UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ALINE SALIM

Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias – bacia do Reservatório Guarapiranga.

Versão corrigida

São Paulo

2013

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ALINE SALIM

Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias – bacia do Reservatório Guarapiranga.

Versão corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Ailton Luchiari

De acordo:_____
Prof. Dr. Ailton Luchiari

São Paulo

2013

Nome: SALIM, Aline

Título: Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias – bacia do Reservatório Guarapiranga.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: 02/09/2013

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ailton Luchiari (Orientador)

Universidade de São Paulo – FFLCH – Departamento de Geografia

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

Universidade de São Paulo – FFLCH – Departamento de Geografia

Prof. Dr. Marcio Roberto Magalhães de Andrade

Universidade de Guarulhos – UNG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre iluminar e abençoar meu caminho.

Aos meus pais por todo o incentivo em tudo o que escolhi fazer na vida e por terem me passado valores que carrego sempre comigo.

Ao Arthur, pelo companheirismo, compreensão, apoio e carinho e pelas palavras sábias nos momentos em que mais preciso.

Ao Ailton por acreditar em mim, pela oportunidade de realização dessa pesquisa e pela orientação sempre muito valiosa.

Ao Marcio, pela amizade, pelas inúmeras discussões sobre o tema e trabalhos desenvolvidos em parceria e por ter despertado em mim o interesse pela pesquisa.

Ao professor Reinaldo, pela contribuição na banca de qualificação, que muito contribuiu para a evolução dessa pesquisa.

A todos meus familiares (família Salim, Bueno, Milaré e Davila) pelo amor, força, equilíbrio e incentivo que sempre encontro em vocês.

A FAPESP e todos os participantes do projeto temático AcquaSED pelas imagens de satélite, participação em cursos e pela oportunidade de continuidade de pesquisa na bacia do Guarapiranga.

A todos meus amigos da capital e do interior que foram pacientes com minhas ausências e ansiedades, estando sempre ao meu lado, me apoiando.

A todos da Coordenadoria de Planejamento Ambiental da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, por todo aprendizado, convivência diária e amizade, principalmente a Arlete Tieko Ohata, por todo o apoio para a realização dessa pesquisa.

A Juliana, Natalia, Nádia, Laura e Rose pela amizade e contribuição na leitura da dissertação.

Ao professor Hermann Kux pelo auxílio na elaboração do abstract.

São Paulo é a região que melhor representa a modernidade brasileira com todos os seus paradoxos. Com seus mais de 16 milhões de habitantes, indústrias e arranha-céus, escritórios *high-tech* e favelas, metrôs sofisticados e altas taxas de mortalidade infantil, comunicações via satélite e baixos níveis de alfabetização, a metrópole de São Paulo tornou-se um dos melhores símbolos de uma sociedade de consumo industrial pobre mas moderna, heterogênea e profundamente desigual (CALDEIRA, 2000, p. 48).

RESUMO

O estudo das cidades requer um olhar amplo, capaz de identificar e relacionar os inúmeros processos que atuam na produção do espaço urbano. Geotecnologias comumente são utilizadas para adquirir informação detalhada da cobertura da terra do espaço urbano. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é a proposição de metodologia para geração de informações da ocupação urbana nas periferias, definindo procedimentos para análise urbana que gere informações sobre as características da ocupação urbana, a partir de imagens de satélite de alta resolução espacial. Para tanto, foi escolhida como área de estudo o distrito do Jardim São Luís compreendido na bacia do reservatório Guarapiranga, manancial que fornece água para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e cuja bacia é área de proteção e recuperação de mananciais, de acordo com a legislação estadual. Foram realizadas discussões de como se organiza o espaço urbano e dos processos que refletiram na ocupação urbana da periferia da RMSP. A metodologia desenvolvida nesta pesquisa articulou o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica com dados socioeconômicos do censo demográfico. Os resultados foram apresentados e discutidos e a metodologia proposta demonstrou-se promissora para ser aplicada na atualização de informação do espaço urbano para subsidiar o planejamento urbano e a gestão territorial e consequentemente, para a melhoria da qualidade de vida da população.

Palavras-chaves: espaço urbano, geotecnologias, análise de imagem baseada em objeto, análise espacial, Guarapiranga.

ABSTRