcionamento do sensor, instabilidade da plataforma em que o sensor está embarcado, etc. O propósito geral do processamento de imagem é preparar o dado de imagem para que este possa ser melhor utilizado nas etapas subseqüentes de interpretação e extração de informações (GONG, 2006).

Algumas técnicas de processamento digital modificam o valor de cada *pixel* independentemente do valor dos *pixels* vizinhos e são chamadas operações pontuais. Outras levam em consideração os *pixels* vizinhos e são chamadas operações locais.

Segundo Lillesand *et al.* (2004), a idéia central atrás do processamento digital de imagens é bastante simples. A imagem digital é introduzida no computador *pixel* a *pixel*. O computador é programado para inserir esses dados em uma equação ou série de equações, e então armazena os resultados dos cálculos de cada pixel. Esses resultados formam uma nova imagem digital que pode ser visualizada ou gravada em um formato pictorial ou pode ser mais tarde novamente manipulada por programas adicionais. As possíveis formas de manipulação de dados de imagens digitais são literalmente infinitas. No entanto, teoricamente todos esses possíveis procedimentos podem ser categorizados em um ou mais dos sete grandes tipos de operações assistidas por computador:

- Retificação e restauração da imagem;
- Realce na imagem;
- Classificação de imagens;
- Fusão de dados e integração com SIG;
- Análise de imagens hiperespectrais;
- Modelagem biofísica;
- Transmissão e compressão de imagens.

Tais procedimentos encontram-se pormenorizados em Crósta (1993), Castleman (1996), Marques Filho e Vieira Neto (1999), Gonzales e Woods (2000), Pantaleão (2003), Lillesand *et al.* (2004), Batista e Dias (2005), Lima *et al.* (2005), Petrie (2005), Sartori Neto *et al.* (2005), Richards e Jia (2006) e INPE (2007).

No entanto, os procedimentos de classificação de imagens e de fusão de dados e integração com SIG são descritos, pois são objetivos do presente estudo. Os resultados e as conclusões oriundos deste trabalho dependem do procedimento de classificação de imagens e da fusão desta com SIG.

2.6.1 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

O sensoriamento remoto, desde o seu surgimento, visou empregar procedimentos automatizados de reconhecimento de padrões e extração de informação. Técnicas de classificação de imagens de sensoriamento remoto, hoje tidas como tradicionais, desenvolvidas nas décadas de 1970, 1980 e 1990, utilizam informações extraídas dos *pixels* (chamada classificação *pixel a pixel*). Esta metodologia se desenvolveu numa época onde as resoluções dos sensores atingiam alguns metros (por exemplo, o satélite francês SPOT com resolução espacial de 10 metros, e a série de satélites norte-americanos LANDSAT com 30 metros de resolução espacial), e poucas bandas espectrais.

Segundo Nóbrega (2007) as inovações tecnológicas utilizadas permitiram avanços nas resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. Em função dessa melhoria uma maior riqueza de detalhes das feições presentes na superfície terrestre pode ser visualizada nas imagens de satélite. Percebe-se que o poder de discriminação entre alvos aumenta quando se utiliza um maior número de faixas espectrais e, aliado ao fato dessas faixas serem mais estreitas, há uma redução bastante considerável da informação redundante entre diferentes faixas ou bandas. Com o aumento da resolução radiométrica os detalhes são mais preservados, notadamente em áreas urbanas. Por sua vez, a melhora do poder de resolução espacial propicia uma melhor discriminação dos objetos presentes na cena, além de

contribuir para a redução do problema da mistura espectral dos pixels (NEUBERT e MEINEL, 2007 e DE KOK *et al.*, 2003; *apud* NÓBREGA, 2007).

Com o advento de sensores de alta resolução espacial tornou-se possível a detecção de feições urbanas a partir de imagens de satélite, porém a acurácia do processo de classificação de imagens deixou a desejar. A principal causa é a alta variação espectral que ocorre no cenário urbano quando observado em uma imagem com pixels de 1m, o que implica na alta variância dos elementos internos a cada classe (intraclasses). Também, ocorre a alta variação de dados interclasses, devido à semelhança espectral entre pixels de classes diferentes (confusão espectral, como por exemplo, telha cerâmica e solo exposto, rua suja com cimento e lajes de concreto, etc). Para Schiewe e Tufte (2007), em função da melhoria da resolução espacial, pode haver um aumento da variabilidade interna, ou seja, do ruído²² interno dentro das classes de cobertura do solo. Como resultado, os classificadores tradicionais, baseados apenas nas informações espectrais dos *pixels* têm seus desempenhos reduzidos.

Em virtude dessas intercorrências, surgiram as técnicas de classificação de imagens por orientação a objetos, que consideram não apenas as informações espectrais dos *pixels*, mas o contexto e a geometria dos objetos. Além da informação espectral pura, as imagens por orientação a objetos são caracterizadas por um número adicional de informações, tais como as relativas à textura e forma. A possibilidade de extrair informações das imagens por orientação a objetos em qualquer escala escolhida é uma importante característica em termos de operações práticas: a resolução da imagem por orientação a objetos pode ser adaptada para a solução do problema específico que se tem em mãos (BAATZ e SCHÄPE, 1999). A introdução, (no processo de interpretação e classificação da imagem), de informações provenientes do conhecimento do analista sobre as feições representadas na

²² Definição de ruído: para que um objeto real tenha sua imagem armazenada em um computador, um sistema precisa ser capaz de efetuar duas etapas: capturar a imagem e transmiti-la para o computador. É relativamente comum que, em alguma das duas etapas, haja uma falha, acrescentando à imagem desejada uma outra, periódica, de período pequeno. Analisando tal imagem como um sinal, o fato de ser periódica e com período pequeno sugere que, no domínio da frequência, a mesma tenha alguns valores muito grandes para frequências altas. Essas frequências altas, total ou parcialmente dominantes, são chamadas ruído.
(<http://www.visgraf.impa.br/Courses/ip00/proj/Deconv/ruído.htm>)

imagem para compor as regras de decisão (para se compor a classificação), tem mostrado uma melhoria significativa na discriminação de alvos urbanos (GERKE, 2002; BALTSAVIAS, 2004; HEIPKE *et al.*, 2004).

Segundo Nóbrega (2007) a base de conhecimento passa então a ser utilizada para apoiar a criação das regras e das estratégias de classificação nas imagens, sobretudo no ambiente urbano. Essa modelagem vai além do emprego de informações numéricas extraídas dos elementos. Relacionamento entre elementos vizinhos e sua interação no ambiente urbano passam a ter papel importante e decisivo. A classificação de imagens, que tradicionalmente visa discriminar classes de cobertura do solo, passa também a inferir sobre o uso do solo. No entanto, vale ressaltar que o modelo classificatório baseado em informações contextuais é, mais do que nunca, um processo supervisionado e, como tal, é altamente dependente de um analista.

Classificação de imagens, segundo Rees (1999) *apud* Nóbrega (2007), é o processamento no qual decisões quantitativas são tomadas com base nas informações presentes na imagem, através do agrupamento de *pixels* ou regiões da imagem em classes que representem diferentes padrões de cobertura do solo, visando como saída o mapeamento temático extraído da imagem.

A classificação de imagens é definida em função do padrão de processamento dos dados, ou seja, reconhecimento do padrão espectral, espacial ou temporal, recorrendo, respectivamente, a análises da reflectância dos *pixels* nas diferentes bandas, análises da relação espacial entre os *pixels* e a análise das diferenças entre duas ou mais cenas tomadas em épocas diferentes (LILLESAND *et al.*, 2004).

Segundo Lillesand *et al.* (2004) o objetivo geral da classificação de imagens multiespectrais é categorizar automaticamente todos os *pixels* pertencentes a uma imagem dentro de classes ou temas de cobertura do solo, gerar mapas ou imagens temáticas e servir como fonte de dados para um sistema de informações geográficas (SIG).

Em geral, dados multiespectrais são usados para fazer a classificação e, além deles, os padrões espectrais presentes dentro dos dados para cada pixel são usados como a base numérica para a categorização. A base conceitual para classificação de imagens reside no fato de que classes de cobertura terrestre diferentes possuem propriedades de reflectância diferentes. Ocorre, porém, que muitas classes de cobertura terrestre têm propriedades de reflectância que se assemelham ou até mesmo se sobrepõem, dificultando a separação e classificação das mesmas. A maioria dos métodos de classificação avalia a semelhança de padrões espectrais usando alguma medida de distância entre os *pixels* do espaço espectral (NOGUCHI, 2004).

Atualmente, como anteriormente enfatizado, o procedimento de classificação de imagens de sensoriamento pode ser realizado por meio de duas principais abordagens: a abordagem *pixel a pixel* e a orientada a objetos. Segundo Crósta (1993) a maioria das técnicas disponíveis de classificação (abordagem *pixel a pixel*) se baseiam apenas no agrupamento de valores de intensidade espectral, representados pelos níveis de cinza presentes na imagem. Ainda segundo o autor, sabe-se que o conteúdo de informação de uma imagem de sensoriamento remoto se baseia tanto na intensidade (nível de cinza ou cor) de cada *pixel* individual, como no arranjo espacial dos *pixels* (textura e forma) e suas relações de vizinhança, como é o caso da abordagem orientada a objetos.

2.6.1.1 CLASSIFICAÇÃO PIXEL A PIXEL

Este processo de classificação de imagens pode ser desenvolvido através de métodos supervisionados e não supervisionados:

2.6.1.1.1 Classificação supervisionada

Neste método o usuário identifica alguns dos *pixels* pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais *pixels* pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística (paramétrica) e/ou geométrica (não-paramétrica) pré-estabelecida (CRÓSTA, 1993). É esse o

procedimento utilizado com maior freqüência para análise quantitativa de dados de imagens de sensoriamento remoto.

A classificação supervisionada é desenvolvida com base em amostras de treinamento, ou seja, os *pixels* da imagem são classificados segundo regras. Em seguida esses pixels são comparados aos padrões de classes previamente obtidos em uma fase em que o operador as define (NÓBREGA, 2007). Segundo Campbell (2005) a classificação supervisionada é informalmente definida como o processo no qual amostras de identidade conhecida são utilizadas para classificar pixels de identidade desconhecida. Nesse processo um analista identifica na imagem as classes de informação de seu interesse e separa regiões que melhor representem estas classes. Dentro dessas regiões ele separa áreas de treinamento que contêm os pixels que serão usados como representantes da classe. A partir destes pixels são extraídas determinadas características das classes, que serão usadas para a classificação dos demais pixels (MÁXIMO e FERNANDES, 2005).

Essa técnica de classificação, no entanto, exige do analista um controle sobre o processo, isto acarreta vantagens e desvantagens, como por exemplo, o analista tem condições de identificar possíveis imprecisões graves pela análise das áreas de treinamento; em contrapartida o analista impõe uma determinada estrutura de classificação aos dados, por meio da definição prévia das classes de informação. Mas estas classes podem não corresponder às classes reais existentes na cena imageada, ou não ser separáveis no espaço n-dimensional (CAMPBELL, 2005; MÁXIMO e FERNANDES, 2005).

Segundo Noguchi (2004) os passos práticos essenciais para uma classificação supervisionada são:

- Decidir o conjunto de tipos de cobertura de solo ou classes de informação (área urbana, água, vegetação, etc.), dentro dos quais a imagem deverá ser classificada. Esta decisão depende do tipo de aplicação prática que se deseja, e qual é a natureza e o tipo dos dados que se dispõem para as análises.

- Selecionar *pixels* como representantes de cada classe desejada. Esses *pixels* são os dados de treinamento. Os conjuntos de treinamento de cada classe podem ser estabelecidos utilizando visitas a campo, análise de mapas, fotografias aéreas ou até mesmo fotointerpretação de um produto colorido formado por dados da imagem. Parâmetros estatísticos multivariados (médias, desvios padrões, matrizes de covariância, matrizes de correlação, etc.) são calculados para cada conjunto de treinamento. Cada pixel, pertencente ou não aos conjuntos de treinamento, é então avaliado e designado como pertencente à classe que ele possua a maior probabilidade de ser membro (JENSEN, 1996). O objetivo do treinamento é definir um padrão de resposta espectral para cada classe a ser classificada na imagem a partir de estatísticas. É importante que as amostras usadas como conjunto de treinamento sejam bastante homogêneas e representem toda a variação possível dentro da classe. Quando são utilizadas técnicas estatísticas de classificação, as amostras de treinamento devem ser grandes o suficiente para que possa ser feita a estimativa das características espectrais da classe de interesse (NOGUCHI, 2004). A qualidade do processo de treinamento determina o sucesso do processo de classificação supervisionada (QUINTANILHA, 2004).
- Calcular os parâmetros de determinado algoritmo, utilizando os dados de treinamento. Estes parâmetros podem ser as propriedades de probabilidade do modelo utilizado ou podem ser utilizados em equações que definirão as separações no espaço espectral. O conjunto de parâmetros de uma determinada classe é muitas vezes chamado de assinatura de tais classes.
- Utilizar o classificador treinado para nomear cada *pixel* da imagem dentro de um dos tipos desejados de cobertura terrestre (classes de informação), classificando toda a imagem.
- Produzir uma tabela sumarizada ou mapa temático (classe) que resuma os resultados da classificação. O mapa temático é na verdade uma imagem comum, formada por uma única banda, em cima da qual os pixels atribuídos a cada classe são exibidos em cores ou tons de cinza distintos. Normalmente, a

classificação é feita em cima de três ou mais bandas espectrais, fazendo uso do poder de discriminação adicional que elas oferecem (CRÓSTA, 1993).

Alguns dos algoritmos de classificação supervisionada mais utilizados são: o do paralelepípedo, o da distância mínima, o da máxima verossimilhança (MaxVer), classificador Mahalanobis, classificador em cascata, e função de adesão com grau de confiança. Maiores detalhes se encontram nas referências a seguir: Crósta, 1993; Jensen, 1996; Lillesand *et al.*, 2004; Campbell, 2005; Máximo e Fernandes, 2005.

Estes procedimentos podem ser aplicados a qualquer número de bandas. A figura 20 exemplifica o procedimento de classificação de imagem supervisionada:

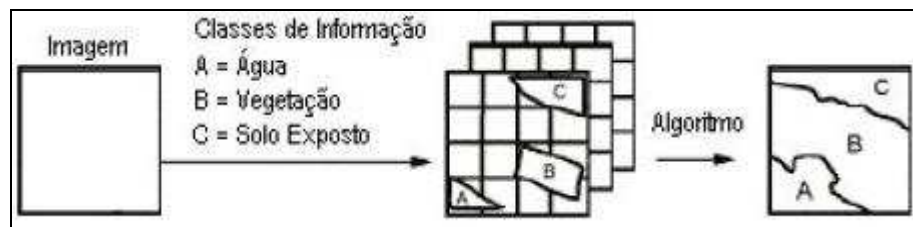


Figura 20: Representação da classificação supervisionada.
Fonte: Noguchi, 2004.

2.6.1.1.2 Classificação não-supervisionada

Este tipo de classificação é desenvolvido sem que o operador especifique os padrões que irão compor as classes. Com isso, são requeridos cálculos computacionais para definir os agrupamentos dos padrões espectrais similares. Fica a cargo do operador, basicamente, definir o rótulo das classes ou, quando necessário, o número de classes (NÓBREGA, 2007).

Essa classificação baseia-se no princípio de que o computador (na realidade, o *software* utilizado) é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados (CRÓSTA, 1993).

Os classificadores não-supervisionados não baseiam a classificação em amostras de treinamento. Pelo contrário, esta família de classificadores envolve algoritmos que examinam os *pixels* “desconhecidos” de uma imagem e os agregam em um

certo número de classes baseado nos agrupamentos naturais (*clusters*) presentes nos valores da imagem.

A premissa básica é que os valores dos *pixels* dentro de um dado tipo de cobertura devem estar perto uns dos outros, ou sejam, formam um agrupamento no espaço, enquanto que dados de classes diferentes estão, comparativamente, bem separados (LILLESAND *et al.*, 2004).

As classes resultantes da classificação não-supervisionada são classes espectrais, pois os *pixels* da imagem, como já enfatizado, são agrupados com base somente nos valores de nível de cinza da imagem (agrupamentos naturais), e a identidade das classes espectrais *a priori* não são conhecidas pelo analista (RICHARDS e JIA, 1999; LILLESAND *et al.*, 2004).

Este procedimento de classificação utiliza determinado algoritmo, conforme alguns critérios definidos, para determinar o número e localização das classes espectrais. O analista identifica essas classes *a posteriori*, analisando as assinaturas espectrais para determinar o que cada classe é ou representa, podendo ser necessária a verificação através de dados de referência disponíveis que poderiam incluir mapas e visitas a campo.

Esse tipo de classificação é a opção mais adequada quando a área investigada é desconhecida, ou quando suas características não estão bem definidas (JENSEN, 1996, LILLESAND *et al.*, 2004). Muitas vezes, o usuário das imagens desconhece a quantidade de agrupamentos espectrais presentes na imagem, bem como o valor de dispersão interna ou de distância entre grupos (NOGUCHI, 2004). Assim sendo, a classificação não supervisionada pode ser útil também para determinar a composição da classe espectral dos dados antes da análise detalhada pela utilização de métodos de classificação supervisionada, sendo possível avaliar a potencialidade de discriminação das classes.

Alguns dos algoritmos estatísticos de classificação não supervisionada mais conhecidos são o do k-médias (*k-means*), o do líder, e o da busca pelo pico do histograma (NISHIDA, 1998).

A figura 21 ilustra o procedimento da classificação não-supervisionada:

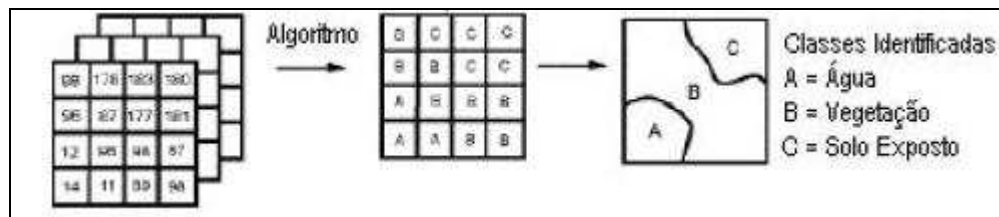


Figura 21: Representação da classificação não-supervisionada.
 Fonte: Noguchi, 2004.

2.6.1.1.3 Classificação híbrida

Trata-se da utilização conjunta das duas formas de classificação inicialmente descritas: a supervisionada e a não supervisionada. Normalmente, a utilização de um processo de classificação inicial não supervisionado, favorece a obtenção de informações a respeito dos dados, que serão posteriormente utilizados em procedimentos de classificação supervisionada mais elaborados. Técnicas de classificação híbridas podem, portanto, ser consideradas relativamente mais eficientes e confiáveis do que técnicas de classificação, supervisionada ou não supervisionada, utilizadas isoladamente (NISHIDA, 1998).

Os modelos tradicionais de classificação de imagens recorrem à análise dos valores (números digitais) dos *pixels* nas bandas espectrais utilizadas. Independente do classificador adotado, as diferentes respostas espectrais atribuídas aos *pixels* nas diferentes bandas são, em geral, analisadas em conjunto (ou apenas as bandas espectrais mais representativas) utilizando o espaço multidimensional de atributos (NÓBREGA, 2007).

Segundo Shackelford e Davis (2003), os esquemas de classificação por *pixel* visam identificar a classe de cada *pixel* na imagem por meio de comparações do vetor n-dimensional de dados de cada elemento com o padrão de cada classe. Embora a classificação estatística seja o procedimento convencional mais utilizado para a análise de imagens, constituindo-se um processo de análise dos *pixels* de forma isolada, ele apresenta a limitação da análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais. Muitas das feições presentes no cenário urbano, como ruas,

edificações e estacionamentos podem possuir respostas espectrais similares, devido à composição do material. Ademais, os *pixels* dessas imagens podem conter informações de diversas classes, ou seja, são os denominados *pixels* mistos. Como conseqüência, o emprego de técnicas baseadas somente nas informações pontuais dos *pixels* promove classes espacialmente descontínuas (NÓBREGA, 2007).

É inegável que a introdução das imagens de alta resolução reduziu o problema dos “pixels mistos”, porém como ressaltado anteriormente, isto acarretou um grande aumento da variabilidade e o ruído interno dentro de classes quase homogêneas. Para Nóbrega (2007), as concepções convencionais de classificação de imagem encontram-se próximas de seus limites, sendo seus principais problemas a alta homogeneidade interclasses e a alta heterogeneidade intraclasses. Schiewe e Tufte (2007) e Baatz *et al.* (2004) *apud* Nóbrega (2007), ressaltam que a adoção de classificadores *pixel a pixel*, além de apresentar problemas devido à natureza do procedimento para imagens de alta resolução espacial, não favorece a tendência atual de integração entre o sensoriamento remoto e SIG.

2.6.1.2 CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS

Na abordagem orientada a objetos, um problema ou aplicação é representado por uma coleção de objetos que possuem características próprias e interagem entre si. Na classificação os objetos com a mesma estrutura de dados (atributos) e com o mesmo comportamento (operações) são agrupados em uma classe. Uma classe é uma abstração que descreve propriedades importantes para uma aplicação e ignora o restante. Qualquer escolha de classes é arbitrária e depende da aplicação. Cada classe descreve um conjunto possivelmente infinito de objetos individuais. Cada objeto é dito ser uma instância de sua classe. Cada instância da classe tem seu próprio valor para cada atributo, mas compartilha os nomes de atributos e operações com outras instâncias da mesma classe (RUMBAUGH *et al.* 1994). A figura 22 mostra duas classes e alguns de seus respectivos objetos representativos de instâncias. Um objeto contém uma referência implícita à sua própria classe; ele “sabe que tipo de coisa ele é”.

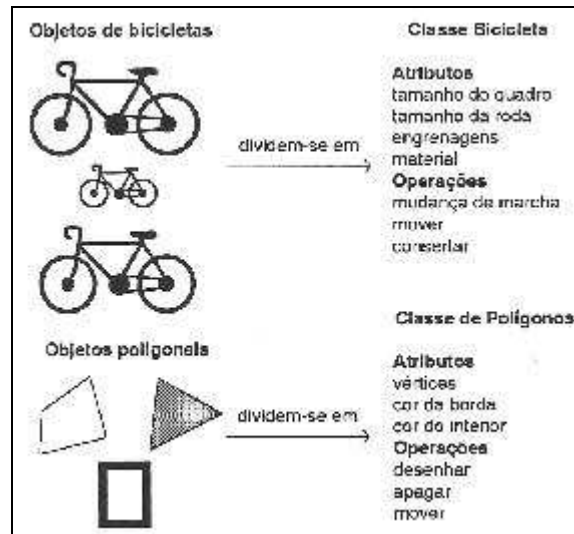


Figura 22: Objetos e classes.
 Fonte: Rumbaugh *et al.* (1994)

Porém, para a definição propriamente dita de classificação de imagens orientada a objetos é necessário antes introduzir os conceitos relativos a modelagem por objetos.

2.6.1.2.1 Técnica de Modelagem de Objetos

Segundo Rumbaugh *et al.* (1994) uma modelagem orientada a objetos consiste na construção de um modelo de um domínio da aplicação e na posterior adição a este dos detalhes de implementação durante o projeto de um sistema. Essa abordagem é chamada de Técnica de Modelagem de Objetos (TMO), e possui as seguintes etapas:

- **Análise:** partindo do enunciado do problema, o analista constrói um modelo da situação do mundo real. Modelo este que mostra apenas as propriedades relevantes presentes no mundo real.
- **Projeto do sistema:** o projetista de sistemas toma decisões de alto nível relativamente à arquitetura geral. Durante o andamento do projeto, o sistema-alvo é organizado em subsistemas baseados tanto na estrutura da análise como na arquitetura proposta.

- Projeto dos objetos: o projetista de objetos constrói um modelo de projeto baseado no modelo de análise, mas contendo detalhes de implementação. O enfoque do projeto de objetos são as estruturas de dados e os algoritmos necessários à implementação de cada classe.
- Implementação: as classes de objetos e os relacionamentos desenvolvidos durante o projeto de objetos são por fim traduzidos para uma determinada implementação em uma linguagem de programação, em um banco de dados ou em hardware.

A metodologia TMO faz uso de três tipos de modelos para descrever um sistema: o modelo de objetos, que descreve os objetos do sistema e seus relacionamentos; o modelo dinâmico, que descreve as interações entre os objetos do sistema; e o modelo funcional, que descreve as transformações de dados do sistema. A descrição completa de um sistema exige todos os três modelos. O desenvolvimento orientado a objetos inverte a metodologia precedente baseada em funções. Naquelas metodologias, a ênfase principal repousa na especificação e decomposição da funcionalidade do sistema. Em contraste, a abordagem orientada a objetos preocupa-se primeiro em identificar os objetos contidos no domínio da aplicação e depois em estabelecer os procedimentos relativos a eles. Por esse motivo um *software* orientado a objetos mantém-se melhor à medida que os requisitos evoluem, por se apoiar na própria estrutura fundamental do domínio da aplicação, ao invés de apoiar-se nos requisitos funcionais de um único sistema (RUMBAUGH *et al.* 1994).

Existem diversas características fundamentando a tecnologia orientada a objetos. Embora essas características não sejam exclusivas dos sistemas orientados a objetos, elas são especialmente bem amparadas nesses sistemas.

Os objetos já existentes são utilizados para produzir novos objetos, tornando essa metodologia mais poderosa que as metodologias tradicionais de desenvolvimento de sistemas. Fundamentalmente o que se deseja com esta metodologia são basicamente duas características: reutilização do código e modularidade de escrita (LEITE e RAHAL JÚNIOR, 2002).

Segundo Booch (1991), um modelo não será puramente orientado a objetos na falta de qualquer um de seus quatro conceitos básicos, a saber: abstração, encapsulamento, polimorfismo e hierarquia ou herança. Modelos que utilizam alguns dos conceitos de orientação a objetos são chamados de modelos híbridos de orientação a objetos.

Os conceitos básicos dos modelos O-O (orientados a objetos) são a seguir descritos:

- a. Abstração: consiste na concentração nos aspectos essenciais, próprios, de uma entidade e em ignorar suas propriedades acidentais. No desenvolvimento de sistemas, isso significa concentrar-se no que um objeto é e faz, antes de decidir como ele deve ser implementado. O uso da abstração preserva a liberdade de se tomar decisões evitando, tanto quanto possível, comprometimentos prematuros com detalhes. O uso da abstração durante a análise significa lidar apenas com conceitos do domínio da aplicação, e não ter de tomar decisões sobre o projeto e a implementação antes do problema ser compreendido (RUMBAUGH *et al.* 1994).
Nesse contexto, a abstração refere-se à capacidade de modelar o mundo real, e por outro lado, pode-se considerá-la como um mecanismo pelo qual restringimos o universo de análise e as variáveis e constantes que compõem esse universo, desprezando os dados que não interessam para a análise. É possível demonstrar o uso de abstração facilmente, quando se imagina uma mesa. Esta mesa imaginária provavelmente não será igual a outras imaginadas por outras pessoas, mas o que importa é que todas as pessoas que imaginaram uma mesa colocaram nela as informações necessárias para a sua função (de ser uma mesa). Não importa se a mesa é de três pés ou quatro, ou se o tampão é de vidro, madeira ou mármore. O que importa é que a imagem idealizada pelas pessoas é de uma mesa, e que esta tenha as informações necessárias para cumprir sua função (LEITE e RAHAL JÚNIOR, 2002).

- b. Encapsulamento: também chamado de ocultamento de informações, consiste na separação dos aspectos externos de um objeto, acessíveis por outros objetos, dos detalhes internos da implementação daquele objeto, que ficam ocultos dos demais objetos.

O encapsulamento impede que um programa se torne tão interdependente que uma pequena modificação possa causar grandes efeitos de propagação. A implementação de um objeto pode ser modificada sem que isso afete as aplicações que o utilizam. Pode-se modificar a implementação de um objeto para melhorar o desempenho, eliminar um erro, consolidar um código ou para transferências (RUMBAUGH *et al.* 1994). O encapsulamento é a base de toda a abordagem da programação orientada a objetos; isto porque contribui fundamentalmente para diminuir os malefícios causados pela interferência externa sobre os dados. Partindo desse princípio, toda e qualquer transação feita com esses dados só pode ser feita através de procedimentos colocados "dentro" desse objeto, pelo envio de mensagens.

Desta maneira, dizemos que um dado está encapsulado quando envolvido por código de forma que só é visível na rotina onde foi criado; o mesmo acontece com uma rotina, que sendo encapsulada, tem suas operações internas invisíveis às outras rotinas. É possível visualizar a utilidade do encapsulamento pensando em um vídeo cassete, onde há os botões de liga-desliga, para frente, para trás, etc. Estes botões executam uma série de operações existentes no aparelho, que são executadas pelos componentes existentes dentro do aparelho (transistores, cabos, motores, etc.). Não interessa ao operador saber como é o funcionamento interno do equipamento; esta informação só é relevante para os projetistas do aparelho. As informações pertinentes ao usuário do equipamento são as existentes no meio externo (botões, controle remoto) que ativam as operações internas do equipamento. Desta maneira o aparelho de vídeo cassete pode evoluir com os avanços tecnológicos, e as pessoas que o utilizam continuam sabendo utilizá-lo, sem a necessidade de um novo treinamento. Na área de *software* acontece o mesmo: as classes podem continuar evoluindo,

com aumento de tecnologia, e os programas que utilizam essas classes continuam compatíveis. Isto ocorre porque para esses programas não interessa saber como é o funcionamento interno da classe e sim sua função, para que ele possa executar, ao passo em que ela evolui, novas funções colocadas à sua disposição (LEITE e RAHAL JÚNIOR, 2002).

- c. Polimorfismo: significa que a mesma operação pode atuar de modos diversos em classes diferentes. Uma operação é uma ação ou transformação que um objeto executa ou a que ele está sujeito. Uma implementação específica de uma operação por uma determinada classe é chamada método. Como um operador orientado a objetos é polimórfico, pode haver mais de um método para sua implementação (RUMBAUGH *et al.* 1994).

De maneira prática isto quer dizer que a operação mantém seu comportamento transparente para quaisquer tipos de argumentos; isto é, a mesma mensagem é enviada a objetos de classes distintas e eles poderão reagir de maneiras diferentes. Um método polimórfico é aquele que pode ser aplicado a várias classes de objetos sem que haja qualquer inconveniente. Um exemplo bem didático para o polimorfismo é dado por um simples moedor de carne. Esse equipamento tem a função de moer carne, produzindo carne moída para fazer bolinhos. Desse modo, não importa o tipo (classe) de carne alimentada; o resultado será sempre carne moída, não importa se de boi, de frango ou de qualquer outro tipo. As restrições impostas pelo processo estão no próprio objeto, definidas pelo seu fabricante e não pelo usuário do produto (LEITE e RAHAL JÚNIOR, 2002).

- d. Hierarquia ou herança: a herança da estrutura de dados e do seu comportamento permite que a estrutura comum seja compartilhada por diversas subclasses semelhantes sem redundâncias (RUMBAUGH *et al.* 1994).

A herança é um mecanismo que, se for bem empregado, permite altos graus de reutilização de código. Do ponto de vista prático, pode ser

entendido como sendo um conjunto de instâncias criadas a partir de um outro conjunto de instâncias com características semelhantes, e os elementos desse subconjunto herdam todas as características do conjunto original. A idéia é fornecer um mecanismo simples (mas muito poderoso) para que se definam novas classes a partir de uma pré-existente. Assim sendo, é dito que essas novas classes herdam todos os membros (propriedades + métodos) da classe-mãe; isto torna o mecanismo de herança uma técnica muito eficiente para construir, organizar e reutilizar código. Por isso, nas linguagens que não suportam esse mecanismo, as classes são criadas como unidades independentes: cada uma com seus membros concebidos do zero (sem vínculo direto com outras classes), o que torna o processo mais demorado e com códigos, às vezes, redundantes. A herança possibilita a criação de uma nova classe de modo que essa classe (denominada subclasse, classe-filha ou classe derivada) herde todas as características da classe-mãe (denominada superclasse, classe base ou classe primitiva), podendo ainda, a classe-filha, possuir propriedades e métodos próprios. No processo de herança é possível imaginar um ser humano, que nasce com todas as características de um ser humano sadio. Agora, coloque-se nele uma roupa e um relógio. A roupa e o relógio não fazem parte do ser humano, mas quando se utiliza este ser, vestido e com um relógio, e realiza-se o processo de herança, é gerada uma cópia idêntica da matriz. Caso se coloque um sapato preto no ser humano original, a sua cópia também ficará calçada, e se a camisa do ser humano original for trocada, a sua cópia também receberá a nova camisa. Isto demonstra que a cópia continua vinculada à matriz de origem. É possível fazer quantas cópias se deseje da matriz original, e todas estas cópias manterão o seu vínculo. Pode-se, até, fazer cópias das cópias, mas o processo de modificação da matriz original implicará numa mudança em todas as outras que estão abaixo dela. Nunca uma modificação feita nas cópias altera a matriz de origem, e nunca se pode remover um item que tenha sido recebido por intermédio da herança, isto quer dizer que nenhuma das

cópias (humanas) poderá se dar ao luxo de não ter o relógio (LEITE e RAHAL JÚNIOR, 2002).

2.6.1.2.2 Classificação de imagens orientada a objetos

Após a breve descrição a respeito da modelagem por objetos é possível definir o que é uma classificação de imagem orientada a objetos. Os classificadores de imagens orientados a objetos surgem como uma alternativa ao processo convencional de classificação pixel a pixel. Nesse tipo de classificação considera-se a delimitação de objetos homogêneos como base para o processamento posterior. A classificação passa a contar com informações extraídas desses objetos, como resposta espectral média, variância, dimensões, forma e textura. A classificação passa a ser influenciada não apenas pelas características dos objetos outrora definidas, mas também pelo contexto. As informações contextuais descrevem como um objeto de interesse pode ser afetado pelos objetos vizinhos. A classificação de imagens orientada por objetos tem como base um fluxo determinado de procedimentos, que se inicia, por exemplo, pelo emprego de técnicas de segmentação para a criação dos objetos. Definidos os objetos, extraem-se, indiretamente dos mesmos, informações espectrais e geométricas. Essa gama maior de informações passa a ser modelada considerando também informações contextuais, apoiando análises intra-objetos e interobjetos (NÓBREGA, 2007).

Portanto, conclui-se que classificação por objetos é aquela que utiliza, além das informações espectrais presentes nos *pixels* da imagem, as informações de contexto (dimensão, forma, textura, topologia) presentes nos objetos criados na imagem. A referência não é mais o *pixel*, mas sim o objeto (aglomerado de *pixels* com características semelhantes).

A utilização do conceito de objeto é peça chave neste tipo de análise de imagens, pois se parte do princípio de que a informação semântica necessária para a interpretação de uma imagem não está presente no pixel, e sim em objetos da imagem e nas relações existentes entre eles (DEFINIENS, 2003). Estes objetos são os segmentos, os quais são gerados a partir de um procedimento de segmentação.

Há ainda outras premissas importantes na análise orientada a objetos, a saber: (DEFINIENS, 2003; e PINHO, 2005):

- A caracterização dos objetos da imagem não pode limitar-se apenas a atributos espectrais, pois estes muitas vezes não conseguem delimitar objetos complexos como, por exemplo, o telhado de uma casa que possui grande variedade espectral dentro dos seus limites. Por isso, é necessária também a utilização de outros atributos como: forma, tamanho, textura, padrão e contexto. Em outras palavras, é necessário inserir o conhecimento do analista no sistema de interpretação da imagem.
- Os objetos de interesse que serão extraídos de uma determinada cena podem estar associados a diferentes níveis de abstração (diferentes escalas), e estes níveis devem estar representados no sistema de análise. Assim, em uma cena de um ambiente intra-urbano, existem pequenas residências familiares que se relacionam a um nível mais detalhado de escala, e áreas industriais com grandes construções, que se relacionam a uma escala mais grosseira.
- A descrição do espaço de atributos de uma determinada classe pode ser imprecisa, o que introduz incertezas na associação de um objeto a determinada classe. Esta incerteza precisa ser modelada, pois ela é parte do resultado da classificação (BENZ *et al.*, 2004 *apud* PINHO, 2005).

A figura 23 ilustra o fluxo dos procedimentos básicos na classificação de imagens orientada a objetos:

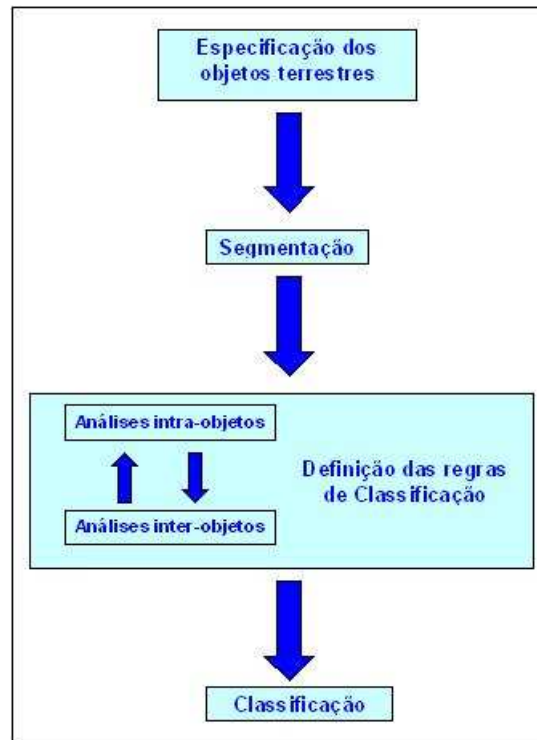


Figura 23: Fluxograma dos procedimentos adotados na classificação orientada a objetos
 Fonte: Nóbrega (2007)

2.6.1.2.3 Segmentação

O processo de segmentação tem por objetivo a criação de objetos significativos, i. e., a forma de cada objeto em questão deve ser representada idealmente por uma imagem em conformidade com este objeto. Esta forma, combinada ainda com propriedades derivadas de cor e textura, pode ser usada para inicialmente classificar a imagem por meio da classificação dos objetos gerados na imagem. Em consequência, as classes são organizadas dentro de uma hierarquia de classes. Cada classe pode apresentar sub- ou super-classes e portanto herdar suas propriedades de uma ou mais super-classes ou passá-las para suas sub-classes. Um número de pequenos objetos pode ser agregado para formar objetos maiores, construindo assim uma hierarquia semântica. Do mesmo modo, um objeto grande pode ser dividido em alguns objetos menores, e estão sujeitos às duas principais abordagens de análise de imagens: as abordagens “top-down” e “bottom-up”, para maiores detalhes ver Definiens, 2003 e Marangoz *et al.*, 2004.

Gonzalez e Woods (2000) descrevem a segmentação como a divisão da imagem em partes menores ou objetos de interesse, até que os mesmos sejam isolados. A automatização desse processo é considerada como uma das tarefas mais difíceis no processamento de imagens. Em algumas situações, como em aplicações industriais de inspeção, pode-se controlar o ambiente, minimizando possíveis problemas na imagem, uma vez que o ambiente é controlado. No entanto, em outras aplicações, como em imagens orbitais, não há controle sobre o ambiente natural, o que dificulta significativamente o processo.

Os algoritmos de segmentação de imagens digitais são usualmente baseados em duas propriedades: descontinuidade e similaridade. Simões (2000) *apud* Nóbrega (2007) menciona que na segmentação baseada em descontinuidade, a partição é baseada em alterações nos níveis da função da imagem, que são decorrentes das diversas situações na cena como, por exemplo, descontinuidade da normal das superfícies, descontinuidade em profundidade, descontinuidade na reflectância da superfície e descontinuidade de iluminação. A segmentação baseada em similaridade busca agrupar regiões com características semelhantes, como, por exemplo, texturas ou cores.

Segundo Simões (2000) *apud* Nóbrega (2007), no contexto da segmentação por similaridade, as abordagens tradicionais dividem-se em dois grupos: (1) as que fazem uso da relação topológica dos elementos da imagem, como o crescimento de regiões, e (2) as que não fazem uso de informação topológica, caso típico da imposição de limiares (*thresholding*).

Um dos algoritmos mais populares para a segmentação pela análise da vizinhança dos *pixels* é o crescimento de regiões (*region growing*). Gonzalez, Woods e Eddins (2004) e Gonzalez e Woods (2000) sugerem a segmentação por crescimento de regiões para agrupar os *pixels* pertencentes a uma determinada classe se o valor da diferença do nível de intensidade do *pixel* em questão para com o *pixel* vizinho de referência (denominado *pixel* semente) for menor que o valor pré-estabelecido. Embora o crescimento de regiões utilize limiares, vale ressaltar que a comparação do valor do *pixel* aos limiares leva em consideração a relação de vizinhança. Para cada *pixel* semente, são analisados seus vizinhos e, dentro das condições impostas

pelo limiar, o *pixel* analisado passa a fazer parte do agrupamento em formação. O processo é executado iterativamente até que nenhum *pixel* vizinho ao segmento apresente valor de intensidade característico da categoria formada (NÓBREGA, 2007).

O processo de segmentação de imagens, particularmente para o sensoriamento remoto, vem ganhando proporções significativas pelo aumento de sua demanda como etapa que antecede o processo de classificação. O uso de segmentação de imagens como uma etapa anterior ao processo de classificação é uma forma de superar algumas das limitações apresentadas pelos classificadores convencionais *pixel a pixel*. Desta forma, os segmentos gerados são utilizados para auxiliar a seleção das amostras de treinamento, em especial para imagens de maior resolução espacial.

Depois de definidos os objetos (segmentação) e as hierarquias, o processo de classificação dos objetos é efetuado por meio de regras de decisão. Dois fatores devem ser levados em consideração neste processo: quais atributos serão utilizados para diferenciar cada classe e qual tipo de regra de decisão será adotada para cada classe (PINHO, 2005).

2.6.2 FUSÃO DE DADOS E INTEGRAÇÃO COM SIG

De acordo com Mesev (2007), o interesse no sensoriamento remoto urbano vem sendo recentemente revigorado pelo contínuo debate a respeito da fusão com dados de SIG, e também pelo advento de dados provenientes de sensores satelitais de alta resolução espacial. A união de dados de SIG e sensoriamento remoto assume um importante papel em muitas metodologias contemporâneas para análises espaciais, notadamente no ambiente urbano. O autor cita alguns exemplos sobre a fusão operacional de dados de SIG e de sensoriamento remoto nas cidades, tais como: estimar mudanças da população, medir a verticalização e a densidade de edificações, calcular índices de qualidade de vida, e avaliar fluxo e circulação em sistemas de transporte. A fusão de dados de SIG com dados de satélites com

sensores de alta resolução espacial no ambiente urbano permite a identificação individual de edificações residenciais e empresariais (comércio e indústria), com um grau razoável de delimitação espacial.

Estes procedimentos de fusão de dados são usados para combinar dados de imagens de uma determinada área geográfica com outros conjuntos de dados geográficos referentes à mesma área. Esses outros conjuntos de dados podem ser outras imagens do mesmo local, porém adquiridas em datas diferentes, imagens de outros sensores ou de outro sistema de sensoriamento remoto, ou ainda, outro tipo de dado geográfico, ou seja, dados provenientes de outras fontes de informações no contexto de um sistema de informação geográfica. Por exemplo, dados de imagem são freqüentemente combinados com informações sobre o solo, informações topográficas, sobre propriedade ou domínio, zoneamento, informações sobre tributação, etc (LILLESAND *et al.*, 2004).

Muitas aplicações de processamento digital de imagens são realizadas por meio da fusão do conjunto de dados que cobrem a mesma área geográfica. Essa fusão pode estar ou não inserida dentro de um ambiente SIG. Um exemplo bastante comum é a fusão de dados multiresolução de um mesmo sensor (fusão entre as várias bandas de um sensor); pode-se citar os procedimentos de fusão dos dados do sensor do satélite IKONOS II, por meio da combinação da banda pancromática com 1 metro de resolução espacial com os dados das bandas multiespectrais com 4 metros de resolução espacial (LILLESAND *et al.*, 2004).

Pode-se ainda exemplificar o processo de fusão de dados com a combinação de dados de uma classificação automática da cobertura de solo com dados de erodibilidade do solo e informações sobre a declividade, em um ambiente SIG, para auxiliar no processo de mapeamento da erosão potencial do solo (LILLESAND *et al.*, 2004).

É bastante comum a utilização do dado raster (imagem) como um “pano de fundo” para a sobreposição dos dados vetoriais, como é ilustrado na figura a seguir. A imagem é o fundo necessário para a visualização e o entendimento dos dados vetoriais. No caso ilustrado pela figura 24, trata-se de uma imagem do satélite

SPOT, do ano de 2002, com 2,5 metros de resolução espacial, de uma área do município de Osasco – SP, que serve como “pano de fundo” para os dados vetoriais referentes à rede viária do município. É possível perceber a qualidade do dado vetorial que se sobrepõe bastante bem à imagem.



Figura 24: Imagem do satélite SPOT de 2002 e sobreposição dos dados vetoriais da malha viária do município de Osasco – SP - Brasil.

Fonte: Almeida (2006)

Portanto, há uma grande diversidade de forma e tipo de dados que podem ser combinados para caracterizar um procedimento de análise espacial.

Capítulo 3- SIG

“... pois a virtude dos mapas é essa, exibem a redutível disponibilidade do espaço, previnem que tudo pode acontecer nele e acontece”.

José Saramago – “Jançada de Pedra”

3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG

3.1 DEFINIÇÃO

O sistema de informação geográfica (SIG) é um poderoso sistema de ferramentas que permite a aquisição, armazenamento, manipulação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

Pode-se entender um sistema de informação geográfica como um subsistema do mundo real que o reflete dinamicamente em termos de alguns atributos selecionados. É um sistema que trata de informações sobre entes de expressão espacial, ou seja, aqueles para os quais localização, forma, posição, conectividade, etc são relevantes (RODRIGUES, 1987). Segundo Decanini (2001), o SIG é um caso específico de sistema de informação que manipula informações georreferenciadas.

Os SIG_s se propõem a “traduzir” o mundo real para o ambiente computacional, e para que isto seja possível, segundo Gomes e Velho (1995) *apud* Câmara *et al.*, (2004) é necessário o entendimento do paradigma dos quatro universos:

- O **universo do mundo real**, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema. É no mundo real que se encontram os fenômenos a serem representados no SIG (por exemplo, tipo de solo, cadastro urbano e rural, dados geofísicos e topográficos, e etc.).
- O **universo conceitual ou matemático**, que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a serem representadas. É aqui que se pode distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e especificar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos digitais de elevação, dados de sensoriamento remoto).

- O **universo de representação**, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador. Neste universo as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica²³ escolhida e a época de aquisição do dado. Aqui se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas, isto é, são passíveis de serem subdivididas. Essa subdivisão pode ser planar, grade triangular e outras (DECANINI, 2001).
- O **universo de implementação**, onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos, baseando-se em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que ocorre a codificação, ou seja, ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação. Aqui se escolhe as estruturas de dados, tais como árvores quaternárias e árvores-R²⁴, para implementar as geometrias do universo de representação.

A visão deste paradigma encontra-se ilustrada na figura 25:

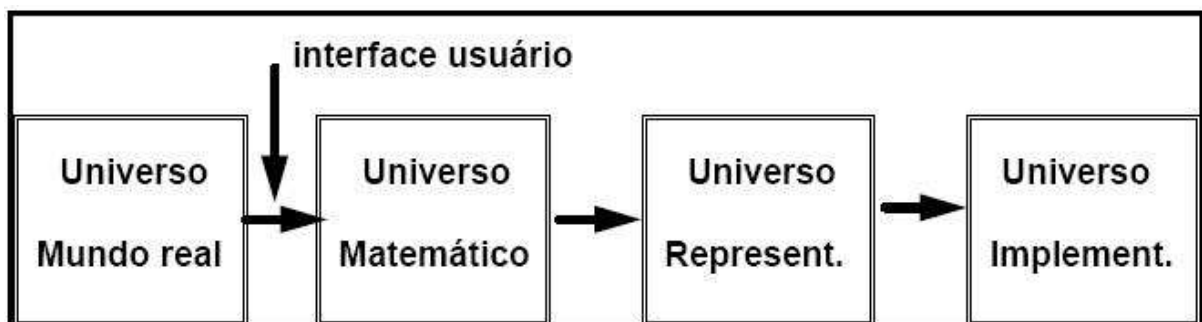


Figura 25: Paradigma dos quatro universos
Fonte: Câmara *et al.*, (2004).

²³ As projeções cartográficas são uma necessidade imposta devido à impossibilidade de representar uma superfície esférica (como a Terra) em uma superfície plana (como um mapa), sem provocar rupturas, estiramentos, dobras e outras deformações imprevisíveis. Desta forma, a projeção cartográfica é um sistema plano de meridianos e paralelos sobre o qual pode ser desenhada uma representação cartográfica (carta, mapa, planta). Uma projeção cartográfica determina a correspondência matemática biunívoca entre os pontos da esfera (ou elipsóide) e sua transformação num plano.
(Fonte: <http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/SITE-ANT/Cursos/SensoriamentoRemoto/Cartografia/aulas.htm>)

²⁴ Estruturas hierárquicas de dados espaciais. Maiores explicações e detalhes em Casanova *et al* (2005).

Segundo Câmara (1995) o termo sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano, redes de concessionárias (água, energia e telefonia), e redes de transporte, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG, a saber:

- Como ferramenta para a produção de mapas.
- Como suporte para análise espacial de fenômenos.
- Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

É importante enfatizar que estes três pontos de vista do SIG são convergentes e não conflitantes, pois eles refletem a importância do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição (CÂMARA, 1995).

Para os propósitos do presente trabalho adota-se a seguinte definição de SIG:

“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (ARONOFF, 1989 apud MAGUIRE et al. 1991).

Silveira *et al.* (2000) conceituam SIG como um sistema para se obter uma representação real de problemas. Esse sistema permite, de forma geral, armazenamento, manipulação, visualização e operação de dados tabulares e georreferenciados, de forma a simular diversos cenários e a facilitar a análise de alternativas auxiliando, assim, o processo de tomada de decisões.

O SIG é uma ferramenta para resolução de problemas de natureza geográfica (espacial), usada numa grande variedade de aplicações, (inclusive engenharia de transportes), e oferecem a possibilidade de manipular, analisar e apresentar dados de diferentes tipos de bases de dados, e ligar diferentes bases de dados diretamente a entidades espaciais (TIAGO *et al.*, 1999). O esquema de um SIG é apresentado a seguir na figura 26.



Figura 26: Esquema de um SIG
Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – EPUSP

O estudo de SIG vem se desenvolvendo nas últimas décadas como um tema multidisciplinar, e abarca áreas do conhecimento como a geografia, cartografia, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, ciências do meio ambiente e ciências da computação (WORBOYS, 1995).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SIG

Para Câmara (1995), as principais características dos SIG_s são:

“Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno”.

“Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise e para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados”.

Sistemas de informação espacial, como acentua Rodrigues (1987), são similares a outros sistemas de informação. Têm, entretanto, características distintas que justificam abordagem própria. Algumas dessas características são relacionadas a técnicas específicas de coleta e entrada de dados, tais como as relacionadas ao sensoriamento remoto e aos levantamentos de relevo e suas técnicas de conversão para o formato digital. Outras são relacionadas aos esquemas de representação e estruturação dos entes e atributos, às operações espaciais e à apresentação de dados. Por ser o espaço um meio de integração, há ainda particularidades de sistemas de informação espacial ligadas à integração de dados com diferentes características temáticas, temporais e espaciais. Estas particularidades emergem nos vários componentes de um sistema de informação espacial que, tipicamente, compreendem subsistemas funcionalmente distintos. Simplificadamente:

- **Subsistema gerencial:** abarca todos aqueles procedimentos e recursos utilizados no gerenciamento do sistema de informações propriamente dito. Estão aí as questões tais quais as de recursos humanos e financeiros, a administração de todos os outros subsistemas, o relacionamento organizacional com os fornecedores de dados e com os consumidores de informação.
- **Subsistema de coleta:** compreende todos os procedimentos e técnicas necessárias para a efetiva coleta de dados. Incorpora processos relacionados

aos levantamentos de campo, a aquisição de imagens de sensoriamento remoto, a absorção de dados de fontes secundárias, e assim por diante.

- **Subsistema de entrada:** abarca procedimentos e técnicas utilizadas na conversão de dados brutos em registros digitais, já incorporados ao sistema computacional. Compreende o recebimento e ordenação dos dados, o controle de qualidade, a codificação, a digitação ou digitalização, a edição e a efetiva incorporação dos dados.
- **Subsistema computacional:** engloba todos os programas e arquivos utilizados no armazenamento, recuperação, manipulação e apresentação dos dados. É este o núcleo computacional, tipicamente desenvolvido em torno de um sistema de gerenciamento de banco de dados. Rodrigues (1987) ainda salienta que:

“À semelhança do ocorrido com inúmeras áreas que sofreram o forte impacto da informática, no princípio o possível confundia-se com o factível. A esta maturação correspondeu um entendimento da componente computacional em sua devida proporção, como parte de um sistema maior e profundamente enraizado no organizacional”.

Atualmente, a necessidade por dados espaciais e análise espacial não se restringe mais a cientistas e pesquisadores que estudam o planeta Terra, como os ambientalistas, por exemplo. Planejadores urbanos e órgãos públicos que trabalham com cadastros precisam de informações detalhadas sobre a distribuição do solo e recursos naturais em pequenas localidades e também em cidades de porte médio e grande. Engenheiros civis necessitam planejar traçados de rodovias e canais, além de estimar custos de construção, incluindo os referentes a cortes e aterros. Departamentos de polícia precisam conhecer a distribuição espacial dos vários tipos de crime; instituições médicas e de saúde a distribuição das doenças; o comércio se interessa pela distribuição de pontos de revenda e consumidores em potencial. A enorme infra-estrutura necessária à vida urbana, as chamadas redes de utilidade como, por exemplo, água, gás, eletricidade, telefonia, sistema de esgoto, etc, todos precisam ser armazenados e manipulados em forma de mapas (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

O uso adequado de um SIG requer não apenas o investimento em *hardware* e *software*, mas também em treinamento de pessoal especializado para usar essa nova tecnologia no contexto organizacional adequado (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). No que tange ao treinamento de pessoal especializado, Silva *et. al.* (1997) alertam que se deve fazer distinção entre ensino de SIG e treinamento de SIG. A educação em SIG se refere à experiência com teoria de SIG e disciplinas afins. Treinamento em SIG envolve experiências práticas com operação de *hardware* e *software*. Nesse sentido são usados os termos conhecimentos e habilidades. O conhecimento é usado para descrever tópicos que o aprendiz deve saber e as habilidades para definir atividades que ele deve estar apto a realizar. Apesar desta distinção meramente formal, enfatiza-se que os usuários de SIG precisam de ambos.

O ponto forte dos SIG reside em sua flexibilidade. Eles podem representar formas e padrões espaciais irregulares, bem como as relações espaciais entre eles (GEERTMAN e VAN ECK, 1995).

O porquê da utilização de um SIG se verifica por ser um modelo único; a manutenção de dados é integrada, compacta e barata; o acesso é rápido; realiza análises, especulações, e outras atividades afins, que até então eram inviáveis; promove a incorporação de processos; apresenta melhores projetos, programas, controle, etc; e fornece um ambiente de integração de informações (RODRIGUES, 1998).

A troca de informações define a ligação entre o SIG e o sistema do mundo real: o SIG atua no ambiente, é ferramenta de gestão e operação e permite o monitoramento de eventos analisados. Por outro lado, observa dados de diversos atributos, assimila novas definições e promove a mensuração e classificação da informação gerada, permitindo seu refinamento ou expandindo sua atuação, fechando o ciclo (NUNES, 2004). A figura 27 representa o ciclo de informação de um SIG.

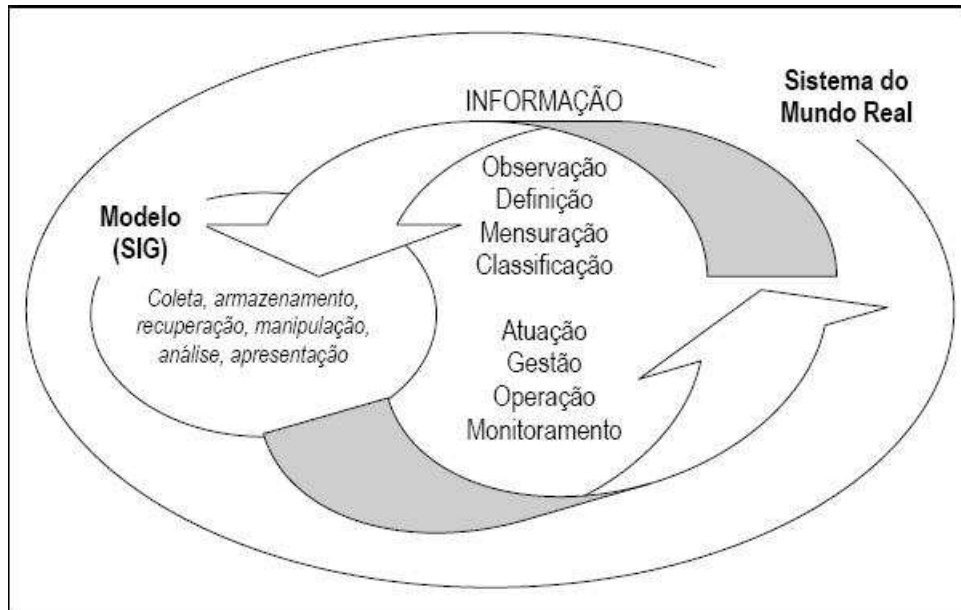


Figura 27: Ciclo de informação de um SIG.
 Fonte: Adaptado de Quintanilha (2003) e Nunes (2004).

A informação produzida por um SIG é organizada em camadas (*layers*) de mapas, relacionadas aos atributos do banco de dados, conforme se observa na figura 28. As camadas de informação ou *layers* permitem maior poder de análise, sendo o cruzamento dessas camadas a base do SIG.

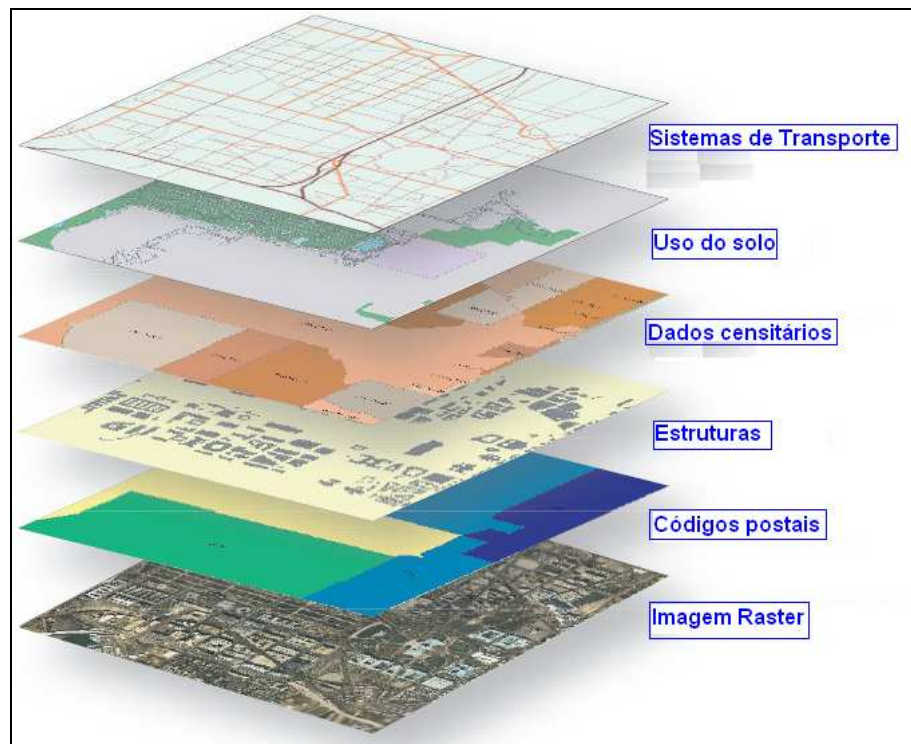


Figura 28: Camadas de informação em um SIG
 Fonte: Adaptado de < www.fpa.nifc.gov/.../images/gis_layers.jpg>

No que se refere ao planejamento de transportes, o SIG pode ser visto como um integrador de todas as atividades envolvidas no processo de planejamento, incluindo uma variedade de tópicos ligados à administração e manutenção do sistema de transportes existente, principalmente na antecipação de problemas futuros (SILVA *et al.* 1997). No entanto, como afirmam Lopes e Ferreira Filho (1999), apesar do SIG possuir um potencial para atuar num vasto espectro de atividades ligadas a transportes, notadamente como ferramenta de apoio de tomada de decisão, certos fatores, ainda hoje, contribuem para limitar seu uso por parte das instituições ligadas a transportes no país, tais como:

- A massa de dados de transportes é volumosa, diversificada, dispersa e, além disso, seu custo de coleta ou atualização é alto.
- Há poucos dados georreferenciados provenientes de fontes oficiais e os repositórios existentes estão voltados a nichos específicos, sistemas fechados ou soluções proprietárias.
- Não há padronização de procedimentos ou terminologias que orientem a definição e a coleta dos dados passíveis de geoprocessamentos.
- A interoperabilidade entre aplicativos SIG e Banco de Dados Relacionais (por exemplo: Oracle, SQL Server da Microsoft, Access, entre outros) é deficiente, dificultando a transposição de dados de um ambiente para o outro.
- Cada SIG implementa um modelo de dados diferente, induzindo o usuário à adoção de uma terminologia particularizada.

Em vista disso, muitas instituições que dependem de respostas precisas e oportunas para seus gerenciamentos de transporte não têm contado plenamente com o suporte de suas ferramentas SIG, pois os dados georreferenciados necessários não existem, estão incompletos ou não podem ser captados de outras fontes devido à heterogeneidade de atributos (LOPES E FERREIRA FILHO 1999). Por estas razões o SIG deve ser uma entidade que seja o reflexo de uma estrutura organizativa que integre a tecnologia com base de dados, conhecimentos periciais (pessoal especializado) e um contínuo apoio financeiro ao longo do tempo. Os procedimentos e metodologias que envolvam os SIG devem ser padronizados e provenientes de fontes oficiais e fidedignas.

No presente estudo o SIG atua como o integrador dos dados espectrais provenientes da classificação na imagem orbital de alto poder de resolução espacial, com as informações contextuais de forma, textura, dimensão, topologia, localização espacial, vizinhança, etc, presentes nos objetos gerados na imagem pelo processo de segmentação (procedimentos descritos no capítulo 7). É o SIG que torna possível, neste trabalho especificamente, a metodologia baseada em objetos para classificação da imagem.

Capítulo 4- ACESSIBILIDADE

“Accessibility ... is a slippery notion ... one of those common terms that everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it.”

Gould (1996)

4 ACESSIBILIDADE

Para Handy e Niemeier (1997), o que mantém a população residindo nas áreas metropolitanas é a acessibilidade, que se traduz como o potencial para interações sociais e econômicas. Trata-se da possibilidade de acessar, a partir de suas residências, uma enorme variedade de destinos, oferecendo um espectro de oportunidades para trabalho e lazer.

O conceito de acessibilidade faz sentido dentro do contexto de sistema de transporte. Morlok (1978), afirma que o sistema de transporte existe para que haja o deslocamento de um lugar para outro. As pessoas desejam ser transportadas de um local (origem), para outro (destino); similarmente ocorre com as cargas. Como o serviço de transportes não é onipresente e nem tão pouco homogêneo em tipo e qualidade, é essencial que as características das instalações fixas do sistema (i. e. terminais, vias e intersecções) sejam levadas em conta em todas as análises. O sistema de transporte é representado por uma rede²⁵, pois assim sendo, é possível descrever seus componentes e suas relações uns com os outros. Algumas das mais importantes características de um sistema de transporte são: distância percorrida, tempo de viagem e custo de viagem. São essas mesmas características que norteiam o estudo do tema acessibilidade.

A rede de transportes é uma das mais importantes redes de infra-estrutura. É através dela que a economia da sociedade “circula”. Qualquer intervenção que vise o aprimoramento e melhora de suas condições de operabilidade requer pesados investimentos financeiros, e demanda a mobilização de grandes esforços durante um longo período, principalmente por parte da administração pública, pois se trata de um processo capital intensivo²⁶ e o setor privado da economia não está disposto a correr os riscos inerentes às atividades do setor de transporte.

²⁵ Rede é um conceito que pode ser aplicado para descrever quantitativamente qualquer sistema que possua características espaciais. Morlok (1978) descreve o conceito de rede e seus elementos.

²⁶ Forma de produção em que a proporção do capital empregado é significativamente elevada em relação aos demais insumos ou fatores de produção, particularmente em relação ao custo do fator trabalho (SAMUELSON e NORDHAUS, 1990).

O poder público precisa, então, fazer uso de ferramentas que sinalizem que tais investimentos surtirão os resultados esperados. Ao se estimar os impactos causados pela implementação de uma nova rede de transportes, ou ainda, ao se avaliar o desempenho de uma rede de transportes já existente, é necessário entender o comportamento dessa rede. Nesse sentido, segundo Sanches (1996) e Handy e Niemeier (1997), o conceito de acessibilidade é particularmente apropriado para avaliar a qualidade das redes de transporte das cidades, pois ele é capaz de representar o fenômeno do tráfego urbano (pessoas, cargas e informações), devido ao fato de que o conceito de acessibilidade é uma função tanto dos padrões de uso do solo (características funcionais, sociais e físicas do espaço urbano²⁷) quanto das características do sistema de transporte. Segundo Goto (2000), o conceito de acessibilidade possibilita identificar áreas com desigualdades na oferta de infraestrutura básica de transportes.

De acordo com Raia Júnior (2000), o conceito básico subjacente na relação entre uso do solo e transporte é a acessibilidade. Em um contexto mais amplo, a acessibilidade está relacionada à facilidade de movimento entre lugares. Uma vez que o movimento se torna menos oneroso entre dois pontos (em termos de dinheiro ou tempo), aumenta-se o nível de acessibilidade. A propensão para interação entre dois lugares cresce com a queda do custo do deslocamento entre eles.

Isto pode ser evidenciado pela competição pelo solo urbano, que aumenta o preço do mesmo em locais com custos de transporte relativamente baixos. Este fato interfere na localização das empresas, que desejam os menores custos de transporte para recebimento de insumos e matéria-prima, escoamento da produção, deslocamento de funcionários e clientes, etc. (se todas as empresas tivessem o mesmo lucro em todos os locais, não haveria motivo para mudança de localidade), e na localização das residências, os habitantes desejam o menor custo de viagem casa/trabalho (se todas as residências alcançassem o mesmo nível de utilidade em todos os locais, não haveria motivo para mudança de localidade). É neste sentido que o conceito de acessibilidade é aplicável. Quanto maior o nível de acessibilidade

²⁷ Maiores detalhes em Faria *et al.* (2007).

de um local, menores são os custos de transporte envolvidos, e mais atrativa é essa localidade.

4.1 CONCEITO

Para os propósitos do presente estudo conceitua-se acessibilidade como uma medida de esforço para se transpor uma separação espacial caracterizada pelas oportunidades disponíveis ao indivíduo ou grupo de indivíduos, para que possam exercer suas atividades, tomando parte no sistema de transporte (ALLEN *et al.*, 1993; LIMA, 1998; SILVA, RAIA JÚNIOR e WAERDEN, 2000, RAIA JÚNIOR, SILVA e BOCANEGRA, 2001).

Quanto mais acessível for uma área para os usuários que nela exercem os vários tipos de atividades existentes (por exemplo: moradia, trabalho, saúde, educação, serviços, lazer), maior será o crescimento potencial desta área. A intensidade do desenvolvimento dos padrões de uso e ocupação do solo de uma localidade está relacionada com seu nível de acessibilidade (HANSEN, 1959).

Khisty e Lall (1998) afirmam que o conceito básico que repousa sob a relação entre uso do solo e transportes é a acessibilidade. A acessibilidade aumenta, tanto em termos de tempo quanto de dinheiro, quando o movimento se torna mais barato. Também, a propensão de interação aumenta enquanto o custo do movimento diminui.

Acessibilidade envolve a combinação de dois elementos: o posicionamento geográfico de possíveis locais de destinos, e as características da rede de transporte. O motivo para o estudo e entendimento do conceito de acessibilidade se deve ao fato de que, em termos econômicos, a acessibilidade incorre em minimização de custos de transporte, na medida em que o objetivo é a diminuição dos fatores de fricção ou impedância²⁸ ao deslocamento (VICKERMAN, 1974).

²⁸ Efeito friccional ou impedância são retardos incorporados nas distâncias de separação. Segundo a American Public Transportation Association (<http://www.apta.com/services/safety/glossary.cfm>) são fatores que se opõem ao movimento de pessoas, cargas ou de informação entre dois pontos. Em um modelo de transporte é um valor determinado empiricamente que expressa como os efeitos da separação espacial entre zonas são percebidos nas viagens intercambiáveis entre elas.

Literalmente, acessibilidade significa a capacidade de um local ser atingido, portanto, implica em uma medida de proximidade entre dois pontos. Alternativamente, a acessibilidade relaciona-se com a habilidade de um sistema de transporte ser capaz de promover, a um baixo custo e/ou no menor tempo possível, a transposição de uma separação espacial entre diferentes localidades. Portanto, acessibilidade pode ser definida como uma característica (ou vantagem) inerente de um local no que diz respeito a um modo de superação dos efeitos espaciais da fricção (por exemplo: tempo e/ou distância) (INGRAM, 1971).

Wingo (1972) *apud* Mouette (1998) argumenta que acessibilidade é uma qualidade relativa que favorece uma parcela de solo em virtude de sua relação com o sistema de transporte, que opera em um determinado nível de serviço. Para Engwicht (1992) *apud* Mouette (1998) acessibilidade é a facilidade com que as oportunidades de troca podem ser alcançadas. Em ambas as conceituações a noção de acessibilidade vai além da relação de distância, mas engloba a “facilidade” ou “dificuldade” de se chegar a determinado local. Envolve, além da distância a ser percorrida, o tempo necessário, a disponibilidade de transporte e as condições sob as quais será efetuado o deslocamento (MOUETTE, 1998).

A acessibilidade proporciona as oportunidades de interação entre pontos de origem e de destino, ou seja, ela disponibiliza os meios necessários para o acesso a locais de destino. Porém, isto não significa que o usuário vá necessariamente se valer desses meios e tomar parte no sistema de transporte. Acessar ou não os lugares é uma decisão subjetiva, da conveniência de cada indivíduo. Então, a acessibilidade refere-se aos lugares (o quão facilmente os locais podem ser alcançados), e não às pessoas (usuários do sistema de transporte).

O nível de acessibilidade entre dois pontos depende da separação espacial entre eles. Há uma alta correlação entre tempo de viagem, custo de viagem e distância percorrida. Todavia, o usuário do sistema de transporte penaliza mais o tempo de viagem do que a própria distância percorrida. Ou seja, ele se sujeita a percorrer uma distância maior até o seu ponto de destino, desde que isso implique em um menor tempo de viagem. Contudo, isto nem sempre está associado a uma redução do custo de viagem. Em vista disto, a unidade de medida mais representativa para se

medir a acessibilidade é o tempo de acesso aos locais de interesse (WAISMAN, 2004).

Pooler (1995), introduz a concepção de “convergência espaço-tempo”. Para o autor o tempo de viagem médio entre um conjunto de comunidades urbanas diminui na medida em que as tecnologias de transportem evoluem. Ou seja, uma melhora no nível de acessibilidade implica na redução dos tempos médios de viagem.

Handy (1993) afirma que a conceituação de acessibilidade consiste de duas partes:

- Um elemento de transporte ou fator de resistência que reflete a facilidade de viajar entre dois pontos em um espaço determinado pela característica e qualidade do serviço disponibilizado pelo sistema de transporte e medido em termos de distância percorrida, tempo de viagem e custo de viagem.
- Um elemento da atividade ou fator motivador, também denominado elemento espacial, que reflete a distribuição das atividades, tais como residências, locais de emprego, lojas, escritórios, hospitais, escolas, e assim por diante. Essa distribuição é caracterizada pela quantidade e localização de diferentes tipos de atividades. O elemento espacial pode ser também chamado de atratividade de uma localidade particular como um destino de viagem.

A acessibilidade é capaz de prover aos planejadores e tomadores de decisão um bom respaldo para a avaliação das implicações que novos investimentos causariam na vida cotidiana da população de áreas urbanas (HANDY e NIEMEIER, 1997).

A acessibilidade é um conceito bastante útil para estudos urbanos, para muitas aplicações de SIGs (GEERTMAN e VAN ECK, 1995; SHEN, 1998), e no que mais se refira a localizações em qualquer escala de análise (GOULD, 1996).

Hanson (1995) afirma que o transporte é vital para a moderna vida urbana, pois ele é absolutamente necessário para que se chegue a um fim, isto é, ele permite que as pessoas acessem e desenvolvam uma série de atividades indispensáveis para o andamento da vida cotidiana. Como as cidades são constituídas de unidades

especialmente separadas, e como a ocupação do solo é em geral especializada, ou seja, há as áreas residenciais, que estão afastadas das comerciais, que por sua vez estão afastadas das industriais, e assim por diante, as pessoas têm que viajar para que possam obter bens e serviços necessários.

Acrescentam Handy e Niemeier (1997) que o conceito de acessibilidade baseia-se em teorias de comportamento de viagem, em particular pela noção que viagem é uma demanda derivada. De acordo com Ortúzar e Willumsen (2004), a demanda por transporte é derivada porque não é um fim em si mesma. Com a possível exceção de um “*city tour*” que turistas fazem a bordo de grandes e confortáveis ônibus de turismo, com o objetivo de “conhecer” a cidade que estão visitando, as pessoas viajam para satisfazer uma necessidade (trabalho, lazer, saúde, etc) no seu local de destino. Isto é mais bem percebido no movimento de cargas e informações.

A grande maioria das viagens urbanas é um subproduto que só existe para que se execute alguma outra atividade, tais como: trabalhar, estudar, fazer compras, tratar da saúde, por exemplo. Nesse sentido é que a demanda por transporte é tida como uma demanda derivada. Ela deriva da necessidade ou do desejo de fazer algo mais. Adicionalmente, todo movimento incorre em alguma sorte de custo, que é geralmente mensurado em termos de tempo ou dinheiro. Alguns tipos de viagem, tais como por automóvel, ônibus, ou trem, incorrem em custos de tempo e dinheiro; enquanto que outros tipos de viagem, como, por exemplo, as feitas a pé, envolvem um custo apenas de tempo. Ao decidir qual o modo que será utilizado em uma dada viagem, os viajantes freqüentemente ponderam sobre tempo versus dinheiro (HANSON, 1995).

Davidson (1995) e Santanna (1995), afirmam que a acessibilidade exerce influência sobre o valor da terra, na medida em que um local com alto nível de acessibilidade será mais atrativo do que um local com baixo nível de acessibilidade, e desta forma será mais valorizado monetariamente. Um maior nível de acessibilidade de um lugar tem um maior impacto no valor da terra (HANSON, 1995). Não é possível afirmar que a acessibilidade é a única variável determinante do valor de uma área, mas é, com certeza, um parâmetro importante. Qualquer alteração no nível de acessibilidade de uma localidade influenciará o seu valor (valorizando-a ou

desvalorizando-a). Ainda segundo a autora, é possível concluir que um dos modos de promover o desenvolvimento urbano e regional de uma área é promover o aumento e a melhora da acessibilidade, muito embora essa não seja a única condição para que isto ocorra.

Brondino (1999), realizou um estudo sobre a influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos nos municípios de Araçariquama e São Carlos, ambos localizados no estado de São Paulo. Nessas duas cidades, conclui a autora, a acessibilidade é a variável que contribui com a maior representatividade na estimação de valores imobiliários. A medida de separação espacial utilizada para aferir os níveis de acessibilidade foi a distância ao centro das cidades. Desta forma, os terrenos mais próximos ao centro dessas cidades (com o maior nível de acessibilidade) são os mais disputados, em virtude de sua localização e conseqüentemente alcançam os valores mais elevados.

Para Wachs e Kumagai (1973) *apud* Raia Júnior (2000), o nível de acessibilidade de um local com relação aos centros de atividades econômicas e sociais determina o valor do solo, o seu uso e a intensidade de desenvolvimento que deverá ocorrer. Por causa da acessibilidade há uma relação sistemática entre a distribuição espacial e intensidade do desenvolvimento, e a quantidade e qualidade de viagens dentro da região.

Gualda (1994) salienta a influência recíproca entre uso do solo e transportes, que leva ao chamado ciclo de uso do solo e transportes, em que a implantação de novas facilidades de transporte, em uma região, leva a um aumento da acessibilidade naquela área, causando um acréscimo no valor da terra e, conseqüentemente, a uma mudança no uso do solo da região, com o decorrente acréscimo no número de viagens geradas, levando a congestionamentos de tráfego e, novamente, à necessidade de implantação de novas facilidades de transporte, recomeçando o ciclo (figura 29).

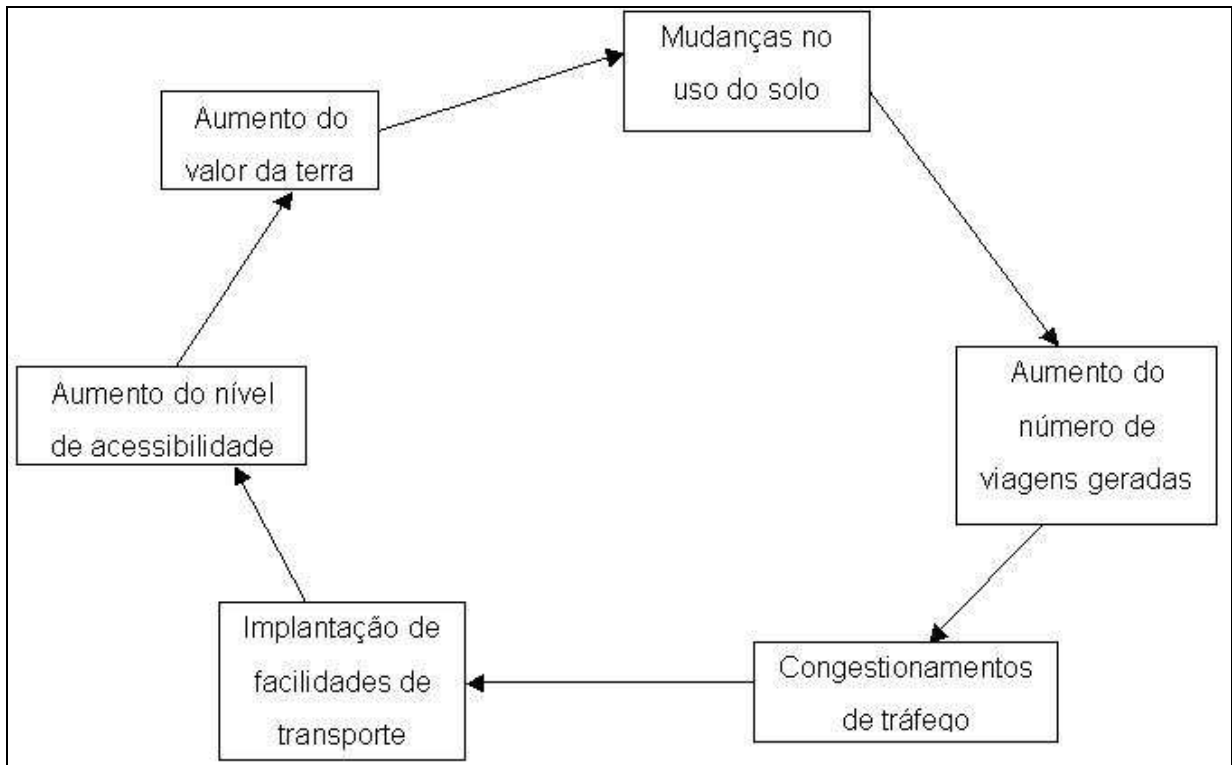


Figura 29: Ciclo do uso do solo e transportes.
Fonte: Gualda (1994)

Acessibilidade é um fator importante a ser considerado quando da decisão referente à localização de empresas, uma vez que condiciona diretamente a logística de produção e de distribuição da empresa e, conseqüentemente, os custos de produção e de comercialização dos produtos (GUALDA, 1994).

Transporte, segundo Gualda (1994), pode ser considerado como um fator de desenvolvimento e de agregação de valor à terra, pelo incremento de acessibilidade que proporciona.

Entretanto, há que se considerar que a influência dos transportes no uso do solo pode ser também negativa, na medida em que uma via de transporte pode vir a causar uma degradação do seu entorno, seja pela poluição ambiental que pode provocar, seja pelo efeito barreira²⁹ que pode causar, impedindo ou dificultando a acessibilidade entre os dois lados da região por ela cortada. Efeito semelhante ocorre com a implantação de terminais de grande porte, tais como estações ferroviárias e aeroportos (GUALDA, 1994).

²⁹ Maiores detalhes no capítulo 6.

Nesses casos, muito embora ocorra, via de regra, benefícios para a comunidade da região influenciada por esses equipamentos urbanos (macro-região), o mesmo não costuma ocorrer para a comunidade localizada ao redor onde os mesmos são implantados (micro-região). Isto acarreta uma mudança forçada no uso do solo dessas micro-regiões, bem como uma alteração das características sócio-econômico-culturais e no bem estar da população envolvida.

Handy e Niemeier (1997) concluem que:

“A acessibilidade é determinada pela distribuição espacial de destinos em potencial, pela facilidade de se chegar até eles e pela magnitude e qualidade das atividades desenvolvidas nesses destinos em potencial”.

4.2 ÍNDICES DE ACESSIBILIDADE

De acordo com Pooler (1995) os índices de acessibilidade são conhecidos por seu importante papel nos campos de distribuição de viagens, análise de localização e posicionamento geográfico de indústrias e estabelecimentos comerciais, planejamento urbano e regional, etc.

Para Black e Conroy (1977) a acessibilidade é um conceito abstrato que descreve onde as atividades estão localizadas em relação aos locais de origem das viagens e o quanto é conveniente ou não acessar essas atividades. Logo, o conceito de acessibilidade deve ser “materializado”. Para tanto, ele se traduz por meio de medidas, ou seja, índices que o representam qualitativamente e quantitativamente, e que o relacionam a parâmetros como custo de viagem, tempo de viagem, etc.

Os índices de acessibilidade podem ser considerados componentes importantes do planejamento e modelagem de transporte, uma vez que, a acessibilidade é um dos determinantes básicos da forma urbana e também porque a provisão de acessibilidade é usualmente um objetivo explícito do planejamento de transportes. Assim sendo, o uso de índices de acessibilidade seria útil na avaliação de alternativas de redes de transporte (RAIA JÚNIOR, 2000).

Dependendo da necessidade para os quais são utilizados, os índices de acessibilidade variam quanto ao grau de simplicidade, podendo ser desde medidas de separação espacial (em termos de distância, tempo ou custo) entre o local de origem das viagens e o local de destino, até avaliações do valor do tempo do usuário do sistema de transporte (ALLEN *et al.* 1993; RAIA JÚNIOR *et al.*, 1997; LIMA, 1998; MACHADO e WAISMAN, 2005).

Muitas medidas de acessibilidade evidenciam a necessidade de se desenvolver um índice que represente os diferentes aspectos envolvidos. De acordo com Lee e Goulias (1997) os índices mais comumente usados podem ser classificados em: simples medidas de separação espacial; medidas do tipo gravitacional; e medidas isocrônicas (do original “isochronic measures”).

- Índice de separação espacial: este tipo de índice de acessibilidade leva em consideração apenas aspectos físicos, como medidas de distância ou tempo. Usa simplesmente o somatório das separações espaciais como a medida de acessibilidade. Não são considerados fatores de atratividade, como oferta de empregos ou população. A separação espacial entre dois lugares pode ser medida pela distância (na rede de transporte ou caso seja usada a distância euclidiana a rede de transporte é simplificada para a rede do caminho mais curto), pelo tempo de viagem, ou através do custo generalizado³⁰. Apesar de não apresentar fundamentação comportamental, esse índice é operacionalmente simples e os resultados são fáceis de serem interpretados (LEE e GOULIAS, 1997 e SILVA *et al.*, 2000).
- Índices gravitacionais: este tipo de índice foi criado originalmente por meio de uma analogia com a Lei Gravitacional de Newton. Baseiam-se no conceito de atratividade e interação entre dois locais, ou seja, consideram um fator de interação espacial. Os índices gravitacionais ponderam as oportunidades existentes em um destino pela separação espacial da origem ao destino (LEE e GOULIAS, 1997 e MING LAI e LILIAN, 2000). Segundo Mikkonen e Luoma, (1999) a “popularidade” das medidas gravitacionais é explicada pelo fato de que a interação espacial é um fenômeno multifacetado e especialmente importante na economia regional. Um modelo gravitacional (em geral, o índice gravitacional de acessibilidade está aqui incluído) constitui uma maneira útil para descrever e analisar esse fenômeno. A atratividade usada para formular o índice gravitacional de acessibilidade pode ser: número de empregos, população, renda, número de empresas, etc., dentro de uma região de estudo. Para Raia Júnior (2000), um índice de acessibilidade do tipo gravitacional incorpora o desempenho de um sistema de transporte e a distribuição das atividades de uso do solo na área em estudo por incluir uma medida de atratividade (benefício) de cada destino potencial e pondera cada destino pelo seu custo de viagem associado. Por esse motivo, ele é

³⁰ O termo custo generalizado está associado a todos os desembolsos percebidos pelo viajante para uma dada viagem. Por exemplo, o custo generalizado da viagem poderia ser o desembolso financeiro propriamente dito (por exemplo, a tarifa do ônibus), o custo do tempo incluindo o acesso, a espera e o tempo a bordo do veículo; conforto, segurança, conveniência, confiabilidade, e vários outros fatores tangíveis e intangíveis. A maioria dos componentes do custo percebido para se realizar a viagem pode ser medido e expresso em unidades monetárias (Khisty e Lall, 1998).

particularmente um critério apropriado para avaliar o serviço disponibilizado pelo sistema de transporte.

- Medidas isocrônicas: esses indicadores, às vezes chamados “medidas de oportunidades cumulativas”, medem o nível de acessibilidade de um lugar de acordo com o número de oportunidades que podem ser alcançadas dentro de um dado valor de tempo de viagem “x” (LEE e GOULIAS, 1997 e RAIÁ JÚNIOR, 2000).

Os trabalhos sobre a acessibilidade mostram que os pesquisadores formulam os índices de acessibilidade por meio de métodos que estejam em concordância com seus objetivos de estudo (MING LAI e LILIAN, 2000). Tais índices variam de acordo com a concepção com que foram criados, i.e, dependem de como o pesquisador analisa o conceito de acessibilidade. Esses diferentes índices não são incompatíveis entre si, já que partem do mesmo conceito de que a acessibilidade é uma medida de esforço para se transpor uma separação espacial. Eles são diferentes maneiras de se observar o mesmo fenômeno. Dependendo do propósito do estudo uns se adequam melhor que outros. A seguir apresentam-se alguns índices de acessibilidade propostos na literatura técnica.

4.2.1 ÍNDICES DE INGRAM E DE ALLEN

Ingram (1971) enfatiza a forma operacional da acessibilidade. O autor “refina” o termo acessibilidade em acessibilidade relativa e acessibilidade integral, e define dois tipos de índices:

- Índice de acessibilidade relativa: grau de conexão entre dois pontos (lugares) da mesma superfície (área). A acessibilidade relativa de dois pontos, um em relação ao outro, pode não ser igual em intensidade. Por exemplo: a assimetria de distâncias entre pontos localizados em uma rede de transporte formada por vias de sentido único (INGRAM, 1971 e ALLEN *et al.* 1993). Bunge (1966, *apud* Ingram 1971) apresenta como exemplo dessa possível

diferença de intensidade, a assimetria natural da acessibilidade relativa entre os Estados Unidos e Cuba, em termos do possível fluxo migratório³¹.

- Índice de acessibilidade integral: é definida para um dado ponto como sendo o grau de interconexão (ou comunicação) deste ponto com relação a todos os demais pontos da mesma superfície (INGRAM, 1971 e ALLEN *et al.* 1993). A forma operacional da acessibilidade integral de um ponto é o somatório de todos os índices de acessibilidades relativas desse ponto em relação a todos os demais. É a integral do índice de acessibilidade relativa.

$$A_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

(Equação1: Índice de acessibilidade integral de Ingram)

onde: A_i é a acessibilidade integral do ponto i ; a_{ij} é a acessibilidade relativa do ponto i em relação ao ponto j ; e n é o número de pontos da superfície.

No entanto, de acordo com Allen *et al.* (1993) o índice de acessibilidade relativa apresenta o problema de ser uma única medida (tão somente de i em relação à j), e por isso não é capaz de refletir o nível de acesso de um dado ponto (sem mencionar uma dada área), que está conectado a muitos outros pontos (por exemplo: multiplicidade de centros residenciais e de emprego). Para superar esse problema o índice de acessibilidade integral foi concebido.

O índice de acessibilidade integral pode ser usado para comparar níveis de acesso de diferentes pontos dentro de uma mesma região de estudo, porém não pode ser usado para comparações entre diferentes áreas. Para solucionar esta restrição e para que se obtenha um índice que possa ser comparado entre diferentes áreas é preciso calcular o índice de acessibilidade total (ALLEN *et al.*, 1993).

³¹ O exemplo dado foi concebido em 1966, no entanto continua válido atualmente, por conta das diferenças ideológicas e os problemas diplomáticos entre os dois países, que perduram até os dias de hoje.

O índice de acessibilidade total é obtido fazendo-se a integral (somatório) do índice de acessibilidade integral de cada ponto dentro da área (vide equações 3 e 4, no capítulo 7). Desta forma, esse índice fornece uma medida do grau de intercomunicação entre as diversas localidades (pontos) de uma área.

4.2.2 ÍNDICES DE LEE E GOULIAS

Lee e Goulias (1997) definem índices de acessibilidade agregada e desagregada. Esses índices podem ser usados como variáveis explicativas em equações de comportamento de viagens. Os índices de acessibilidade propostos pelos autores incorporam o desempenho de um sistema de transporte e a distribuição das atividades de uso do solo, i. e., incluem em sua formulação uma medida de atratividade para cada destino potencial e ponderam cada destino com seu custo associado. A seguir apresenta-se a definição dos índices de Lee e Goulias:

- Índice de acessibilidade desagregada: utiliza o nível mais desagregado possível, ou seja, trata-se de um índice de “ponto – a – ponto” (“residência – a – local de trabalho”, por exemplo). Para fazer isso, a localização exata das origens (por exemplo: uma residência) e todos os possíveis destinos (por exemplo: lojas) de viagem precisam ser incluídos no índice. O índice de acessibilidade desagregada usa a residência de um usuário do sistema de transporte como origem para calcular a separação espacial das oportunidades. Tal índice pode também refletir o custo global para se atingir locais de trabalho, shoppings centers, e oportunidades sociais e recreacionais (LEE e GOULIAS, 1997).
- Índice de acessibilidade agregada: baseia-se nos resumos de grandes subdivisões geográficas. O índice usa o correspondente centróide (um centro imaginário) da zona de análise de tráfego onde as residências estão localizadas. Esses centróides são as origens para o cálculo da separação espacial até as oportunidades.

4.2.3 ÍNDICES DE HANDY

Handy (1993) diferencia índice de acessibilidade regional e índice de acessibilidade local.

- Índice de acessibilidade local: depende da proximidade com centros de atividade localmente orientados. É um índice de acessibilidade medido dentro de uma comunidade (HANDY, 1993).
- Índice de acessibilidade regional: depende de bons *links* (ligações) de transporte para grandes concentrações de atividades regionalmente orientadas. É um índice de acessibilidade para centros regionais de atividades a partir de uma comunidade. Ao se avaliar o índice de acessibilidade regional, as características da comunidade, bem como as características da região em que ela está inserida e a qualidade dos *links* (i. e., o sistema de transporte propriamente dito) entre a comunidade e a região, devem ser levados em consideração (HANDY, 1993).

Para se diferenciar níveis local e regional de acessibilidade é necessário levar em conta três diferentes abordagens para enfrentar a questão:

- A primeira é baseada na localização das atividades. Por exemplo, atividades localizadas até uma determinada distância contribuem para um índice de acessibilidade local, enquanto que atividades além dessa distância estabelecida contribuem para um índice de acessibilidade regional.
- Uma segunda abordagem diferencia as atividades por tipo. Por exemplo: uma mercearia contribui para um índice de acessibilidade local, enquanto que uma loja de departamentos contribui para um índice de acessibilidade regional.
- A terceira abordagem está associada à voluntariedade, ou seja, a disposição de um indivíduo viajar uma certa distância depende do tipo de atividade e da quantidade de atividades no local de destino. Exemplificando: uma pessoa se sujeita a viajar uma distância grande para ir a um shopping center, mas não

tem a mesma disposição quando pretende ir a uma padaria (a menos que não haja outra opção).

Adota-se para esta dissertação o enfoque de Ingram (1971) e Allen *et al.* (1993) para o conceito de acessibilidade, bem como os respectivos índices formulados a partir desse ponto de vista. Em virtude do fato de que o índice de acessibilidade total é padronizado para todos os pontos de uma área, ele é um índice comparável entre áreas (ALLEN *et al.*, 1993). Os índices propostos por Ingram (1971) e Allen *et al.* (1993) são definidos somente como uma medida de esforço para superar a separação espacial entre pontos dentro de uma área, e não consideram características de demanda-oferta como aspectos comportamentais em seus modelos. Deste modo, esses índices são medidas simples de acessibilidade, uma vez que não necessitam de muitos dados (RAIA JÚNIOR, 2000).

No entanto, Raia Júnior *et al.* (1997), fizeram uma comparação entre o indicador mais simples proposto por Ingram (1971) e Allen *et al.* (1993), e o indicador do tipo gravitacional (mais complexo) proposto por Davidson (1995). Os autores concluíram que o índice de Ingram (1971) e Allen *et al.* (1993), apresentou resultados muito próximos aos de Davidson (1995), em termos de classificação dos níveis de acessibilidade, em uma aplicação para uma cidade média brasileira.

Assim sendo, o índice de acessibilidade total será usado para as análises desse trabalho, devido a sua simples formulação e facilidade de interpretação dos resultados, ressaltando mais uma vez que o objetivo é a construção de um arcabouço metodológico para a determinação de índices de acessibilidade, e não o estudo e avaliação do índice em si.

4.3 MOBILIDADE

Um conceito correlato ao conceito de acessibilidade é o conceito de mobilidade. A mobilidade refere-se à capacidade de se movimentar entre os diferentes locais de atividade. A mobilidade envolve pessoas ou cargas, necessita do material rodante (no caso de veículos terrestres) somado ao sistema de transporte ou simplesmente dos pés do usuário, e sua unidade de medida pode ser viagens por habitante.

Enquanto a acessibilidade diz respeito aos lugares, a mobilidade diz respeito às pessoas. Ou seja: lugares são acessíveis, pessoas possuem mobilidade (desejo, capacidade e possibilidade de se movimentar pelo sistema de transporte).

A mobilidade está relacionada com os deslocamentos diários (viagens) de pessoas no espaço urbano. Não apenas sua efetiva ocorrência, mas também sua facilidade ou possibilidade de ocorrência (SALES FILHO, 1997 e SALES FILHO, 1998 *apud* RAIA JÚNIOR, 2000).

Há uma interface econômica desses dois conceitos: a acessibilidade confere valor a terra, enquanto que a mobilidade é um indicador de desenvolvimento econômico. Porém, conforme alerta Santanna (1995) os conceitos de acessibilidade e de mobilidade são diferentes. Mobilidade é a capacidade de um indivíduo deslocar-se, e o uso que esse indivíduo faz dessa capacidade. Acessibilidade, por outro lado, está geralmente relacionada com a oportunidade que um indivíduo tem de participar de uma atividade particular, alcançando um determinado destino ou atividade, e isto é usualmente expresso matematicamente pelo índice de acessibilidade (SANTANNA, 1995 e MOUETTE, 1998).

As medidas (ou índices) de mobilidade³² refletem a capacidade da pessoa usar vários modos (sem considerar as oportunidades a serem atingidas) e medidas (ou índices) de acessibilidade descrevem os locais que poderiam ser atingidos por um

³² Índice de mobilidade é a relação entre o número de viagens (inclusive as viagens a pé) e o número de habitantes da área em estudo (RAIA JÚNIOR, 2000).

dado modo (sem considerar a capacidade real da pessoa usar este modo) (WACHS e KOENIG, 1979 *apud* RAIA JÚNIOR, 2000).

A mobilidade está relacionada aos deslocamentos cotidianos no espaço urbano, quer sejam de fato efetuados, quer existam apenas a facilidade e a possibilidade de ocorrência. O conceito de mobilidade engloba o grau de facilidade ou dificuldade de se locomover, e o número possível de deslocamentos que um determinado indivíduo pode realizar em dado período de tempo (MOUETTE, 1998).

Uma das conseqüências da separação espacial entre diferentes tipos de uso do solo em uma área é a crescente necessidade por mobilidade. Todavia, o aumento da mobilidade contribui para o aumento da separação espacial entre os pontos de origem e destino no espaço urbano. Isto é um dos resultados que se obtém com a melhora do nível de acessibilidade do sistema de transporte, pois isto oferece condições para que os usuários desse sistema possam viajar para destinos cada vez mais distantes sem aumento do tempo de viagem (HANSON, 1995).

A Região Metropolitana de São Paulo (o município de Osasco, área de interesse deste estudo, localiza-se na RMSP) evidencia ao longo dos anos uma diminuição da mobilidade de sua população. Segundo Strambi e Van de Bilt (2002), o número médio de viagens diárias por habitante passou de 2,08 em 1977 para 2,06 em 1987, e uma redução mais significativa em 1997, quando passou para 1,87³³.

O motivo para essa queda no nível de mobilidade na RMSP deve-se ao fato de que durante este período a região se tornou uma área de tráfego muito congestionado, por causa do intenso crescimento em motorização e escassos investimentos no sistema de transporte e na rede viária (STRAMBI e VAN DE BILT, 2002). Na RMSP o nível de acessibilidade do sistema de transporte não comporta a crescente demanda por mobilidade.

³³ Dados da pesquisa Origem/Destino dos anos de 1977, 1987 e 1997. O critério adotado para a mensuração da mobilidade foi número de viagens por habitante ao longo de um dia, por qualquer motivo e por todos os modos de transporte (incluindo as viagens a pé) (STRAMBI e VAN DE BILT, 2002).

Esta realidade tem alterado o padrão geográfico das atividades, como por exemplo, o comércio “de rua”, que vem sendo substituído por Shopping Centers, onde o consumidor encontra vários ramos de atividade comercial em só local e fazendo apenas uma viagem. Além disso, a periferização da população (obrigada a ir morar cada vez mais longe do centro das cidades, em virtude do valor do solo urbano) propiciou o desenvolvimento de “centros locais” de atividades, substituindo setores residenciais por setores de serviço. E com o setor de serviços ocupando essas novas áreas, há o contínuo movimento da população de se afastar cada vez mais do centro tradicional da cidade (STRAMBI e VAN DE BILT, 2002).

Um adequado planejamento urbano, utilizando os conceitos de acessibilidade e mobilidade como fatores intervenientes do processo de desenvolvimento e mudanças nos padrões de uso do solo, poderia prevenir ou atenuar tais problemas.

Capítulo 5- METODOLOGIA

“Do something. If it doesn’t work, do something else. No idea is too crazy”.

Jim Hightower (The New York Times, March 9, 1986.)

5 METODOLOGIA

Para a realização desta dissertação a metodologia adotada partiu de imagens do satélite IKONOS II. São imagens de alta resolução espacial (da ordem de 1 metro), e muitos pesquisadores já estudaram e comprovaram sua qualidade geométrica. Nesse sentido destacam-se os trabalhos de: Baltasvias, Pateraki e Zhang (2001); Fraser *et al.* (2002); Ganas *et al.* (2002); Jacobsen (2002_A; 2002_B; 2004; 2006); Poon *et al.* (2005); Shan e Lee (2005); Topan *et al.* (2005); Kocaman *et al.* (2006) e Zoj *et al.* (2006).

O satélite IKONOS II captura imagens no modo pancromático (0,45 – 0,90 μm) com um metro de resolução espacial; e no modo multiespectral com quatro metros de resolução espacial. A imagem multiespectral é composta por quatro faixas distintas do espectro eletromagnético, conforme ilustra a figura 30, abrangendo comprimentos de onda da porção azul (0,45 – 0,52 μm), verde (0,52 – 0,60 μm), vermelho (0,63 – 0,69 μm) e infravermelho próximo (0,76 – 0,90 μm). A figura 30 mostra a imagem do satélite IKONOS II decomposta pelas quatro bandas espectrais que a compõem. De baixo para cima: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo e por fim o resultado da composição das quatro bandas.

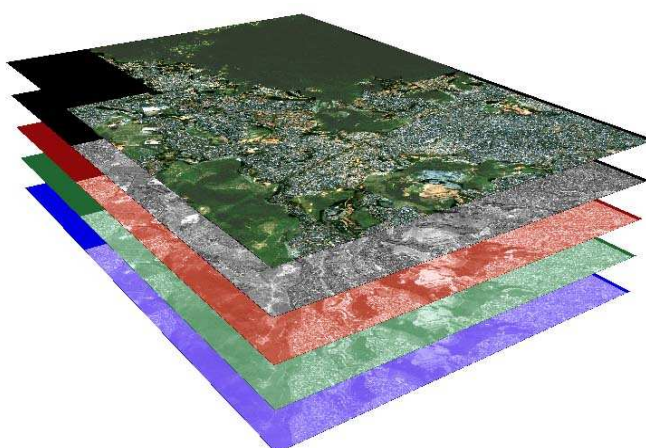


Figura 30 – Imagens do sensor multiespectral do satélite IKONOS II.
Fonte: FUNCATE (2004) e Nóbrega (2007).

Tais imagens foram adquiridas por meio de um convênio estabelecido entre o Governo do Estado de São Paulo e a Universidade de São Paulo. As imagens são

provenientes do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, e é parte de uma coleção mais abrangente, com dados recentes e geometricamente refinados. O imageamento original data de outubro de 2002 e a abrangência dessa coleção de imagens inclui os 39 municípios da Região Metropolitana de São Paulo, com uma área total de aproximadamente 8.000 km², conforme ilustrado na figura 31:

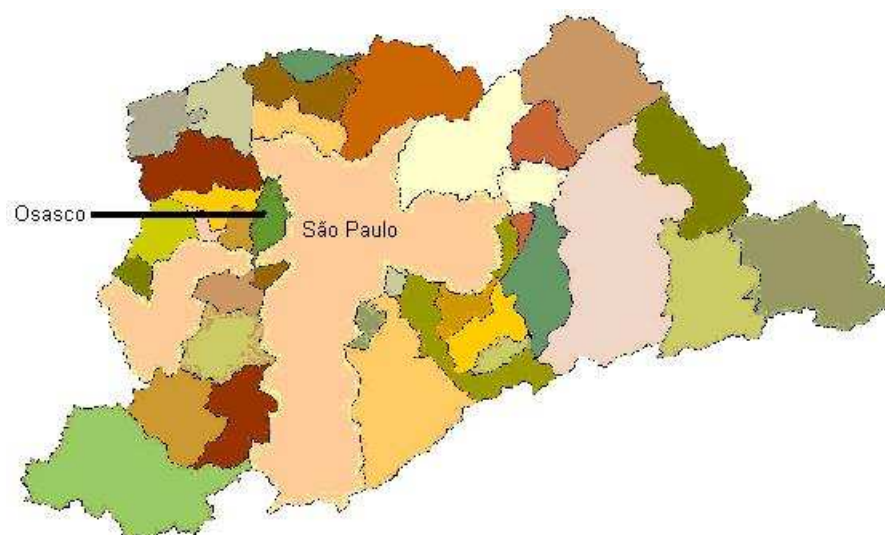


Figura 31: RMSP - Área de abrangência das imagens IKONOS II
Fonte: FUNCATE, (2004)

A figura 32 a seguir mostra as imagens IKONOS II referentes à área de abrangência da RMSP.

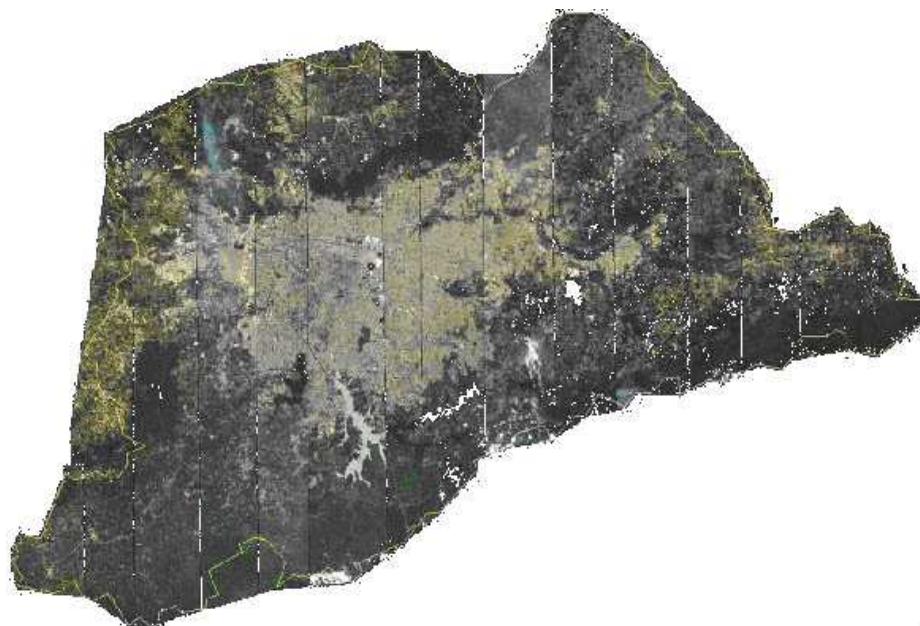


Figura 32: Cobertura das imagens IKONOS II do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.
Fonte: FUNCATE (2004).

As imagens disponibilizadas e utilizadas nessa pesquisa são produtos CARTERRA Ortho Precision, obtidos a partir de um preciso modelo digital de elevação (MDE). Em outras palavras, essas imagens são derivadas das imagens IKONOS II originais, as quais sofreram uma série de processamentos como a fusão entre bandas e a ortorretificação³⁴, e correspondem ao mais nobre padrão de imagens oferecido pela empresa norte-americana *Space Imaging LLC*, responsável pelo lançamento do satélite IKONOS II, e pela aquisição e comercialização de suas imagens. A ortorretificação permite o uso das imagens como fonte direta de informação métrica, possibilitando o rearranjo dos elementos presentes na imagem em sua verdadeira posição e permitindo a execução de medições. A figura 33 exemplifica o procedimento de ortorretificação de imagens.

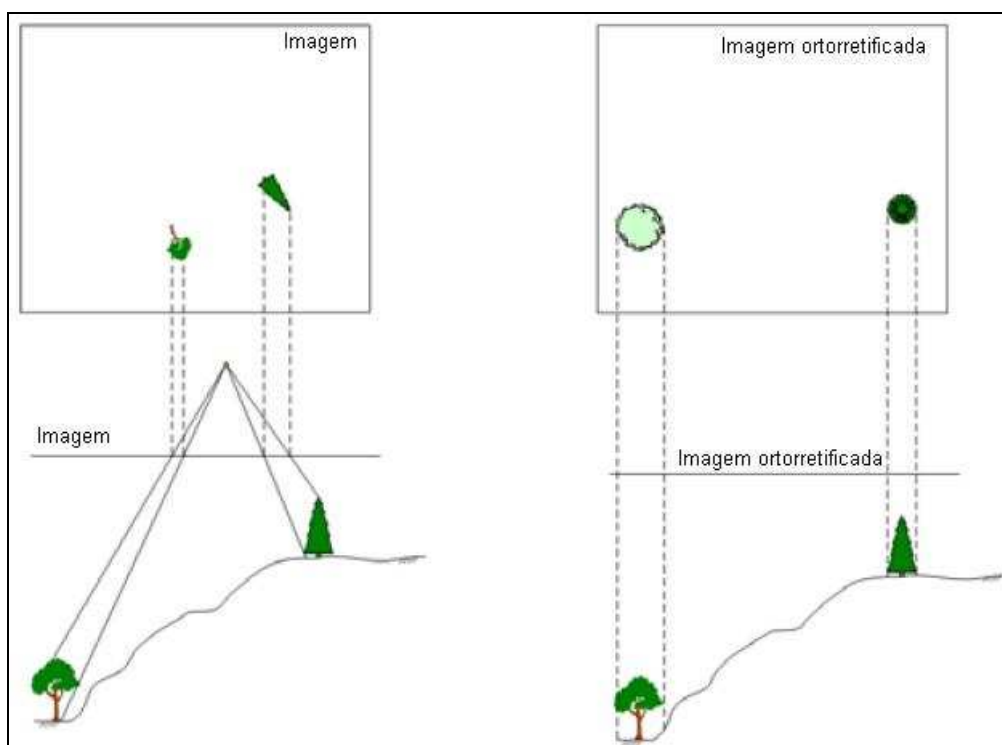


Figura 33: Ortorretificação de imagens

Fonte: Adaptado de <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/foto3/ortorretificacao.pdf>

Em primeira instância, os produtos CARTERRA são elaborados a partir da fusão da banda pancromática e de combinações coloridas das bandas NIR, Red, Green e

³⁴ A ortorretificação é um tipo de correção geométrica de alta precisão, baseada em uma fundamentação matemática e geométrica, que reflete a realidade física da geometria de visada do sensor. Essa fundamentação leva em consideração as distorções que ocorrem na formação da imagem, isto é, distorções relativas à plataforma, ao sensor, à Terra e à projeção cartográfica (OKIDA *et al.*, 2003)

Blue (infravermelho próximo, vermelho, verde e azul, respectivamente), para a composição da cena multiespectral com resolução espacial de 1 metro. Posteriormente, a imagem multiespectral passa pelo processo de ortorretificação, preferencialmente tomando como base um modelo digital de elevação preciso (NÓBREGA, 2007). Nóbrega (2007) ressalta ainda que as imagens CARTERRA do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo foram compiladas utilizando um modelo digital de elevação extraído de cartas com escala 1:10.000 da EMPLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A.) e empregado pela *Space Imaging LLC* no processamento das imagens finais.

Optou-se por realizar uma classificação de imagem baseada em objetos³⁵ (a exemplo do trabalho realizado por Walter, 2004), porque as feições urbanas necessárias para a metodologia proposta são principalmente as vias, as edificações residenciais, as edificações comerciais e as industriais. Embora esses tipos de feições sejam facilmente visualizados a partir de imagens de alta resolução como as do satélite IKONOS, a tarefa mais laboriosa passa a ser a extração das mesmas de modo automatizado. Em uma aplicação singular, pode ser considerada a extração manual dessas feições, recaindo toda a ênfase da pesquisa para a análise da acessibilidade, e a questão do uso de imagens de alta resolução passa a não explorar o potencial dessas imagens.

A introdução, no processo de interpretação e classificação da imagem, de informações provenientes do conhecimento do analista sobre as feições representadas nessa imagem para compor as regras de decisão (ou seja, para se compor a classificação), tem mostrado uma melhoria significativa na discriminação de alvos urbanos (GERKE, 2002; BALTSAVIAS, 2004; HEIPKE *et al.*, 2004).

³⁵ Para a realização da classificação de imagens de satélite por orientação a objetos é necessário um *software* específico cuja modelagem seja por objetos. Atualmente apenas o *software* eCognition faz essa classificação. Tentou-se exaustivamente o uso desse *software* para as análises necessárias para se chegar aos resultados esperados, porém todas essas tentativas foram frustradas (detalhes no capítulo 7). Portanto, a solução para esse impasse foi a adoção de uma metodologia alternativa, baseada (e não orientada) em objetos, ou seja, uma metodologia que não possui todos os quatro requisitos básicos de uma classificação O-O. O conceito relativo à herança ou hierarquia (relações topológicas e de contexto) foi realizado em ambiente SIG, numa etapa posterior à classificação da imagem.

Segundo Nóbrega (2007), a base de conhecimento passa então a ser utilizada para apoiar a criação das regras e das estratégias de classificação nas imagens, sobretudo no ambiente urbano. Essa modelagem vai além do emprego de informações numéricas extraídas dos elementos. Relacionamento entre elementos vizinhos e sua interação no ambiente urbano passam a ter papel importante e decisivo. A classificação de imagens, que tradicionalmente visa discriminar classes de cobertura do solo, passa também a inferir sobre o uso do solo. No entanto, vale ressaltar que o modelo classificatório baseado em informações contextuais é, mais do que nunca, um processo supervisionado e, como tal, é altamente dependente de um analista.

Considerando a necessidade de apresentar resultados advindos de extração automatizada de feições, e sendo que muitas dessas feições possuem dimensões relativamente pequenas, representadas nas imagens por poucos pixels agrupados, diversos trabalhos comparam as classificações tradicionais à classificação orientada a objetos (neste trabalho a classificação é baseada em objetos, pelos motivos explicitados no capítulo 7) e apontam para a melhor acurácia ao utilizar o segundo método. O motivo para o melhor desempenho das classificações orientadas ou baseadas em objetos reside no fato de que, por meio da resolução espacial mais elevada dos novos sensores, o problema dos *pixels* mistos é reduzido e por outro lado são ampliados a variância interna e o ruído dentro de classes de uso do solo. Por isso, procedimentos convencionais de classificação multiespectral, cujas composições de agrupamentos (*clusters*) se baseiam em homogeneidades espectrais, resultam em excessos de classes, ou seja, em classes mal-definidas (SCHIEWE e TUFTE, 2007).

Trabalhos como os de Gerke (2002), Antunes, Lingnau e Silva (2003), Centeno *et al.* (2003), O'Hara (2005), Leukert (2007), Neubert e Meinel (2007), Nóbrega, Quintanilha e O'Hara (2007), atestam o bom desempenho da classificação orientada a objetos em aplicações urbanas. Outros trabalhos comparam as classificações multiespectral e a orientada a objetos, e destacam que o emprego de informações contextuais e geométricas dos objetos tiveram peso significativo para minimizar as confusões espectrais. Dentre esses trabalhos destaca-se: Mueller *et al.* (2003),

Shackelford e Davis (2003), Repaka *et al.* (2004), Pinho *et al.* (2005) e Misáková (2007).

Nessa linha, como o presente trabalho emprega imagens IKONOS II e o que se busca é a extração de feições urbanas, o uso de classificação de imagens baseada em objetos apresenta os melhores resultados.

Portanto a metodologia segue os seguintes passos:

- Processamento digital das imagens IKONOS:
 - As quatro bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho) foram empilhadas (sobrepostas), de modo a se obter uma só imagem para ser trabalhada.
 - Realizou-se a junção das diferentes folhas de imagens para se compor a área de estudo, ou seja, um mosaico das imagens.
 - Como o que se pretende é realizar uma classificação baseada em objetos para a extração das informações pertinentes a este trabalho, a próxima etapa foi a segmentação da imagem, para se criar os objetos que serão classificados.
 - Feita a segmentação do mosaico da imagem, realizou-se o procedimento de classificação baseado nos segmentos.
 - Com o resultado da classificação identificou-se onde estão localizadas as empresas do município.

- Conversão, entrada e análise dos dados em ambiente SIG:
 - Em seguida foi feito manualmente o mapeamento e a rotulação das classes geradas pelo algoritmo de classificação.
 - Foram incorporadas, por meio da interpretação e análise visual da imagem e da classificação preliminar, as informações de forma, contexto e topologia, e realizou-se uma nova classificação, baseada nessas novas informações. Esta é uma tentativa de minimizar os erros da classificação preliminar. São os chamados erros de comissão (os segmentos que foram classificados como empresas, mas na realidade

não são), e os erros de omissão (os segmentos que não foram classificados como empresas, mas na realidade são).

- Os dados vetoriais do cadastro da prefeitura de Osasco foram analisados nesta etapa do trabalho. Esses dados referem-se à espacialização das empresas do município de Osasco no ano de 2003.
 - Realizou-se a entrada dos dados referentes à rede viária do município (proveniente do cadastro da Prefeitura de Osasco). A base viária utilizada foi concebida para finalidades e estudos de logística, porém não leva em consideração o sentido e a direção do fluxo de tráfego. As ruas, avenidas e rodovias são representadas pelo seu eixo e cada ponto inicial e final de cada um dos trechos corresponde a um nó, que constituem as intersecções ou finais de segmento (as distâncias foram calculadas sobre a rede viária).
- Determinação do índice de acessibilidade:
 - Foi calculado o índice de acessibilidade por meio do método proposto, ou seja, a partir dos dados de localização espacial das empresas provenientes diretamente da imagem de satélite, e da rede viária da cidade. Esse cálculo foi realizado utilizando um índice já proposto na literatura, o índice de Ingram (1971) e Allen *et al.* (1993), que é um índice do tipo separação espacial.
 - Determinou-se também o índice de acessibilidade (o mesmo índice do item anterior), da mesma área de estudo a partir dos dados cadastrais da prefeitura sobre a mesma rede viária usada no cálculo anterior.
 - Esses dois índices foram comparados, o que permitiu concluir se a metodologia proposta é ou não consistente e conduz a resultados satisfatórios.

A metodologia encontra-se exemplificada na figura 34 a seguir:

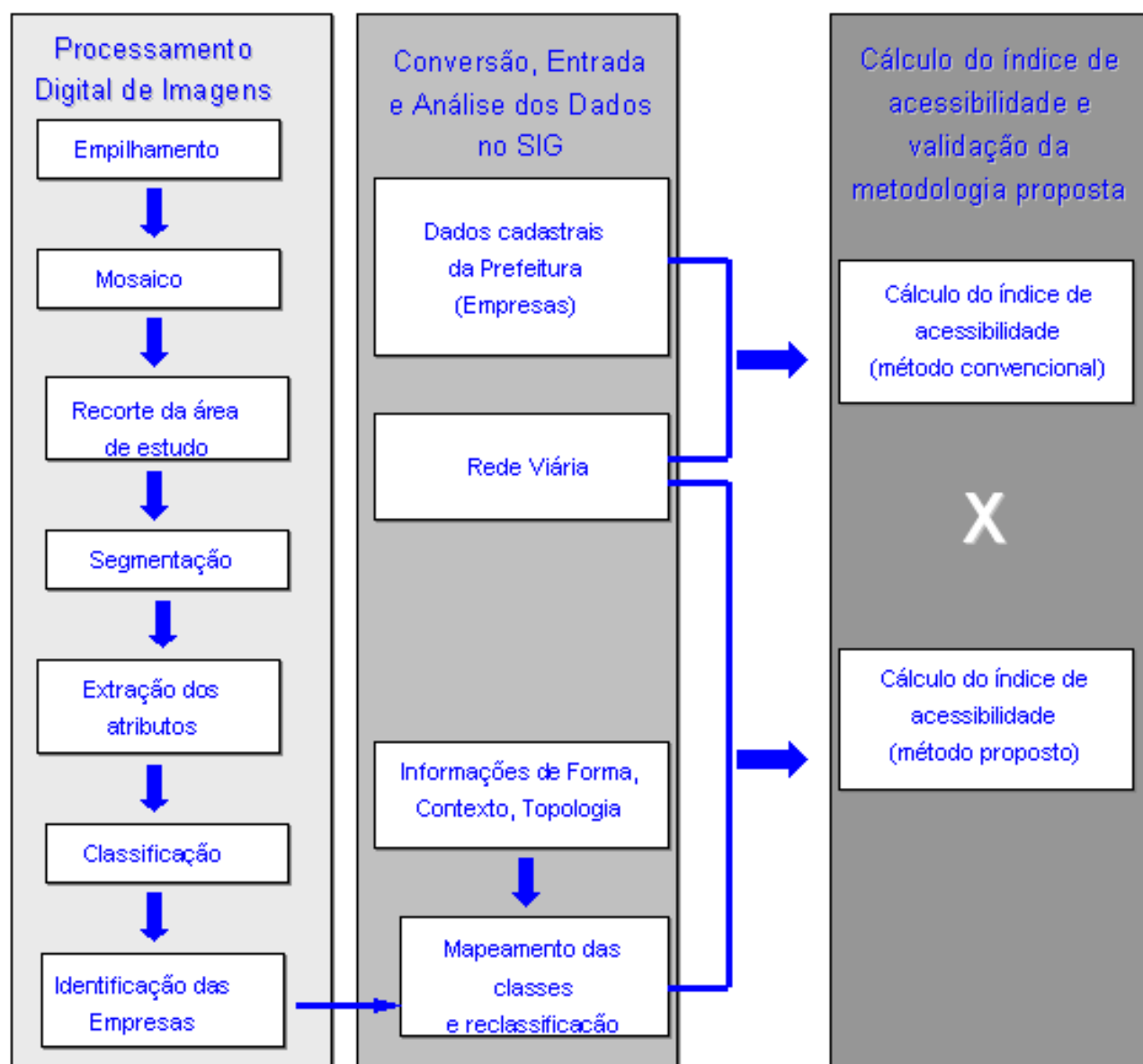


Figura 34: Metodologia de estudo

Capítulo 6- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

*“Cada cidade tem a sua linguagem nas dobras da cidade
transparente”.*

Carlos Drummond de Andrade

6 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – MUNICÍPIO DE OSASCO

A área de estudo deste projeto refere-se aos limites políticos territoriais do município de Osasco, zona oeste da Região Metropolitana de São Paulo, como pode ser observado nas figuras 35, 36 e 37.



Figura 35: Imagem do satélite SPOT referente à cidade de Osasco.
 Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – EPUSP (2006)

O município de Osasco tem uma área de 66,9 km², é cortado pelos rios Tietê e Carapicuíba, além dos córregos Bussocaba, João Alves e Ribeirão Vermelho. Sua altitude máxima é de 780 e a mínima de 720 metros. Os limites de Osasco são: norte - São Paulo e Rodovia Anhangüera; sul - Taboão da Serra e Rodovia Raposo Tavares; leste - São Paulo (bairros do Butantã e Jaguaré); e oeste - Santana do Parnaíba, Barueri, Carapicuíba e Cotia. A população da cidade, segundo as informações do censo de 2000 é de 652.593 habitantes e 181.012 domicílios. Osasco é o 5º maior município do Estado de São Paulo³⁶.

³⁶ Fonte dos dados: <<http://www.osasco.com.br/geografico.php#geo>>



Figura 36: Localização de Osasco na região oeste da RMSP.
 Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – EPUSP (2007)

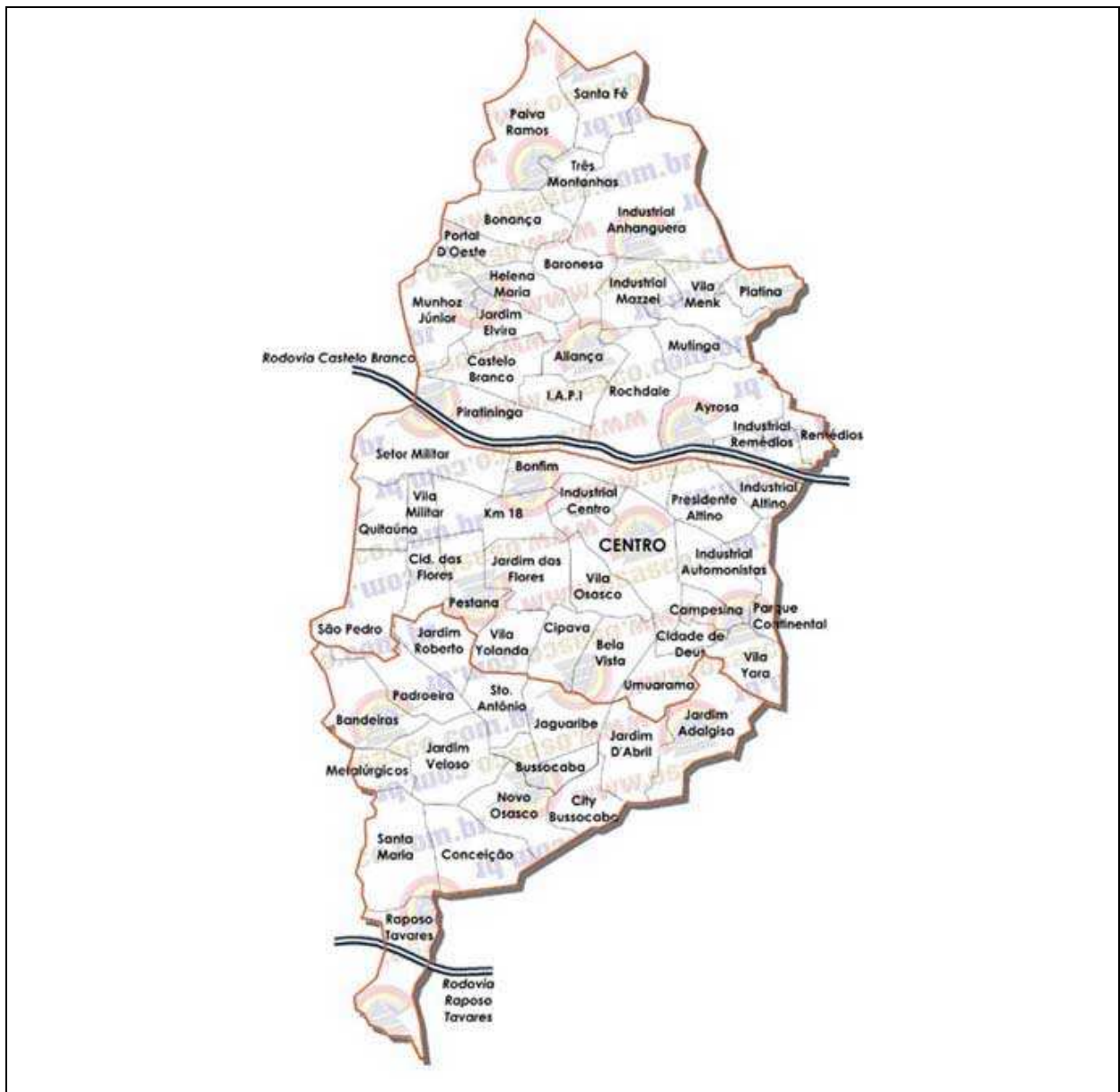


Figura 37: Mapa político de Osasco.
 Fonte: <http://www.osasco.com.br/map.php#osasco>

A cidade apresenta a seguinte infra-estrutura:

- Extensão da rede de esgoto instalada: 458.732,25 m (60% da população atendida).
- Extensão da rede de água: 871.730,00 m (100% da população atendida).
- Energia elétrica: 137.989 ligações residenciais (97% dos domicílios, consumo de 36.869.639 kw/h); ligações comerciais: 11. 562 (consumo de 13.095.190 kw/h); e ligações Industriais: 1.309 (consumo de 3.723.648 kw/h)³⁷.

O sistema de transporte conta com quatro rodovias passando por seus limites territoriais (Castello Branco, Anhangüera, Raposo Tavares e Rodoanel Mário Covas), uma ampla rede viária; e uma rede ferroviária. A cidade conta ainda com um sistema de transporte público coletivo por ônibus, que realiza viagens intra e inter municipais.

Optou-se por essa área de estudo porque Osasco encontra-se em uma posição estratégica na RMSP, principalmente no tocante ao escoamento e distribuição de mercadorias, pois como salientado anteriormente a cidade é “cortada” por quatro grandes rodovias, e após o trecho oeste do Rodoanel possui fácil acesso a outras duas: Bandeirantes e Regis Bittencourt. Além disso, a cidade de Osasco está conurbada com São Paulo, a maior cidade do país, e a interação entre elas no que diz respeito ao tráfego de bens, serviços, informação e pessoas é bastante considerável.

Conforme se pode perceber pela análise da figuras 35 e 37, o município de Osasco é muito afetado pelo chamado efeito barreira, pois é cortado pelo Rio Tietê, por grandes rodovias e avenidas, e pelo sistema ferroviário. Alie-se a isso o fato de existir uma grande área pertencente ao Exército Brasileiro localizada próximo ao centro da cidade, com restrição de acesso à população (figura 37 – Setor Militar). Isto traz impactos à acessibilidade e mobilidade da população que sofre com o efeito barreira.

Segundo Mouette (1998) o efeito barreira denota as restrições ou a inibição do deslocamento. Pode ser ocasionado pelo alto volume de tráfego, pela via de

³⁷ Fonte dos dados: <<http://www.osasco.com.br/geografico.php#geo>>

circulação, ou qualquer outro obstáculo à circulação de pessoas e veículos, gerando uma impedância ao livre movimento.

Segundo Clark (1991) o termo efeito barreira (*community severance*, segundo os autores estrangeiros) surgiu na primeira metade do século XX e se relacionava com o desenvolvimento dos bairros dormitórios nos subúrbios, e a conseqüente extensão da jornada de trabalho (o tempo despendido nas viagens de ida para o trabalho e de volta para casa, é considerado como horário de trabalho), causando uma deterioração da vida social e comunitária da população afetada.

Lassière (1976), *apud* Mouette (1998) elaborou um amplo estudo sobre a avaliação dos impactos ambientais decorrentes dos transportes. Considera efeito barreira como um fenômeno decorrente da implantação de estruturas lineares principais, como uma rodovia ou uma ferrovia (neste trabalho considera-se também o rio Tietê como uma formação linear passível de acarretar o efeito barreira). Aponta uma série de parâmetros e itens a serem analisados, resultando na necessidade do conhecimento das características demográficas, do uso e ocupação do solo, e dos padrões de deslocamento. Lassière efetuou pesquisas e aplicou questionários junto a diversos núcleos urbanos. Na avaliação do impacto, utiliza parâmetros como o tamanho da vizinhança e o número de pontos incluídos nesta, além dos deslocamentos efetuados pela população, contribuindo significativamente ao considerar as questões urbana e social. Ele amplia o conceito original e utiliza o termo efeito barreira para denotar:

“O conjunto de respostas perceptíveis, atitudinais e comportamentais, resultantes de certas formações lineares no ambiente urbano”.

Esteves (1985), *apud* Mouette (1998) define o fenômeno como:

“O estado em que os usuários de uma parte da cidade ou núcleo urbano têm seu acesso dificultado à outra parte da mesma cidade ou núcleo urbano, em virtude da existência de obstáculo, gerando problemas de compartimentação”.

O efeito barreira diminui a quantidade de deslocamentos. Este fato se reflete na queda da mobilidade do indivíduo, que tem sua locomoção restringida, e na conseqüente queda na acessibilidade a locais e estabelecimentos (presentes “do outro lado” do obstáculo a ser transposto) (MOUETTE, 1998).

Pode-se considerar como elementos que influenciam o fenômeno: as características do meio urbano e a população. O efeito barreira resulta das características do tráfego e das vias de determinada região, bem como das atitudes e comportamentos das diferentes classes populacionais e do ambiente no qual estão inseridos.

Quando que uma nova via é implantada, na grande maioria dos casos ocorre a ruptura de uma área ou região, e a conseqüente descontinuidade na estrutura urbana, provocada pelo sistema de transporte. Isto altera também os níveis de acessibilidade. Segundo o Ministério dos Transportes:

“Nas áreas urbanas e especialmente em áreas comerciais e residenciais, uma via expressa de grande volume de tráfego forma uma barreira para a travessia de um lado para outro da via e para as inter-relações existentes. Pode também concorrer para a redução da segurança na circulação de pedestres e a alteração das condições de acessibilidade”. (GEIPOT, 1992 *apud* Mouette, 1998).

A acessibilidade é expressa em forma de índices, ou seja, valores que a traduzem. Da mesma forma, a falta de acessibilidade ocasionada pelo efeito barreira também pode ser medida. Trata-se de um índice que é o inverso da medida de acessibilidade. Davidson (1995) estuda essa medida, chamando-a isolamento. O isolamento é uma medida negativa de acessibilidade, ou seja, é uma medida de inutilidade, e pode ser usada para avaliar sistemas de transporte e políticas de uso do solo (DAVIDSON, 1995).

Diante do exposto, conclui-se que Osasco é uma cidade que sofre a influência do efeito barreira. Resta saber se o somatório de todos esses efeitos acarreta numa medida de acessibilidade baixa ou mesmo numa medida negativa de acessibilidade, ou seja, uma medida de isolamento.

Capítulo 7- ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

*“Para onde quer que o homem contribua com o seu trabalho
deixa também algo do seu coração.”*

Henryk Sienkiewicz (“A família Polaniecki”)

7 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS

7.1 EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DA IMAGEM DE SENSORIAMENTO REMOTO

A realização do estudo partiu da extração das informações necessárias para o cálculo do índice de acessibilidade diretamente das imagens de alta resolução espacial do satélite IKONOSII.

Primeiramente consultou-se o Foto-Índice fornecido pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo (figura 38) para que fosse possível identificar quais as imagens que continham as informações de interesse para o trabalho.

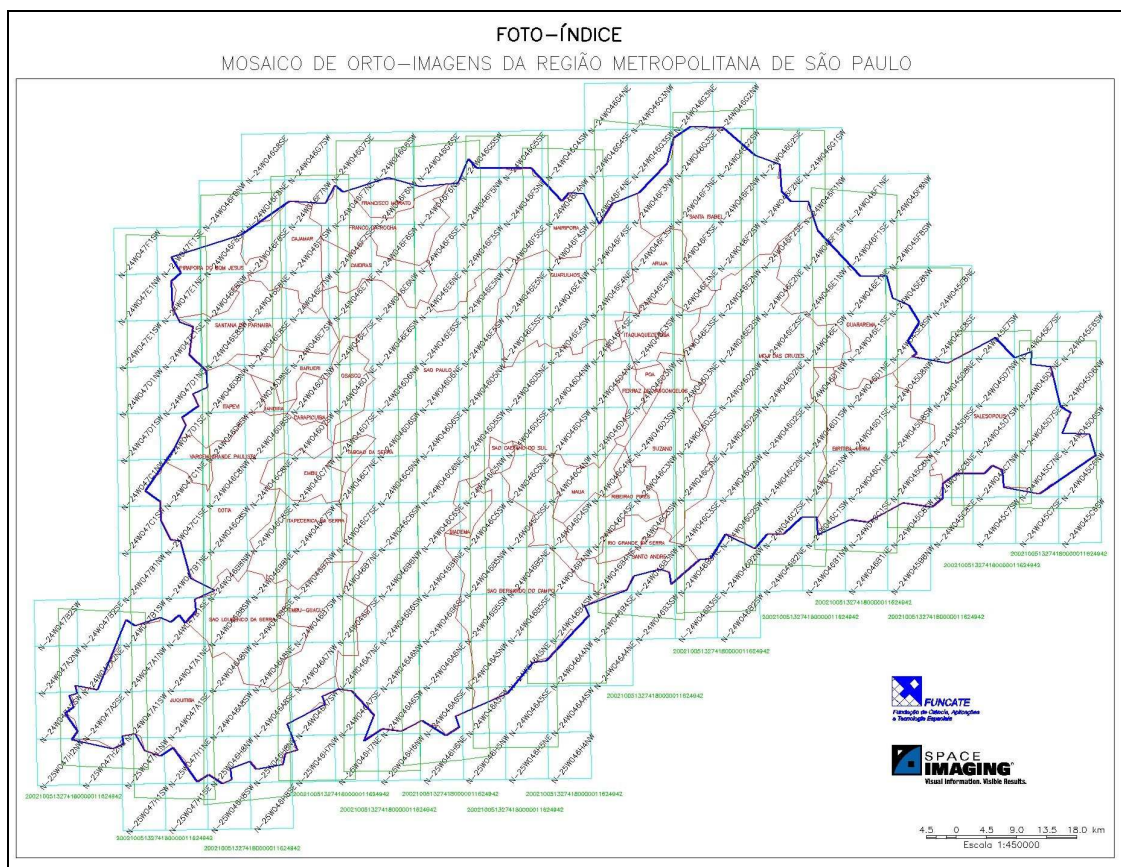


Figura 38: Índice de imagens IKONOS II.
Fonte: Instituto Geológico do Estado de São Paulo

As imagens referentes à área de estudo são: (projeção UTM zona 23 datum SAD 69) (figura 39).

- N24W046d7ne.img
- N24W046d7nw.img
- N24W046d7se.img
- N24W046d7sw.img
- N24W046e7se.img
- N24W046e7sw.img



Figura 39: Catálogo de imagens IKONOS II referentes à área de estudo
Fonte: Instituto Geológico do Estado de São Paulo

Com o uso do *software* ERDAS Imagine³⁸ foi realizado o empilhamento das imagens para compor o mosaico. Conforme se observa na figura 40, a ordem do empilhamento foi: no primeiro *layer* a imagem referente ao infravermelho próximo, no *layer* imediatamente acima a imagem referente ao canal vermelho, no próximo *layer* ao canal verde e no último *layer* a imagem referente ao canal azul.

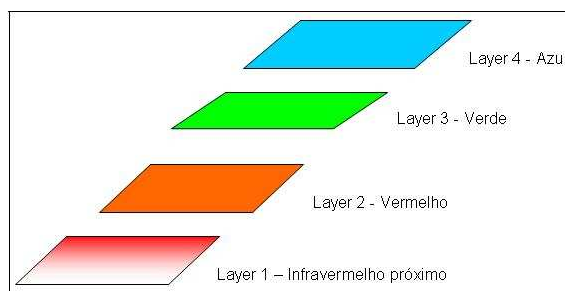


Figura 40: Empilhamento das imagens IKONOS II.

³⁸ A licença de aquisição e utilização do *software* ERDAS Imagine é de propriedade do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP.

O próximo passo foi a construção do mosaico (figura 41), também no *software* ERDAS. Retirou-se a área em excesso que estava presente no mosaico, que passou a recobrir somente a área de interesse.

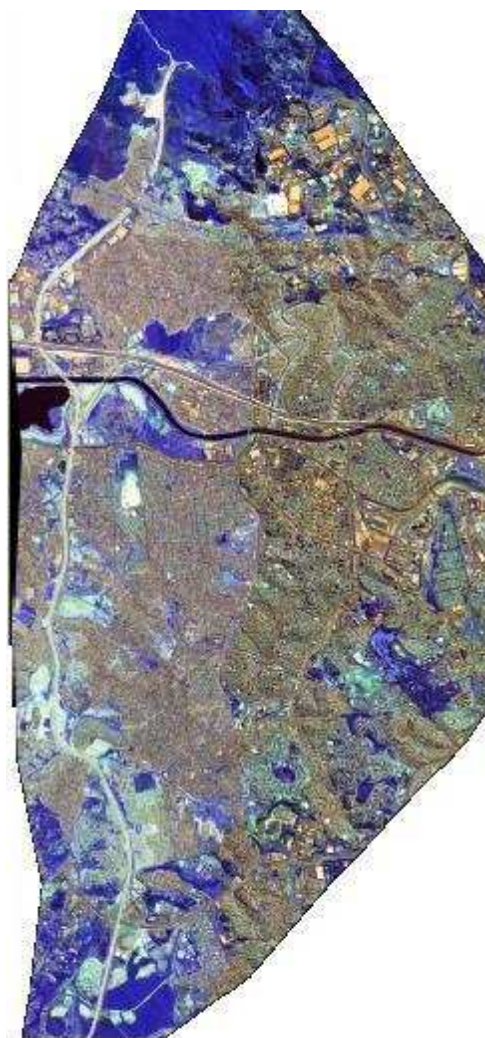


Figura 41: Mosaico das imagens IKONOS II referente à área de estudo.

Para a construção do mosaico foram utilizados recursos de transformações entre diferentes sistemas de coordenadas, visando compatibilizar o mosaico multiespectral então produzido, para o posterior processo de classificação baseada em objetos.

Conforme explica Nóbrega (2007), mesmo sendo o ERDAS Imagine amplamente conhecido e utilizado pela comunidade de sensoriamento remoto, inclusive para a classificação de imagens (classificação tradicional *pixel a pixel*), a classificação baseada em objetos, como proposta nessa pesquisa, não pode ser realizada nesse *software*. Por esta razão exportou-se esses dados obtidos com o auxílio do *software*

ERDAS para um *software* capaz de realizar a classificação de imagens baseada em objetos.

O grande desafio enfrentado durante a realização do presente estudo foi encontrar uma ferramenta adequada ao objetivo traçado para esta dissertação. Como o mais conhecido e utilizado *software* de classificação de imagens com orientação a objetos não pode ser utilizado, foi preciso buscar caminhos e soluções alternativos para que se atingisse as metas do trabalho.

Nos meses de novembro e dezembro de 2006 o Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP possuía uma licença do *software* específico para classificação orientada a objetos – o eCognition. Licença esta cedida em caráter provisório pelo GeoResources Institute da Mississippi State University – EUA, por ocasião do doutorado sanduíche do então doutorando Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega³⁹. Desta forma, testes e classificações preliminares orientadas a objetos foram realizadas. Todavia, a licença de uso do *software* expirou em 31 de dezembro de 2006, o todo o processamento realizado até então ficou retido, sem possibilidade de ser concluído. Muitas foram as tentativas para se obter a renovação ou a aquisição de uma nova licença do referido *software*, porém todas elas se demonstraram infrutíferas.

Diante deste impasse a solução encontrada foi adotar, não uma classificação orientada a objetos (descrita no item 2.6.1.2 do capítulo 2, segundo a técnica de modelagem de objetos como descrita por Rumbaugh *et al.* (1994), e que contém os conceitos básicos de modelos orientados a objetos, a saber: abstração, encapsulamento, polimorfismo e hierarquia ou herança), como é o caso da contemplada no *software* eCognition, mas sim uma classificação baseada em objetos, onde não há a obrigatoriedade de estarem presentes todas as premissas básicas da modelagem por objetos.

Para se realizar uma classificação baseada em objetos o primeiro passo é a segmentação da imagem, ou seja, a criação de objetos significativos na imagem (ver

³⁹ Tese de Doutorado intitulada “Detecção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos”, defendida em 17 de abril de 2007, em São Paulo, na EPUSP.

capítulo 2, item 2.6.1.2.3). Cada segmento (objeto), contém uma série de *pixels* contíguos com características semelhantes (por exemplo: textura e cor), e portanto, pertencentes à mesma classe.

Existem alguns softwares que realizam a segmentação de imagens. Neubert e Meinel (2003) e Meinel e Neubert (2004) realizaram um estudo comparativo entre vários segmentadores disponíveis para aplicações de sensoriamento remoto, e segundo os autores o segmentador do *software* SPRING, desenvolvido pelo INPE – Brasil, é um dos que apresenta os melhores resultados. Da mesma forma, Knapp (2007) realizou um trabalho onde utiliza o *software* SPRING para identificar e mapear as superfícies impermeabilizadas de uma dada área de estudo, utilizando para isto a segmentação de imagens de satélite de alta resolução espacial. O autor relata o bom desempenho do *software* e de seu segmentador.

O *software* SPRING é de uso livre e disponibilizado pelo INPE em sua página na Internet, sem quaisquer ônus para os usuários. A junção desses dois fatores (o seu bom desempenho atestado por trabalhos internacionalmente reconhecidos e a sua facilidade de obtenção) foi determinante para a escolha do *software* SPRING para segmentar a imagem IKONOS da área de estudo contemplada por este trabalho. Salienta-se ainda que o Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP possui um longo histórico de utilização deste *software*, sempre com bons resultados.

A segmentação no *software* SPRING baseia-se em similaridade, valendo-se das relações topológicas dos elementos da imagem, por meio do crescimento de regiões⁴⁰, que é uma técnica de agrupamento de dados na qual somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Inicialmente, este processo de segmentação rotula cada *pixel* como uma região distinta. Calcula-se um critério de similaridade para cada par de regiões adjacentes espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então se

⁴⁰ Para maior detalhamento sobre a segmentação por crescimento por regiões ver Gonzalez e Woods, 2000; e Gonzalez, Woods e Eddins, 2004.

realiza a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido. Para a união de duas regiões A e B vizinhas, deve-se adotar o seguinte critério:

- A e B são similares (teste das médias);
- a similaridade satisfaz o limiar estabelecido;
- A e B são mutuamente próximas (dentre os vizinhos de A, B é a mais próxima, e dentre os vizinhos de B, A é a mais próxima).

Caso as regiões A e B satisfaçam estes critérios, estas regiões são agregadas, caso contrário o sistema reinicia o processo de teste de agregação (INPE, 2007).

A utilização do segmentador por crescimento de regiões justifica-se na medida em que o objetivo é realizar uma classificação baseada em objetos, onde se faz uso de características texturiais, geométricas e de contexto, como forma de alcançar um melhor desempenho na identificação dos alvos pretendidos (empresas). Os polígonos gerados pela segmentação por crescimento de regiões, após serem convertidos para vetor, podem ser usados como amostras de treinamento para classificações digitais e, ainda em classificações visuais por meio de simples atribuição de classes aos polígonos (DLUGOSZ *et al.*, 2005 e DLUGOSZ, ROSOT e IURK, 2007).

Os parâmetros adotados para realizar a segmentação por crescimento de regiões no *software* SPRING foram: similaridade igual a 30 e área (*pixels*) igual a 50. A medida de similaridade é baseada na distância euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada região. Assim, duas regiões são consideradas distintas se a distância entre suas médias for superior ao limite de similaridade escolhido (INPE, 2007). O parâmetro área refere-se ao tamanho mínimo de área em número de *pixels* que representará uma região segmentada. Regiões com área menor que o mínimo escolhido são absorvidas pelas regiões adjacentes mais similares a estas (INPE, 2007).

O procedimento de segmentação da imagem IKONOS II da área referente ao município de Osasco (aproximadamente 70 km²) por meio do *software* SPRING requer um esforço computacional considerável. A primeira tentativa de segmentar a imagem foi feita no sistema operacional Windows, que se demonstrou incapaz de tal procedimento. Aliado a isto, o *software* SPRING apresenta limitações quando as

imagens a serem processadas têm resolução radiométrica superior a 8 bits (como é o caso das imagens IKONOS II, com 11 bits de resolução radiométrica). A solução foi degradar a imagem IKONOS II de 11 para 8 bits (perdendo dessa forma grande quantidade de informação presente nos pixels da imagem), e processar as imagens no sistema operacional LINUX. Feito desta maneira, o procedimento de segmentação durou sete dias ininterruptos (das 11:45 hs do dia 05/07/2007 até às 12:06 hs do dia 12/07/2007).

Todavia, no momento do passo seguinte, a extração dos atributos dos segmentos, os recursos computacionais disponíveis se demonstraram incapazes de realizar tal processamento. A solução adotada desta vez foi dividir a área de estudos em quatro partes, e realizar os processamentos separadamente para cada uma, e fazer a junção das partes no momento da classificação. A imagem foi dividida em partes 1, 2, 3 e 4. A parte 2, referente à zona central do município, é a que continha a maior quantidade de informação (muita variabilidade espectral), e não foi possível processá-la. Então, essa parte 2 foi novamente dividida, nas partes 2A e 2B (conforme ilustrado na figura 42), e desta vez foi obtido sucesso nos procedimentos de segmentação e extração de atributos.

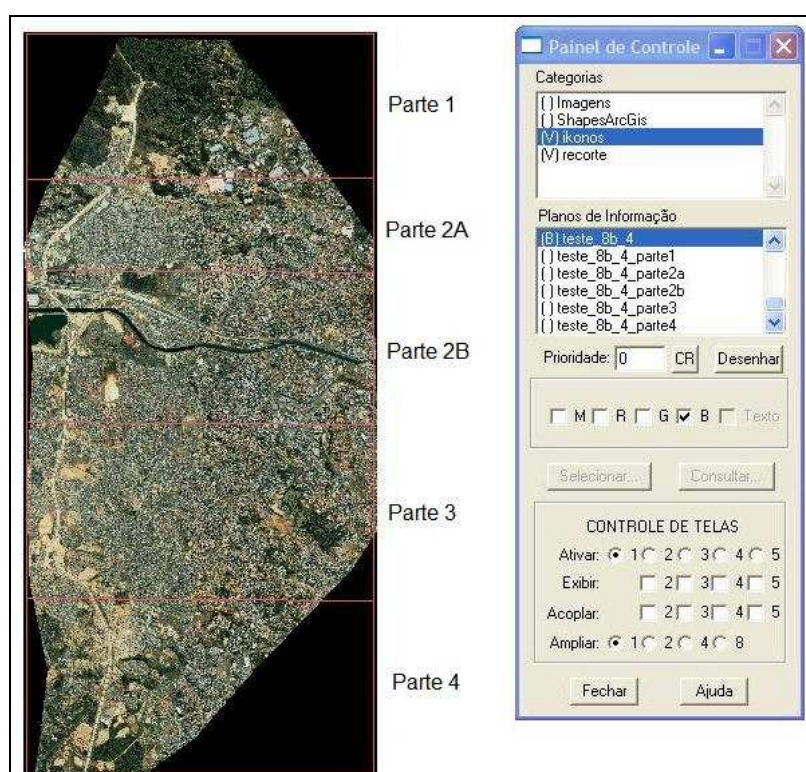


Figura 42: Divisão da imagem para os procedimentos de segmentação e extração de atributos.

O resultado da segmentação é apresentado nas figuras 43 e 44 a seguir:

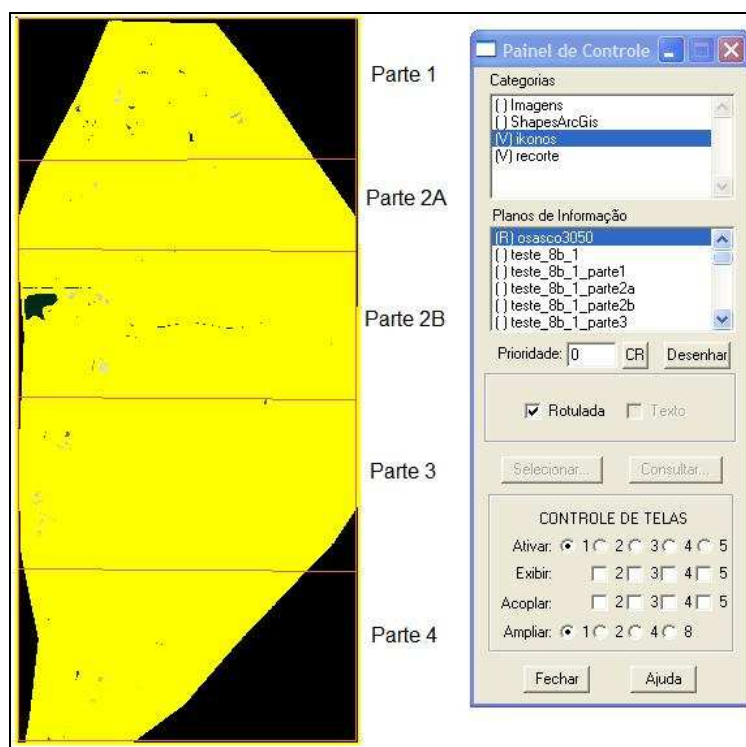


Figura 43: Segmentação da imagem no *software* SPRING.

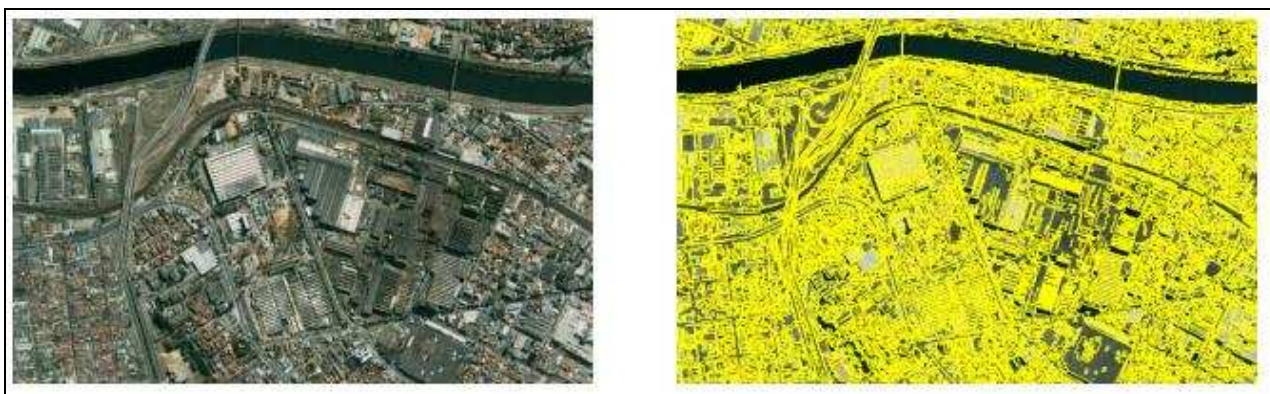


Figura 44: Detalhe da segmentação da imagem (Parte 2B), no *software* SPRING.

A etapa seguinte foi a classificação da imagem baseada nos objetos criados na segmentação. O *software* SPRING utiliza o classificador Isoseg, que é um algoritmo que classifica regiões de uma imagem segmentada. Trata-se de um algoritmo de agrupamento (*clustering*) de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto

de regiões (objetos), que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área (INPE, 2007).

O classificador Iseseg não assume nenhum conhecimento prévio da distribuição de densidade de probabilidade dos temas (alvos a serem classificados), como ocorre em outros algoritmos de classificação de imagens, como por exemplo o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER)⁴¹. É uma técnica para classificação que agrupa regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. A medida de similaridade utilizada consiste na distância de Mahalanobis⁴² entre a classe e as regiões candidatas à relação de pertinência com esta classe (INPE, 2007).

O classificador Iseseg utiliza os atributos estatísticos das regiões (que também podem ser denominadas polígonos ou segmentos): a matriz de covariância e o vetor de média, para estimar o valor central de cada classe. O usuário deve definir um limiar de aceitação, dado em porcentagem; neste estudo esse limiar foi definido em 99%. Este limiar por sua vez define uma distância de Mahalanobis, de forma que todas as regiões pertencentes a uma dada classe estão distantes da classe por uma distância inferior a esta. Quanto maior o limiar, maior esta distância e conseqüentemente maior será o número de classes detectadas pelo algoritmo (INPE, 2007).

⁴¹MAXVER é o método de classificação supervisionada *pixel a pixel*, que considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento. Para duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um *pixel* pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do *pixel* em relação a esta distribuição. Ocorre uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um determinado *pixel* tem igual probabilidade de pertencer às duas classes. Nesta situação estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares (INPE, 2007). Para maiores detalhes consultar Crósta (1993), Vieira (1996) e Lillesand *et al.* (2004).

⁴² Medida estatística de distância introduzida pelo cientista e estatístico indiano Prasantha Chandra Mahalanobis, em 1936. Baseia-se na correlação entre variáveis pelas quais diferentes padrões podem ser identificados e analisados. É uma maneira muito útil de determinar a similaridade entre um conjunto desconhecido de amostras e um outro conjunto conhecido. Esta medida difere da medida de distância euclidiana, pois leva em consideração a correlação do conjunto de dados, e não varia com a escala adotada, isto é, não depende da escala de medidas. Para maiores detalhes consultar: MAHALANOBIS, P. C. On the generalised distance in statistics. In: **Proceedings of the National Institute of Science of India**, v. 12, p. 49-55, 1936, e RAO, C. R. Prasantha Chandra Mahalanobis: 1893 – 1972. In: **Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society**, v. 19, p. 454-492, 1973.

Para a detecção das classes essas regiões são ordenadas em ordem decrescente de área e inicia-se o procedimento para agrupá-las em classes. Tomam-se como parâmetros estatísticos de uma classe (média e matriz de covariância) os parâmetros estatísticos da região de maior área que ainda não tenha sido associada à classe alguma. Então, associa-se a esta classe todas as regiões cuja distância de Mahalanobis for inferior à distância definida pelo limiar de aceitação. Desta forma, a primeira classe terá como parâmetros estatísticos àquelas regiões de maior área. As classes seguintes terão parâmetros estatísticos de média das regiões de maior área, que não tenham sido associadas a nenhuma das classes previamente detectadas. Este procedimento se repete até que todas as regiões tenham sido associadas a alguma classe. Por fim ocorre a competição entre classes, ou seja, as regiões são reclassificadas, considerando-se os novos parâmetros estatísticos das classes, definidos na etapa anterior (INPE, 2007).

Foram geradas neste trabalho 55 classes na área de estudo. Essas classes foram mapeadas, para que fosse possível transformar a imagem classificada em mapa temático, em formato raster. Esse mapa temático gerado a partir da imagem foi convertido para o formato vetorial e exportado para ambiente SIG, para a próxima etapa do trabalho: fazer uma reclassificação dos polígonos baseada em objetos. O resultado da classificação Isoseg é apresentado na figura 45.

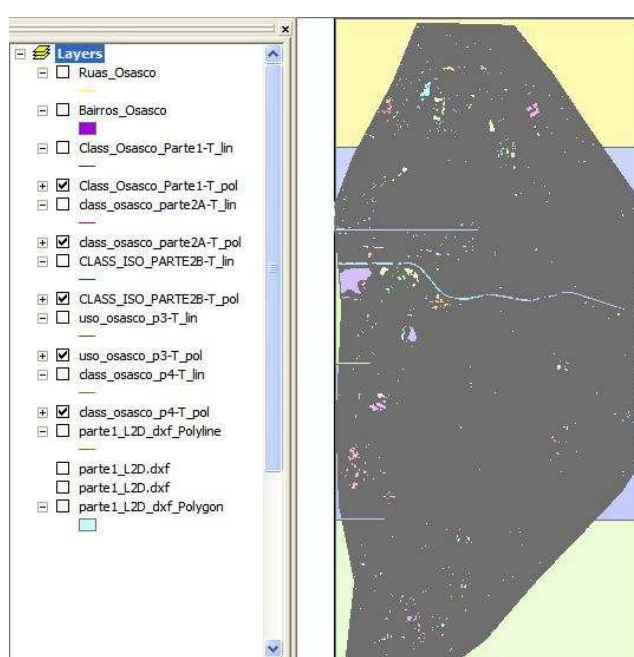


Figura 45: Classificação Isoseg gerada no *software* SPRING e exportada para um *software* SIG

As figuras 46 e 47 a seguir ilustram as diferenças existentes dentro da área de estudo. Na parte 1 (figura 46), há a predominância de vegetação, porém uma vegetação não homogênea (grande diversidade de espécies e de porte), o que gera um número muito grande de classes de vegetação. As empresas (objeto do estudo), também são alvo de grande confusão entre as classes. Por sua vez, a parte 2B (figura 47), é uma zona eminentemente urbana, porém com grande variabilidade espectral, o que também gera um número excessivo de classes (por exemplo, o rio Tietê neste trecho está em duas classes diferentes), também com grande confusão entre as classes. O motivo do tratamento baseado em objetos visa atenuar tais confusões, usando outras informações que não apenas a espectral.

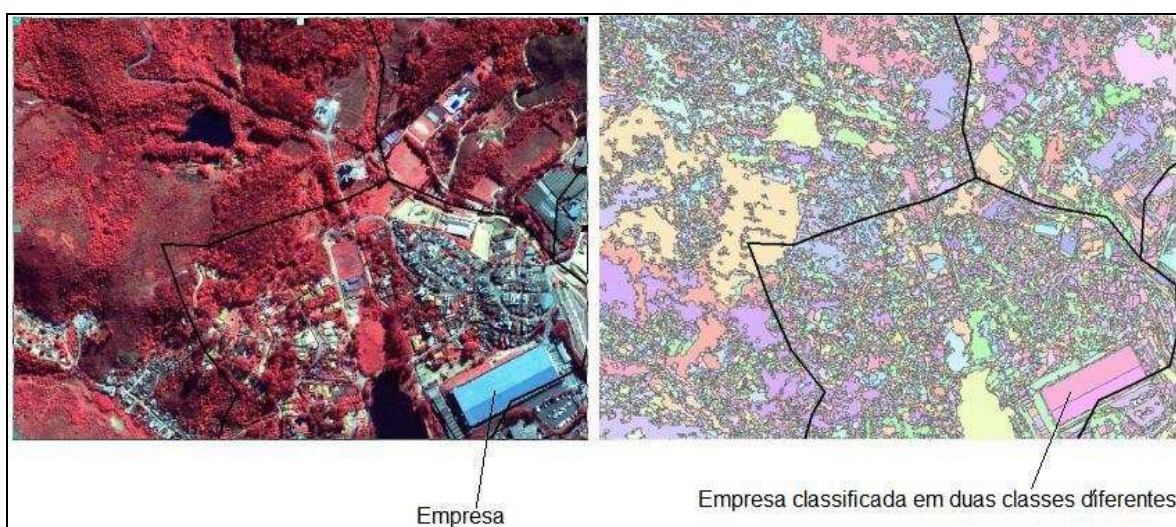


Figura 46: Detalhe da classificação Iseg na parte 1 da área de estudo.



Figura 47: Detalhe da classificação Iseg na parte 2B da área de estudo.

Para realizar a reclassificação das classes geradas no Isoseg, informações de forma e contexto foram utilizadas. Como o foco do trabalho foi encontrar a localização espacial das empresas, não houve preocupação com as demais classes (vegetação, água, sombra, vias, solo exposto, residências, etc.). Exemplificando: existia uma grande quantidade de sub-classes dentro da classe vegetação (muitos tipos de vegetação), mas como não se pretendia trabalhar com as informações referentes à vegetação, todas as classes mapeadas como vegetação foram agrupadas numa classe geral denominada “mato”, e colocadas de lado (eram eliminadas no processo de detecção das empresas). Obteve-se, portanto, dois grupos de informações: as que não interessavam (vegetação, água, sombra, etc.) e as que interessavam (as empresas).

Porém, mesmo assim havia classes de confusão que afetavam a qualidade da informação procurada, ou seja, a localização das empresas. Citando alguns exemplos: muitas vezes a classe empresas confundia-se com as classes solo exposto e vias. Em um *software* orientado a objetos, tal confusão é facilmente resolvida quando se usa relação de vizinhança, ajuste retangular, relação comprimento largura, informações de textura e etc. Porém, neste trabalho não foi possível a abordagem orientada a objetos, e o enfoque baseado em objetos foi realizado em ambiente SIG, no software ArcGIS⁴³.

Para separar solo exposto de empresa utilizou-se uma restrição de área. Como os polígonos de solo exposto que se confundiam com os de empresas eram aqueles de área bastante grande, utilizou-se o critério área para separá-los: os polígonos com área entre determinados valores eram pertencentes à classe empresa, caso contrário eram pertencentes à classe solo exposto. Para separar vias e empresas o critério adotado foi uma relação área - perímetro: polígonos com relação área – perímetro dentro de determinado intervalo eram classificados com empresa, caso contrário classificados como via. Todas essas considerações sobre as classes foram

⁴³ A licença de aquisição e utilização do *software* ArcGIS, da ESRI, é de propriedade do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP.

geradas por meio da análise visual da imagem, por meio de amostras de treinamento.

Desta forma, foi possível reclassificar a imagem. O resultado deste procedimento é apresentado nas figuras 48 e 49 a seguir:

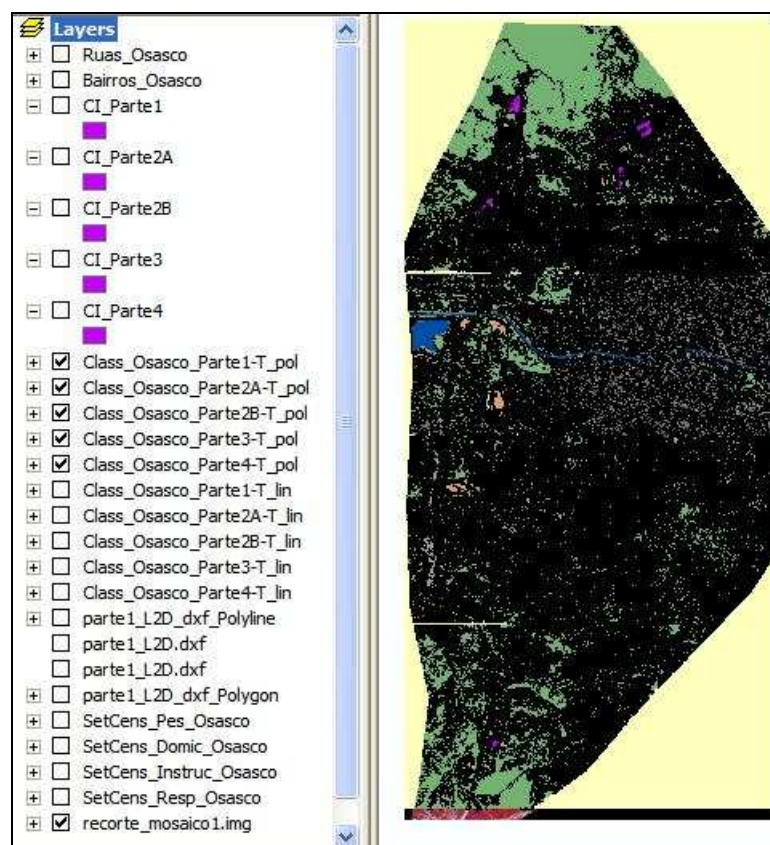


Figura 48: Imagem reclassificada no software SIG ArcGIS.

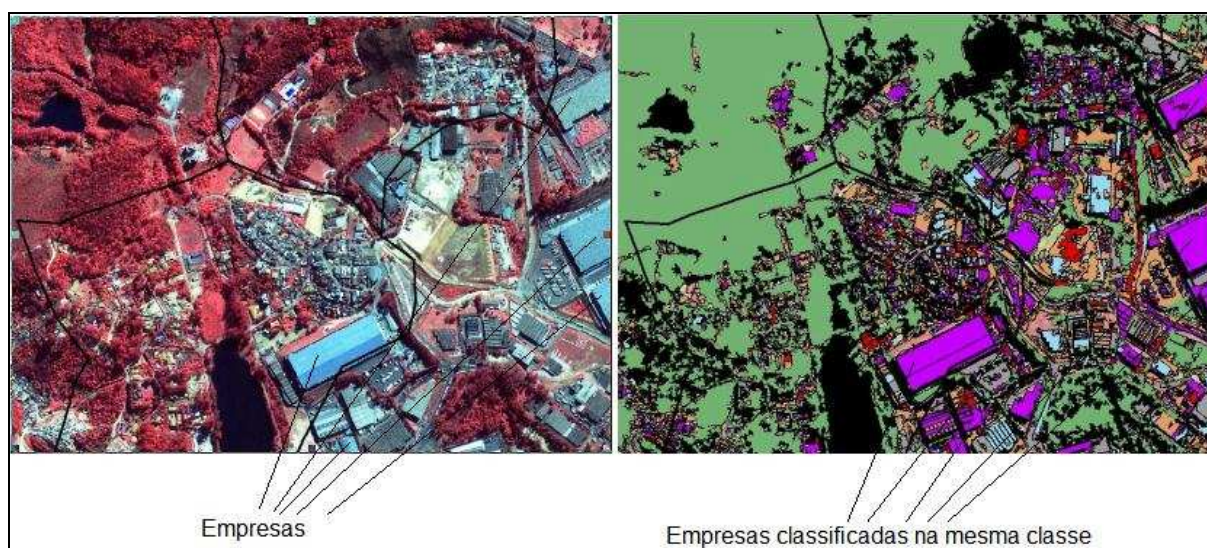


Figura 49: Detalhe da Imagem reclassificada no software SIG ArcGIS.

Mesmo após todos os procedimentos e análises ainda existiam classes de confusão, principalmente entre as classes empresas (de micro e pequeno porte) e residências. Porém, por meio da imagem do satélite IKONOS II com 4 metros de resolução espacial não é possível distinguir residência e microempresa (não há como dizer se é uma residência ou uma lojinha, mercearia, quitanda, etc.). Ocorre aqui o chamado erro de omissão (não foi classificado como empresa um polígono que na realidade é empresa). E muitas vezes as empresas de pequeno porte também não podem ser detectadas (erro de omissão), ou o são erroneamente. Ocorre neste segundo caso o erro de comissão (o polígono é classificado como empresa, mas na realidade não é empresa).

Terminada a classificação baseada em objetos obteve-se o resultado ilustrado nas figuras 50 e 51 quanto à localização das empresas de pequeno, médio e grande porte:

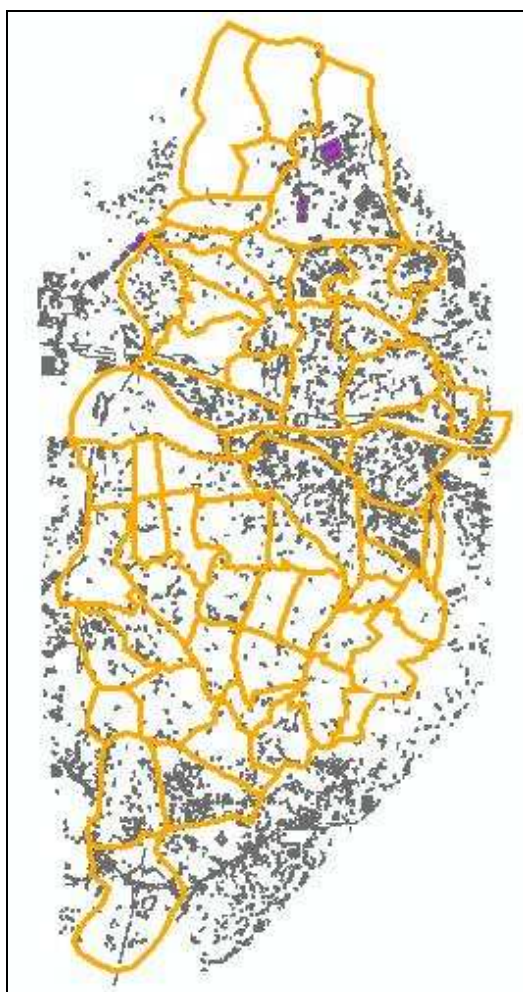


Figura 50: Polígonos referentes às empresas do município de Osasco

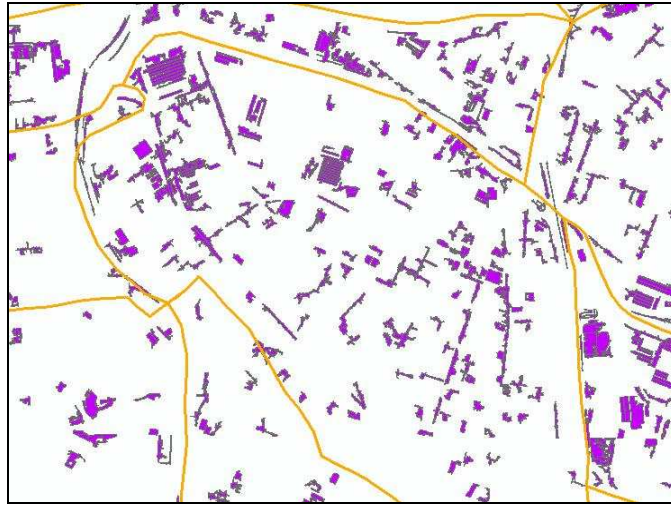


Figura 51: Detalhe dos polígonos referentes às empresas do município de Osasco

Para os cálculos referentes ao índice de acessibilidade são necessários pontos e não polígonos, então o próximo passo foi o cálculo dos centróides de cada polígono. O resultado é apresentado na figura 52 a seguir:

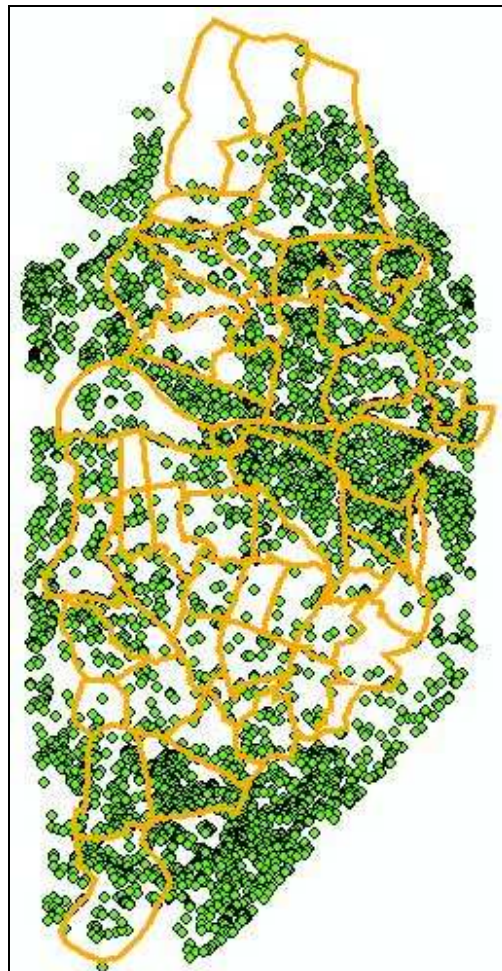


Figura 52: Centróides dos polígonos referentes às empresas da área total do mosaico da imagem.

Como o mosaico utilizado para a classificação não correspondia exatamente aos limites do município de Osasco, os centróides que estavam fora do município foram desconsiderados e retirados dos cálculos (figura 53).

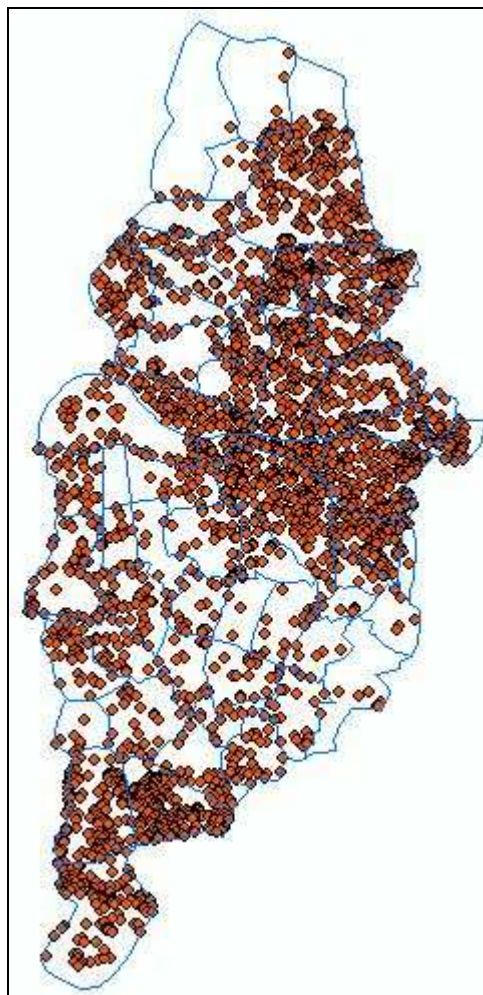


Figura 53: Centróides dos polígonos referentes às empresas apenas dentro do município de Osasco.

Foram encontradas 2787 empresas de pequeno, médio e grande porte no município de Osasco por meio da metodologia proposta nesta dissertação. Todavia, vale ressaltar que tanto o processo de classificação orientado por objetos como o baseado em objetos, embora com avanços promissores, têm se mostrado plenamente dependente do conhecimento do operador, seja para caracterização dos objetos através da segmentação das imagens, seja para modelar as regras utilizadas na discriminação dos mesmos, tanto para trabalhos baseados no eCognition, como para os que recorreram à implementação da ferramenta em ambiente SIG (NÓBREGA, 2007).

7.2 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACESSIBILIDADE

Partindo-se do pressuposto que o objetivo da dissertação é apresentar e validar uma metodologia para determinar o índice de acessibilidade de uma área de estudo, por meio da extração dos dados a partir de produtos de sensoriamento remoto, torna-se evidente que não se pretende testar qual ou quais índices são os melhores ou mais adequados para determinado estudo.

A meta é determinar o índice de acessibilidade do município de Osasco utilizando os dados provenientes das imagens de alta resolução espacial do satélite IKONOS, e comparar com o índice de acessibilidade (calculado da mesma forma, ou seja, o mesmo tipo de índice) obtido por meio dos dados cadastrais (pesquisa de campo).

Assim sendo, optou-se por usar o índice mais simples, aquele que utiliza a medida de separação espacial. Não foram considerados fatores de impedância (fricção) na rede. A medida de separação espacial considerada foi a distância (através da rede viária, e não a distância euclidiana entre os nós (pontos) da rede. O mesmo índice de separação espacial poderia ser calculado a partir do tempo de viagem ou do custo de viagem.

Como visto no item anterior, das imagens IKONOS foram extraídas as localizações das empresas, com exceção das microempresas, (figura 53).

Cada empresa é representada por um ponto na imagem. Com o auxílio do *software* SIG específico para transportes, o TransCAD⁴⁴, cada ponto é alocado na rede viária na intersecção (nó) mais próxima a ele. O TransCAD combina a capacidade de um SIG com procedimentos de modelagem de transportes em uma única plataforma. As figuras 54 e 55 a seguir ilustram a rede e as empresas na cidade de Osasco dentro do *software* TransCAD (as empresas são representadas pelos pontos azuis).

⁴⁴ A licença de aquisição e utilização do *software* TransCAD, da Caliper, é de propriedade do Laboratório de Geoprocessamento da EPUSP. Como referência para o uso do *software* TransCAD utilizou-se Silva e Van Der Waerden (1997).

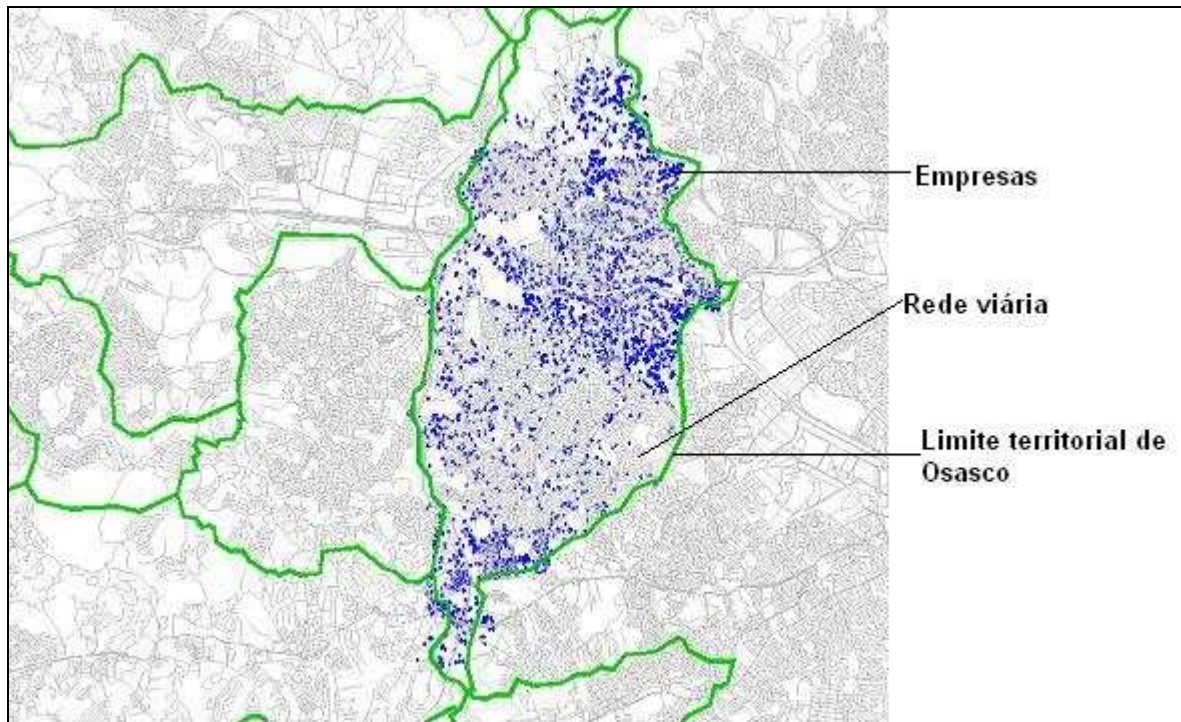


Figura 54: Rede viária e empresas de Osasco – *software* TransCAD.

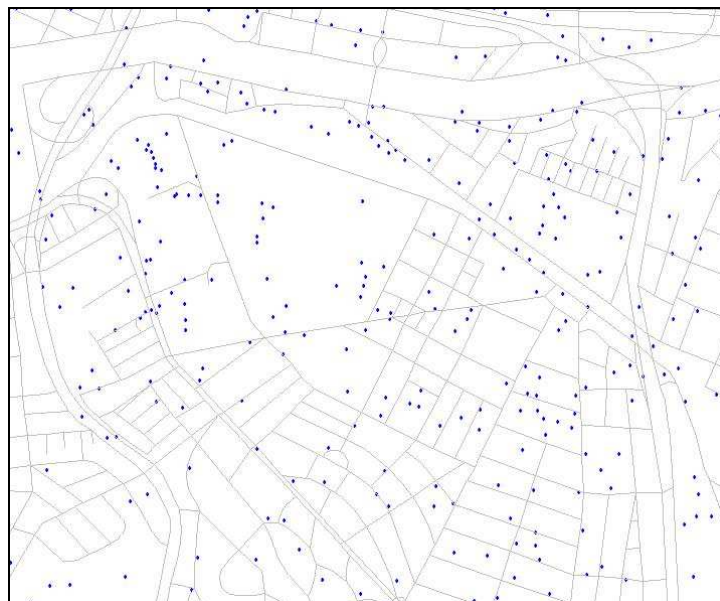


Figura 55: Detalhe da rede viária e empresas de Osasco – *software* TransCAD.

Calcula-se uma matriz com a distância de todas as empresas para todas as empresas, pela rede viária. A formulação é a seguinte:

- Cálculo do índice de acessibilidade relativa:

$$a_{ij} = \sum_{j=1}^N d_{ij} \quad (\text{Equação 2: Índice de acessibilidade relativa})$$

Onde:

- a_{ij} é o índice de acessibilidade relativa da empresa i em relação à empresa j;
 - i é a empresa de origem;
 - j é a empresa de destino;
 - N é o número de empresas;
 - D é a distância em quilômetros através da rede viária da empresa i até a empresa j.
- Cálculo do índice de acessibilidade integral:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^N a_{ij}}{N-1} \quad (\text{Equação 3: Índice de acessibilidade integral})$$

Onde:

- A_i é o índice de acessibilidade integral da empresa i em relação a todas as demais empresas.
- i é a empresa de origem;
- j é a empresa de destino;
- N é o número de empresas

Os índices relativo e integral de acessibilidade, como anteriormente observado no capítulo 4, apresentam restrições:

- O índice relativo não reflete o nível de acessibilidade de um ponto que está conectado a múltiplos pontos, ou seja, não se pode comparar a acessibilidade do ponto i com a do ponto j.
- O índice integral pode ser usado para comparar o nível de acessibilidade de diferentes pontos dentro de uma região, porém, este índice não pode ser usado para comparar áreas distintas.

Pelos motivos expostos, tornou-se necessário adotar um índice que superasse tais restrições, e que representasse o nível de acessibilidade do setor empresarial (comércio e indústria de pequeno, médio e grande porte) da cidade de Osasco, e pudesse ser comparado com o mesmo índice de outras regiões.

Tal índice traduz-se no chamado índice de acessibilidade total, e é dado por:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \quad (\text{Equação 4: Índice de acessibilidade total})$$

Onde:

- E é o índice de acessibilidade total
- A_i é o índice de acessibilidade integral da empresa i em relação a todas as demais empresas;
- N é o número de empresas

O índice de acessibilidade total é, portanto, uma integral normalizada do índice de acessibilidade integral, ou ainda, uma integral dupla normalizada da acessibilidade relativa. Em suma, E (descrito no capítulo 4) fornece uma média estimada das distâncias entre dois pontos que são aleatoriamente selecionados entre os N pontos.

Com as empresas (pontos) alocadas nos nós da rede (intersecções) foram realizados os cálculos do índice de acessibilidade total para:

- a. Todos os pontos (empresas) para todos os pontos (empresas) obtidos por meio das imagens IKONOS (metodologia proposta) (neste caso N é o número de empresas);
- b. Todos os nós (intersecções da rede) para todos os nós (intersecções da rede). Este índice reflete o nível de acessibilidade total geral da cidade de Osasco (não apenas do setor empresarial) (neste caso N é número total de intersecções do município). Este índice foi calculado para que fosse possível ter uma noção da magnitude do nível de acessibilidade da cidade, ou melhor dizendo, para se ter noção se o índice de acessibilidade das empresas está ou não próximo do geral.

Apresentam-se os seguintes resultados:

$\sum A_i$	N	Acessibilidade Total (E)
18.216,15	2787	E (empresas) = 6,54
33.656,29	6156	E (geral)= 5,47

Tabela 4: Índice de acessibilidade total (E) calculado pela metodologia proposta.

7.3 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Para validar a metodologia proposta o mesmo índice de acessibilidade total do setor empresarial da cidade de Osasco foi calculado a partir de dados cadastrais cedidos pela Prefeitura do Município de Osasco (figura 56). Esses dados são referentes a 2003, o que por si só já acarreta em erros nos resultados, pois as imagens IKONOS II utilizadas na metodologia proposta são do ano de 2002. Porém, assume-se o risco, pois não existiam outros dados que pudessem ser utilizados.

O cadastro da prefeitura está dividido em micro, pequenas, médias e grandes empresas, e apresenta um total de 14.472 empresas regularmente inscritas no cadastro da Prefeitura. Ao compararmos esse número com aquele oriundo da classificação da imagem (2787 empresas) percebe-se que a maioria das empresas não foi detectada pela imagem.

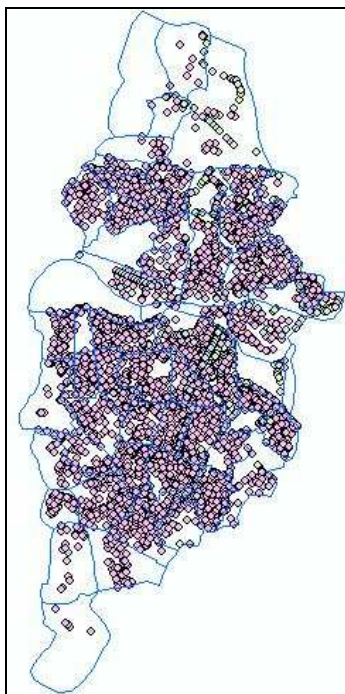


Figura 56: Localização espacial das empresas de micro, pequeno, médio e grande porte de Osasco

Fonte: Prefeitura do município de Osasco

Porém, quando retiramos desse inventário as microempresas, que não podem ser detectadas por meio da imagem pelos motivos já expostos, tem-se um total de 961 empresas regularmente inscritas no cadastro municipal (figura 57). Conclui-se que a grande maioria das empresas do município é constituída de microempresas (que estão fora do alcance da presente metodologia). Desta feita, percebe-se que a metodologia detectou mais empresas do que as que realmente existem, quando se considera apenas as empresas de pequeno, médio e grande porte.

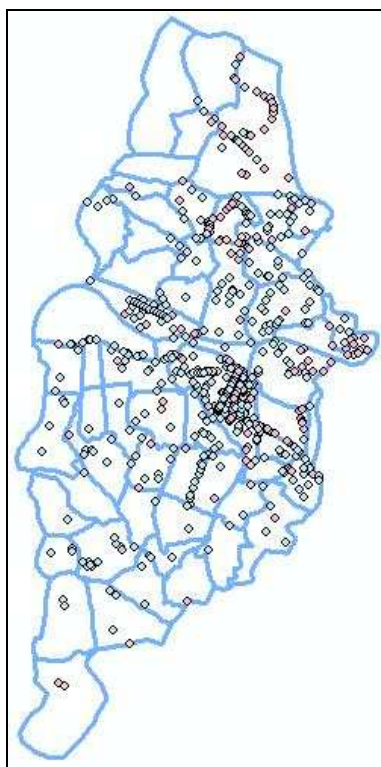


Figura 57: Localização espacial das empresas de pequeno, médio e grande porte de Osasco.

Fonte: Prefeitura do município de Osasco

Portanto, a validação da metodologia foi feita por meio dos dados cadastrais de empresas sem as microempresas, e utilizando a mesma rede viária. Calculou-se o índice de acessibilidade total de todos os pontos (empresas) para todos os pontos (empresas) obtidos por meio do cadastro da prefeitura. Os resultados foram os seguintes:

$\sum A_i$	N	Acessibilidade Total (E)
4.041,85	961	E (empresas) = 4,21

33.656,29	6156	E (geral)= 5,47
-----------	------	-----------------

Tabela 5: Índice de acessibilidade total (E) calculado pelo método convencional.

Os resultados obtidos validam a metodologia proposta, no sentido de que demonstram ser possível a construção de uma base de dados para determinação de índices de acessibilidade de uma área de estudo diretamente de imagens de sensoriamento remoto.

Capítulo 8- CONCLUSÕES

*“Por detrás das vitórias de Alexandre, encontramos sempre
Aristóteles”.*

Charles de Gaulle

8 CONCLUSÕES

A metodologia proposta demonstrou ser possível a extração de dados para planejamento urbano e de transporte por meio de produtos de sensoriamento remoto. Isto é particularmente interessante quando dados cadastrais, obtidos diretamente de trabalhos de campo, não existem ou estão desatualizados, o que gera desconfiança em relação a eles.

O índice de acessibilidade total calculado pela metodologia proposta está próximo do índice calculado pela metodologia convencional. Isto encoraja que sejam feitas mais pesquisas e estudos sobre o tema, com a finalidade de se aprimorar este método, e torná-lo mais preciso.

Parte dos erros nos cálculos dos índices de acessibilidade decorre do fato que por meio das imagens de satélite (mesmo as de alta resolução, como é o caso das usadas neste trabalho), não é possível detectar as microempresas.

O Estatuto da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte (Lei nº 9841/99), define microempresa como a pessoa jurídica e a firma mercantil individual que tenha receita bruta anual igual ou inferior a R\$ 433.755,14⁴⁵, ou seja, uma média de rendimento mensal da ordem de R\$ 36.000,00. Portanto, enquadram-se na categoria de microempresas: os bares, lanchonetes, bazares, quitandas, mercearias, imobiliárias, etc. Em resumo, trata-se do pequeno comerciante e prestador de serviços em geral, na maioria das vezes com nenhum funcionário, ou no mais das vezes com dois ou três no máximo⁴⁶. A sede física destas microempresas, na maioria dos casos, são residências que foram modificadas para este fim. Não se tratam de grandes instalações, passíveis de serem distinguidas por meio de imagens de satélite. Assim sendo, tais empresas não foram detectadas na imagem IKONOS II por impropriedade absoluta do meio empregado. Ocorreu, neste caso, um erro de

⁴⁵ Lei nº 9841/99, artigo 2º, inciso I, modificado pelo Decreto nº 5028/04.

Disponível em:

<http://www.sebraesp.com.br/topo/fique%20de%20olho/informações/estatuto%20da%20mpe/estatuto_mpe.aspx>

⁴⁶ Informações provenientes da tabela do cadastro da prefeitura das empresas de 2003.

omissão. Isto explica o fato de terem sido detectadas 2787 empresas, quando na realidade esse número é de 14.473 empresas (segundo dados de 2003 da prefeitura de Osasco).

Enfatiza-se, porém, que com os recursos disponíveis nesta dissertação não foi possível uma classificação por objetos com resultados muito apurados. A falta de um *software* específico para modelagem por objetos comprometeu o resultado final. Houve grande confusão entre a classe “empresas” e as classes “residência”, “vias” e “solo exposto”.

Caso tivesse sido utilizado o conceito topológico de vizinhança, a confusão entre empresas e residências seria atenuada. Pois, (excetuando-se as microempresas) a lei de zoneamento municipal de Osasco trata de apartar zonas estritamente residenciais das de comércio e indústria. Isto é: caso um polígono classificado como empresa encontre-se rodeado de polígonos classificados com residências, é muito provável que este seja, na realidade, residência, e vice e versa.

Quanto à confusão entre as classes “empresas” e “vias”, uma relação do tipo comprimento/largura separaria estas classes, pois as vias têm grande comprimento e pequena largura. Este recurso não pode ser empregado porque na metodologia baseada em objetos contemplada neste estudo isto não era factível. As informações presentes nos objetos (polígonos) continham apenas informações de área e perímetro.

Tais restrições acarretaram em erro de comissão, ou seja, polígonos que não eram empresas foram assim classificados. Isto se traduz no resultado obtido: 2787 empresas de pequeno, médio e grande porte, quando na realidade o número correto é de 961 empresas.

Mesmo com estas discrepâncias, os índices de acessibilidade total calculados pelo modelo proposto e pelo convencional, apresentam a mesma ordem de grandeza, e também se aproximam do índice de acessibilidade total geral do município (utilizando todas as intersecções da rede viária).

Conclui-se que a metodologia é válida para a extração dos dados necessários para a determinação de índices de acessibilidade, devendo ser aprimorada, no sentido de minimizar as confusões entre as classes e conseqüentemente diminuir os erros de omissão e comissão na classificação da imagem.

Para esse aprimoramento, uma alternativa seria, por exemplo, o uso do conceito de hierarquia para a classificação por objetos utilizando-se um algoritmo de classificação em múltiplos estágios, em especial o classificador de decisão em árvore (CDA), cuja estrutura tem a forma de uma hierarquia binária, de modo que somente duas classes sejam consideradas em cada estágio da classificação (figura 58).

Batista e Haertel (2007) afirmam que essa estrutura apresenta a vantagem de permitir uma seleção mais adequada para dados espectrais e espaciais em cada estágio. Ao invés de selecionar o conjunto de bandas espectrais e dados espaciais que ofereçam a maior separabilidade entre a totalidade das classes, a exemplo do que ocorre em classificadores de estágio único (onde o conceito de hierarquia ou herança não está presente), um CDA binário permite que em cada estágio seja usado um conjunto próprio de bandas espectrais ou dados espaciais, aquele que apresenta a maior separabilidade entre as duas classes tratadas no estágio.

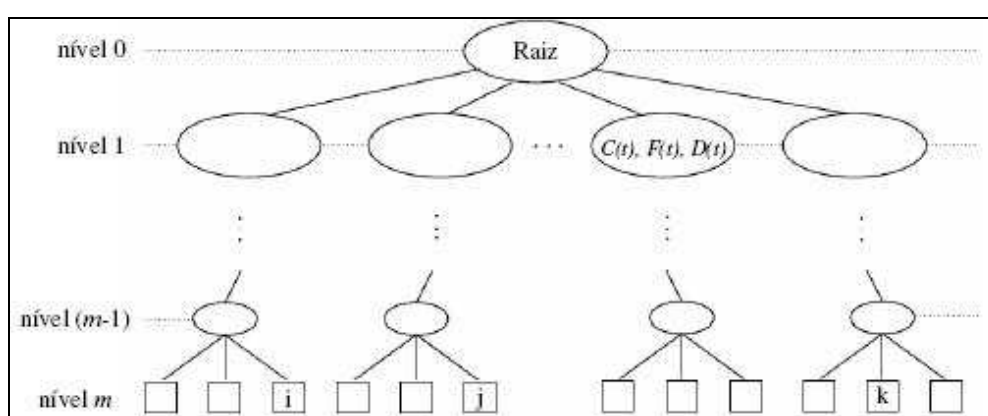


Figura 58: Estrutura geral de um classificador de decisão em árvore.
Fonte: Batista e Haertel (2007)

Para localidades que não possuam dados cadastrais (atualizados) provenientes de pesquisas de campo, a presente metodologia se apresenta como uma solução viável, por ser mais rápida e menos onerosa, e permite que sejam estimados e

analisados índices e parâmetros para o planejamento urbano e de engenharia de transportes, com um resultado satisfatório.

Capítulo 9- RECOMENDAÇÕES

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento”.

Platão

9 RECOMENDAÇÕES

Como seqüência desta dissertação recomenda-se que outros índices ou parâmetros espaciais sejam calculados por meio da metodologia proposta. Seria uma forma de averiguar sobre a eficiência e eficácia do método para diferentes índices, e verificar se ele pode ser assim utilizado.

Pode ser realizada uma análise de desempenho da classificação (geração das matrizes de confusão⁴⁷ e contingência⁴⁸), para que seja possível avaliar a exatidão na classificação.

A utilização de outros produtos de sensoriamento remoto, como fotografias aéreas de altíssima resolução (inferiores a um metro de resolução espacial), para aplicação do método proposto, pode melhorar bastante os resultados aqui obtidos.

Além disso, sugere-se que o experimento seja refeito utilizando a modelagem orientada a objetos (com os requisitos abstração, encapsulamento, polimorfismo, hierarquia ou herança presentes na modelagem). Ou seja, que seja usado um *software* específico para classificação de imagens orientada a objetos.

Outra recomendação é a possibilidade de extração do sistema viário⁴⁹, diretamente da imagem de satélite. Assim sendo, a metodologia estaria totalmente isenta de dados cadastrais (como a rede viária que foi aqui utilizada). Isto tornaria o método independente de outras fontes de dados que não os produtos de sensoriamento remoto.

⁴⁷ A matriz de confusão é usada para avaliar o resultado da classificação, pela comparação da verdade terrestre (dados de referência) com a classificação produzida, mostrando quantitativamente os *pixels* classificados de forma errada (GONÇALVES *et al.*, 2006).

⁴⁸ A matriz de contingência indica a precisão da classificação. O resultado mostra o quanto a classificação efetuada categorizou bem os *pixels* da área de amostragem. Os *pixels* classificados em suas corretas categorias são posicionados na diagonal principal da matriz e todos os elementos extradiagonal indicam os erros resultantes da classificação (MOURA *et al.* 2002).

⁴⁹ Tema da Tese de Doutorado de Nóbrega (2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V., C. Panorama do sistema de transporte por táxi: estudo de caso na cidade de Porto Alegre. In: **XVI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v.1, 2002, Natal. Anais, p 11-18.

ALLEN, W. B.; LIU, D.; SINGER, S. Accessibility measures of US metropolitan areas. In: **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 27, n. 6, p. 439-449, 1993.

ALMEIDA, G. E. S. **Análise do índice de instalação de empresas no município de Osasco utilizando sistemas de informação geográfica e análise envoltória de dados – DEA**. 2006. 121 p. Dissertação (Mestrado) - EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C.; CENTENO, J. A. S. Object oriented analysis and semantic Network for high resolution image classification. In: **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 9, n. 2, p. 233-242, Curitiba, 2003.

ARONOFF, S. **Remote sensing for GIS managers**. 1.ed. Redlands, California: ESRI Press, 2005. 487 p.

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic networks. In: **2nd International Symposium: Operationalization of Remote Sensing**, ITC, The Netherlands, 1999.

BALTSAVIAS, E.; PATERAKI, M.; ZHANG, L. Radiometric and geometric evaluation of IKONOS GEO images and their use for 3D building modelling. In: **Joint ISPRS Workshop high resolution mapping from space**, 2001, Hannover, . p.15-35.

BALTSAVIAS, E. Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.58, n.3-4, p. 129-151, 2004.

BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. **Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2005, 54p. Disponível em:
< <http://eprint.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint@80/2005/04.01.14.06/doc/v1.pdf>>
Acesso em 12 de junho, 2007

BATISTA, M. H.; HAERTEL, V. Classificação hierárquica orientada a objeto em imagens de alta resolução empregando atributos espaciais e espectrais. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. Anais, p. 489-497.

BLACK, J.; CONROY, M. Accessibility measures and the social evaluation of urban structure. In: **Environment and Planning A**, v. 9, n. 9, 1977, p. 1013-31.

BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S. Processamento de imagens num ambiente integrado SIG/sensoriamento remoto: Tendências e conseqüências. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 11-18.

BOOCH, G. **Object oriented design with applications**. Redwood City, California: Benjamin/Cummings Pub. Co., 1991, 580 p.

BRASIL. **Estatuto das Cidades**. Lei nº 10257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília. Diário Oficial da União, Seção 1 – Atos Poder Legislativo, Edição nº 133 de 11 julho 2001.

BRITO, F. **Ensaio sobre as migrações internacionais no desenvolvimento do capitalismo**. 1995. Disponível em:
<http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/rev_inf/r12/brito.doc>

BRONDINO, N. C. M. **Estudo da influência da acessibilidade no valor de lotes urbanos através do uso de redes neurais**. 1999. 158 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Carlos, 1999.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: Spatial information systems and geostatistics**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 132 p. Tese (Doutorado) – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. Instituto de Pesquisas Espaciais- INPE: São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. 2 ed. New York: The Guilford Press, 1996, 622 p.

CAMPBELL, J. B. Visual interpretation of aerial imagery. In: **Remote sensing for GIS managers**. Ed. ARONOFF, S. 1.ed. Redlands, California: ESRI Press, 2005. p. 259-285.

CASANOVA, M. A.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G. R. **Bancos de dados geográficos**. Editora MundoGeo: Curitiba, 2005. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/livros/bdados/index.html>>

CASTLEMAN, K. R. **Digital image processing**. New Jersey: Prentice Hall, 1996, 667 p.

CENTENO, J. A. S.; ANTUNES, A. F. B.; TREVISAN, s.; CORREA, F. Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 55/01, p. 48-56, Rio de Janeiro, 2003.

CLARK, L. M. The appraisal of community severance. In: **Transport and Road Research Laboratory – TRRL – CR 135**, 1991.

COSTA, M. T. Pedágio urbano começa nesta segunda em Londres. **BBC Brasil**, 17 fev, 2003. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2003/030212_pedagio1mtc.rhtml> Acesso em 22 mar. 2007.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. ed. ver. Campinas: IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

DAVIDSON, K. B. Accessibility and isolation in transport network evaluation. In: **7th World Conference on Transport Research**. The University of New South Wales, Sydney, Australia, 1995, 17 p.

DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. (organizadores) **O processo de urbanização no Brasil**. 1. ed. São Paulo: EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, 1999. 352 p.

DECANINI, M. M. S. SIG no planejamento de trilhas no parque estadual de Campos do Jordão. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 53, p. 97-110, 2001.

DEFINIENS. **eCognition: User Guide**, 2003, 48p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>

DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. Uso da segmentação por crescimento de regiões em imagens IKONOS na discriminação de tipologias da floresta ombrófila mista. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. Anais, p. 1493 -1500.

DLUGOSZ, F. L.; ROSOT, N. C.; IURK, M. C. Avaliação quantitativa da segmentação por crescimento de regiões para a discriminação de tipologias da floresta ombrófila mista em imagens IKONOS. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. Anais, p. 1639 -1646.

EHLERS, M. Sensoriamento remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 19-38.

FARIA, A. P. N.; ZECHLINSKI, A. P. P., LEÃO, S. Z. Representação espacial na cognição ambiental urbana: aspectos de uso do solo e presença social. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007, Florianópolis. Anais, p. 5207-5214.

FERRARI JÚNIOR, J. C. Limites e potencialidades do planejamento urbano: uma discussão sobre os pilares e aspectos recentes da organização espacial das cidades brasileiras. In: **Estudos Geográficos**, v. 2. n. 1, p 15-28, Rio Claro, 2004.

FERREIRA, W. R. **Áreas centrais congestionadas: a questão dos pedestres – Um estudo de caso**. 1997. 152p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

FERREIRA, W. R. **O espaço público nas áreas centrais: a rua como referência – Um estudo de caso em Uberlândia – MG**. 2002. 358p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, FFLCH/USP - Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FONSECA FILHO, H.; QUINTANILHA, J. A. **Geoprocessamento**. São Paulo: EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. 61 p. Apostila para disciplina de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Transportes, PTR-5009 – Sensoriamento remoto: plataformas, sensores, produtos, evolução e tendências.

FRASER, C. S.; BALTSAVIAS, E.; GRUEN, A. Processing of IKONOS imagery for submetre 3D positioning and building extraction. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 56, n. 3, p. 177-194, 2002.

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIAS ESPACIAIS – FUNCATE. **Relatório descritivo dos produtos de sensoriamento remoto**. Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. São José dos Campos: FUNCATE, 2004, 80 p.

GANAS, A.; LAGIOS, E.; TZANNETOS, N. An investigation into the spatial accuracy of the IKONOS 2 orthoimagery within an urban environment. In: **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 17, p. 3513-3519, 2002.

GEERTMAN, S. C. M.; VAN ECK, J. R. R. Gis and models of accessibility potential: an application in planning. In: **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 9, n. 1, p 67-80, 1995.

GERKE, M. Scene analysis in urban areas using a knowledge-based interpretation system. In: **Photogrammetric computer vision ISPRS Commission III Symposium**, Grass, Austria, part B, p. 63-66, 2002.

GONÇALVES, F. D.; SOUZA FILHO, P. W. M.; MIRANDA, F. P.; PARADELLA, W. R. Técnicas automáticas para geração de mapas de índices de sensibilidade ambiental e derramamentos de óleo na Baía de Guajará, Belém – PA. In: **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 58/03, 2006, p. 255-262.

GONG, P. Image Processing Methods. In: **Remote Sensing of Human Settlements: Manual of Remote Sensing**. Ed. RIDD, M. K.; HIPPLE, J. D. 3 ed. Bethesda, Maryland, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, p. 207-273.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. Trad. CESAR JUNIOR, R. M.; COSTA, L. F. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 2000, 509 p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E., EDDINS, S. L. **Digital image processing using MATLAB**. New Jersey: Prentice Hall, 2004, 609 p.

GOTO, M. **Uma análise de acessibilidade sob a ótica da equidade: o caso da região metropolitana de Belém**. 2000. 77 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo EESC/USP, São Carlos, 2000.

GOULD, M. **Modeling third wave (virtual) accessibility: this paper discusses ideas on past, present and possible future ways to model accessibility**. 1996 Disponível em:
<<http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/BALTIMORE/authors/gould/paper.html>>

GUALDA, N.D.F. Impactos da evolução tecnológica dos transportes na sociedade: Uma visão sistêmica. In: **Coleção Documentos série Estudos Urbanos**, nº 08, IEA/USP, p.17-28, maio de 1994.

HANDY, S. L. Regional versus local accessibility: implications for network travel. In: **Transportation Research Record 1400**, p 58-66, 1993.

HANDY, S. L.; NIEMEIER, D. A. Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. In: **Environment and Planning A**, v. 29, p. 1175-1194, 1997.

HANSEN, W. G. How accessibility shapes land use. In: **Journal of the American Institute of Planners**, v. 25, p. 73-76, 1959.

HANSON, S. Getting There. In: **The geography of urban transportation**. Ed. HANSON, S. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1995, 478 p.

HEIPKE, C.; PAKZAD, K.; WILLRICH, F.; PELED, A. Theme issue: Integration of geodata and imagery for automated refinement and update of spatial databases. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.58, n.3-4, p. 127-128, 2004.

HENNIG, T. A.; KRETSCH, J. L.; PESSAGNO, C. J.; SALAMONOWICZ, P. H.; STEIN, W. L. The shuttle radar topography mission. In: **Digital Earth Moving: First International Symposium, DEM 2001**. Manno, Switzerland, 2001, Proceedings, p.65-77.

INGRAM, D. R. The concept of accessibility: a search for an operational form. In: **Regional Studies**, v. 5, p 73-76, 1971.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING** – Manual, 2007. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>> Acesso em 05/06/2007.

INTERNATIONAL HIDROGRAPHIC ORGANIZATION. **Manual on hidrography**. Publication M-13. Chapter 6. 1. ed. Ed. International Hydrographic Bureau. Monaco. 2005. Disponível em: <<http://www.iho.shom.fr>>. Acessado em 24 de maio de 2007.

JACOBSEN, K. Mapping with IKONOS images. In: **EARSeI ISPRS Symposium 2002: Geoinformation for European wide integration**, Proceedings, p. 149-156, Prague, 2002_A.

JACOBSEN, K. Comparison of High resolution mapping from space. In: **XXIIth INCA – Indian National Cartographic Association Congress**, Proceedings, Ahmedabad, India, 2002_B.

JACOBSEN, K. Use of very high resolution satellite imagery. In: **Tagung der polnische gesellschaft für photogrammetrie fernerkundung und GIS**, 2004, Warschau. Proceedings. Disponível em: <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2005/paper/jac_warschau_05.pdf>

JACOBSEN, K. Calibration of imaging satellite sensors. In: **ISPRS Workshop: Topographic mapping from space (with special emphasis on small satellites)**, ISPRS volume number: XXXVI-1/W41, Ankara, Turkey, 2006.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**. 2 ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1996, 316 p.

KHISTY, C. J.; LALL, B. K. **Transportation engineering: an introduction**. 2 ed. New Jersey: Englewood Cliffs, 1998, 720 p.

KNAPP, R. L. **Identifying and mapping impervious surfaces from high resolution satellite imagery in Whatcom County, Washington**. Graduate Student Project, Western Washington University's Huxley College of the Environment, Bellingham, Washington, USA, 2007, disponível em: <<http://myweb.students.wvu.edu/~knappr2/ESCI542master/Remotesensingbasics/gradproject/gradproject.html>>

KOCAMAN, S.; ZHANG, L.; GRUEN, A.; POLI, D. 3D city modeling from high-resolution satellite images. In: **ISPRS Workshop: Topographic mapping from space (with special emphasis on small satellites)**, ISPRS volume number: XXXVI-1/W41, Ankara, Turkey, 2006.

LEE, M-S.; GOULIAS, K. G. Accessibility indicators for transportation planning using GIS. In: **Transportation Research Board**, 76th Annual Meeting, Washington, DC, 1997.

LEITE, M.; RAHAL JÚNIOR, N. A. S. Programação orientada ao objeto: uma abordagem didática. In: **InfoTec: A revista de informação e tecnologia**, Unicamp, 2002, disponível em:
<<http://www.ccuec.unicamp.br/revista/navegacao/infotec.html>>

LEUKERT, K. Utilização de dados de SIG para a obtenção de objetos. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 145-152, 2007.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 763 p.

LIMA, D. L.; BUENO, M. L.; GALO, T.; IMAI, N. N. Aplicação do modelo de cores IHS na detecção de plantas aquáticas imersas. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. Anais, p. 4115-4122.

LIMA, R. S. **Expansão urbana e acessibilidade: O caso das cidades médias brasileiras**. 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo EESC/USP, São Carlos, 1998.

LOPES, L. A. S.; FERREIRA FILHO, A. S. Reuniões para padronização de dados georreferenciados de transportes. In: **XIII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 2. 1999, São Carlos. Anais, p 111-115.

MACHADO, C. A. S.; WAISMAN, J. Alteração na acessibilidade a pontos de interesse decorrentes da implantação do Rodoanel Mário Covas na região metropolitana de São Paulo. In: **XV ANTP – Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito**. 2005, Goiânia, Anais.

MAGUIRE, D. J.. An overview and definition of GIS. In: **Geographical information systems: principles and applications**. Vol.1.Ed. MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. Harlow, Essex, England: Longman Scientific & Technical, 1991. 649 p.

MARANGOZ, A. M.; ORUC, M.; BUYUKSALIH, G. Object-oriented image analysis and semantic network for extracting the roads and buildings from IKONOS pan-sharpened images. In: **XXth ISPRS Congress – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Istanbul, Turkey, 2004.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens**. Rio de Janeiro: Brasport, 1999, 406 p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 3 ed. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2004

MÁXIMO, O. A.; FERNANDES, D. Classificação supervisionada de imagens SAR do SIVAM pré-filtradas. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia, Anais, p. 4139-4146.

MEINEL, G.; NEUBERT, M. A comparison of segmentation programs for high-resolution remote sensing data. In: **XXth ISPRS – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress**, Istanbul, 2004.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETO, J. C. (orgs) Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001. p. 15-40.

MENESES, P. R.; PONTARA, R. C. P.; SILVA, F. H. F.; MADEIRA NETO, J. C. Comportamento da reflectância espectral de filitos carbonosos mineralizados em ouro. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 11, p. 83-88, 2001.

MESEV, V. Fusion of point-based postal data with IKONOS imagery. In: **Information Fusion**, v. 8, n. 2, p. 157-167, 2007.

MIKKONEN, K.; LUOMA, M. The parameters of the gravity model are changing: how and why? In: **Journal of Transport Geography**, v. 7, p. 277-283, 1999.

MING LAI, M.; LILIAN, S. C. P. C. H. The study of accessibility indices in transportation planning by using geographic information systems (GIS). In: **Urban and Regional Information Systems Association – URISA 2000 Annual Conference**, Proceedings, Orlando, Florida, 2000.

MINISTÉRIO DAS CIDADES; INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **A mobilidade urbana no planejamento da cidade**. 2006, 32p.

MISÁKOVÁ, L. Mapping of urban green cover using different image processing techniques on VHR satellite data. In: **ISPRS Hannover Workshop 2007: High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information**, Proceedings, Hannover, Germany, 2007.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2005. 320p.

MORLOK, E. K. **Introduction to transportation engineering and planning**. New York: McGraw Hill, 1978, 767 p.

MOUETTE, D. **Os pedestres e o efeito barreira**. 1998. 257 p. Tese (Doutorado) – EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MOURA, A. R. L. U.; SÁ, L. T. L.; LIMA, G. M.; ALVES, F. P. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas estuarinas do Canal de Santa Cruz e Rio Jaguaribe – Pernambuco. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, UFSC – Florianópolis, 2002.

MUELLER, M.; SEGL, K.; KAUFMANN, H. Discrimination between roofing materials and streets within urban areas based on hyperspectral, shape, and context information. In: **2nd GRSS / ISPRS Joint workshop on data fusion and remote sensing over urban areas**. Proceedings, Berlim, p. 196-200, 2003.

NARAYANAN, R. M.; SHEA, E. A. W. A multispectral system for contemporaneous field observations of natural surfaces. In: **IEEE Symposium on Combined Optical Microwave, Earth and Atmosphere Sensing**, 1993, Albuquerque, Novo Mexico, Proceedings, p 151-154.

NEUBERT, M.; MEINEL, G. Evaluation of segmentation programs for high-resolution remote sensing applications. In: **International ISPRS Workshop “High resolution mapping from space 2003”**, Hannover, 2003.

NEUBERT, M.; MEINEL, G. Análise de dados do satélite IKONOS Baseada em segmentação: utilização do software de análise de dados eCognition para diferentes áreas testes. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 108-117, 2007.

NISHIDA, W. **Uma rede neural artificial para classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto**. 1998. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

NÓBREGA, R. A. A. **Detecção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. 2007. 157 p. Tese (Doutorado) – EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NÓBREGA, R. A. A.; QUINTANILHA, J. A.; O'HARA, C. G. Detecção de arruamentos em áreas de ocupação urbana irregular com imagens do satélite IKONOS 2. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 288-299, 2007.

NOGUCHI, M. T. G. **Um sistema baseado em regras fuzzy para classificação supervisionada de imagens multiespectrais de alta resolução**. 2004. 150 p. Dissertação (Mestrado) – UFPR – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

NOLLI, J. D. M. O discurso do presidente JK: **Elementos de autoritarismo na proposta de desenvolvimento e segurança**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

NUNES, A. T. **Emprego de um sistema de informação geográfica (SIG) para suporte ao planejamento do produto hoteleiro, apresentando um caso para uma região da cidade de São Paulo**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado) - EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

O'HARA, C. Managing dynamic data: change detection and feature extraction methods support census bureau map updates. In: **Earth Imaging Journal**, v. 2, n. 2, p. 40-43, 2005.

OKIDA, R.; LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G. Avaliação da precisão de orto-imagens IKONOS. In: **Anais do XI SBRS – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 285-292, Belo Horizonte, 2003.

ORTÚZAR, J. D.; WILLUMSEN, L. G. **Modelling Transport**. 3 ed. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2004, 499 p.

PANTALEÃO, C. H. Z. **Contribuição à análise e classificação citogenética baseada no processamento digital de imagens e no enfoque lógico-combinatório**. 2003. 168p. Tese (Doutorado) – UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PARRA, M. C. **Gerenciamento da mobilidade em Campi Universitários: problemas, dificuldades e possíveis soluções no caso Ilha do Fundão – UFRJ**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado) – UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PEDROSA, I. **O universo da cor**. 1 ed. São Paulo, Ed. Senac, 2003, 153p.

PENIDO, L. R. **Técnicas de sensoriamento remoto e SIG aplicadas ao planejamento de uma rodovia: Estudo de caso – trecho oeste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo**. 1998. 119 p. Dissertação (Mestrado) – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

PEREIRA, W. M. M. **Mortalidade e sobrevida por câncer de mama no estado do Pará**. 2001. 103 p. Dissertação (Mestrado) – FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz – Escola Nacional de Saúde Pública – Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

PETRIE, G. Rectification and georeferencing of optical imagery. In: **Remote sensing for GIS managers**. 1.ed. Redlands, California: ESRI Press, 2005. p. 421-453.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: O caso de São José dos Campos – SP**. 2005. 179 p. Dissertação (Mestrado) – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

PINHO, C. M. D.; FEITOSA, F. F.; KUX, H. J. H. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagens IKONOS: comparação entre a abordagem pixel a pixel e orientada a objetos. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia. Anais, p. 4217-4224.

POOLER, J. A. The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. In: **Transportation Research A**, v. 29A, n. 6, p. 421-427, 1995.

POON, J.; FRASER, C. S.; ZHANG, C.; ZHANG, L.; GRUEN, A. Quality assessment of digital surface models generated from IKONOS imagery. In: **The Photogrammetric Record**, v. 20, n. 110, p. 162-171, 2005.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA DO BRASIL. **Mensagem ao Congresso Nacional**. 2007. 238p. Disponível em: <<http://www.presidencia.gov.br/noticias/publicacoes/2007/>>. Acesso em 08 mar. 2007.

QUINTANILHA, J. A.; LIMA, R. A. F.; HAMBURGER, D. S. Tópicos de sensoriamento remoto. In: **Programa de transferência de tecnologia GIS**, v. 3, apostila e CD-rom. Convênio EPUSP / SABESP, São Paulo, 1998.

QUINTANILHA, J. A. (coord) Sistemas de informações geográficas. In: **Sistema de informação ao geoprocessamento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Transportes, Laboratório de Geoprocessamento. São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/SITE-ANT/Cursos/SIG_GPS/index.html>

QUINTANILHA, J. A. Notas de aula da disciplina **PTR 5003 – Fundamentos de Informações Espaciais** – Disciplina de Pós-Graduação – Departamento de Engenharia de Transportes – EPUSP – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, 2004.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. In: **ISPRS – Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p.241-262, 2003.

RAIA JÚNIOR, A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. 2000. 196p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos, 2000.

RAIA JÚNIOR, A. A.; SILVA, A. N. R.; BOCANEGRA, C. W. R. Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e um SIG. In: **XV ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 2. 2001, Campinas. Anais, p 253-261.

RAIA JÚNIOR, A. A.; SILVA, A. N. R.; BRONDINO, N. C. M. Comparação entre medidas de acessibilidade para aplicação em cidades brasileiras de médio porte. In: **XI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 2. 1997, Rio de Janeiro. Anais, p 997-1008.

REPAKA, S. R.; TRUAX, D.D.; KOLSTAD, E.; O'HARA, C. G. Comparing spectral and object based approaches for classification and transportation feature extraction from high resolution multispectral imagery. In: **Proceedings ASPRS Annual Conference**, Denver, USA, 2004.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4 ed. Berlin: Springer, 2006, 439p.

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento**. 1987. 347 p. Tese (Livre docência) - EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: Geoprocessamento, 1990, São Paulo. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**. EPUSP, 1990, p 1-26.

RODRIGUES, M. Sistemas de Informações Geográficas. In: **Programa de Transferência de Tecnologia GIS**, v. 2, apostila e CD-rom. Convênio EPUSP / SABESP, São Paulo, 1998.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Rio de Janeiro: Campus, 1994, 652p.

SAMUELSON, P. A.; NORDHAUS, W. D. **Economia**. 12 ed. Lisboa: McGraw Hill, 1990, 1168 p.

SANCHES, S. P. Acessibilidade: um indicador do desempenho dos sistemas de transporte nas cidades. In; **X ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 1. 1996, Brasília. Anais, p 199-208.

SANTANNA, J. A. **Uma avaliação da influência da acessibilidade no valor de terrenos urbanos ociosos**. Trabalho de graduação integrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1995.

SARTORI NETO, A.; SOARES, V. P.; LIMA, J. A. M.; RIBEIRO, C. A. A. S.; GRIFFITH, J. J. Análise de imagens termais AVHRR utilizando transformada de Fourier para determinação de padrões em vórtices e meandros” In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2005, Goiânia, Anais, p. 3671-3678.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais**. Apostila de sensoriamento remoto INPE. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acessado em 29/05/2007.

SCARINGELLA, R. S. A crise de mobilidade urbana em São Paulo. In: **São Paulo em perspectiva**, v. 15. n. 1, p.55-59, 2001.

SCHIEWE, J.; TUFTE, L. O potencial de procedimentos baseados em regiões para a avaliação integrada de dados de SIG e sensoriamento remoto. In: **Sensoriamento Remoto e SIG avançados**. Ed. BLASCHKE, T.; KUX, H. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 56-65.

SEDU/PR – SECRETARIA ESPECIAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA; NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Prioridade para o transporte coletivo urbano**. Relatório Técnico. 63p. 2002.

SHACKELFORD, A. K.; DAVIS, C. H. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high resolution multispectral data over urban areas. In: **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 10, p. 2354-2363, 2003.

SHAN, J.; LEE, S. D. Quality of building extraction from IKONOS imagery. In: **Journal of Surveying Engineering**, v. 131, n. 1, p. 27-32, 2005.

SHEN, Q. Spatial Technologies, accessibility, and the social construction of urban space. In: **Computer, environment and urban systems**, v. 22, n. 5, p. 447-464, 1998.

SILVA, A. N. R.; BRONDINO, N. C. M.; LIMA, R. S. O impacto de diferentes medidas de acessibilidade no valor do solo urbano. **XIV ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. 2000, Gramado. Anais, p 349-359

SILVA, A. N. R.; LIMA, R. S.; MELO, J. J. O. Introduzindo os sistemas de informações geográficas no ensino de engenharia de transportes. In: **XI ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 2. 1997, Rio de Janeiro. Anais, p 685-691.

SILVA, A. N. R.; RAIA JÚNIOR, A. A.; VAN DER WAERDEN, P. A comparison of accessibility values and actual travel patterns. In: **XIV ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 1. 2000, Gramado. Anais, p 165-174.

SILVA, A. N. R., VAN DER WAERDEN, P. **First steps with a Geographic information system for transportation**. Version 1.0. Ribeirão Preto: Editora São Francisco, 1997, 115 p.

SILVA, D. C.; DALMOLIN, Q. Avaliação da resolução de imagens digitais para cadastro. In: **COBRAC 98 Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, 1998.

SILVA, R. T. A regulação e o controle público da infra-estrutura e dos serviços urbanos no Brasil. In: DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. (orgs) **O processo de urbanização no Brasil**. 1, ed. São Paulo: EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, 1999. p. 260-312.

SILVA, S. B. 50 anos em 5: A odisséia desenvolvimentista do Plano de Metas. In: **Os anos JK**. CPDOC/ FGV s/d, 2007. Disponível em: <<http://www.cpdoc.fgv.br>>

SILVEIRA, L. S. C.; YAMASHITA, Y.; DANTAS, A. S. Estudo de demanda de transporte público urbano por ônibus sob o enfoque do sistema de informações geográficas e do sensoriamento remoto. In: **ANPET – Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes**, 2000, p 47-58.

SOUSA JUNIOR, J. G. A. **Sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos**. 2005. 142 p. Dissertação (Mestrado) – ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

STRAMBI, O.; VAN DE BILT, K.-A. Untangling factors behind temporal evolution of mobility: case of São Paulo, Brazil. In: **Transportation Research Record**, Washington, D.C., v. 1807, n. 1807, p. 137-144, 2002.

TIAGO, R. P.; MAIA, T. C. B.; SILVA, A. N. R. Usando um SIG na busca de alternativas para o problema de estacionamento em um “campus” universitário. In: **XIII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte**. v. 2. 1999, São Carlos. Anais, p 103-110.

TOPAN, H.; BÜYÜKSALIH, G.; JACOBSEN, K. Information contents of high resolution satellite images. In: **EARSeI 3D – Remote Sensing Workshop**, Porto, 2005.

TRANSPORT FOR LONDON. **Congestion charging central London: Impacts monitoring**. Second Annual Report, April/2004, 123p.
Disponível em: < <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/Impacts-monitoring-report-2.pdf>>

TRANSPORT FOR LONDON. **Central London congestion charging: Impacts monitoring**. Fifth Annual Report, July/2007, 279p.
Disponível em: < <http://www.tfl.gov.uk/assets/downloads/fifth-annual-impacts-monitoring-report-2007-07-07.pdf>>

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) – “Finished” products: US Geological Survey**.
Disponível em:
<<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtmbil.html>>. Acessado em 16 de maio de 2007.

VICKERMAN, R. W. Accessibility, attraction, and potencial: a review of some concepts and their use in determining mobility. In: **Environment and Planning A**, v. 6, n. 6, p. 675-691, 1974.

VIEIRA, P. R. **Desenvolvimento de classificadores de máxima verossimilhança e ICM para imagens SAR**. 1996. 250 p. Dissertação (Mestrado) – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996;

WAISMAN, J. **Avaliação de desempenho de sistemas de ônibus em cidades de porte médio em função de sua produtividade, eficiência operacional e qualidade de serviço**. 1983. 306p. Tese (Doutorado) – EESC/USP – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.

WAISMAN, J. Notas de aula da disciplina **PTR 5757 – Sistemas de Transportes Urbanos I** – Disciplina de Pós-Graduação – Departamento de Engenharia de Transportes – EPUSP – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, 2004.

WALTER, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. In: **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.58, n.3-4, p. 225-238, 2004.

WILLIAMSON, R. A. Developing the space shuttle. In: **Exploring the unknown: selected documents in the history of the US civil space program**, Volume IV: Accessing Space. Ed. LOGSDON, J. M. Washington, 1999, 712 p.

WORBOYS, M. F. **GIS: a computing perspective**. 1. ed.. London: Taylor & Francis, 1995. 376 p.

ZIRKL, F. Desenvolvimento urbano de Curitiba (Brasil): Cidade Modelo ou uma exceção? In: **ACTAS**, tomo 26, 2003.

ZOEJ, M. J. V.; YAVARI, S.; SADEGHIAN, S. Mathematical modeling of IKONOS GEO image. In: **ISPRS Workshop: Topographic mapping from space (with special emphasis on small satellites)**, ISPRS volume number: XXXVI-1/W41, Ankara, Turkey, 2006.

ZUCCOLOTTO, S. **A prestação de serviços em transporte coletivo: aplicação da análise ergonômica no trabalho dos agentes e operadores de estação do Metrô de São Paulo**. 2002. 281p. Tese (Doutorado) – EPUSP – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)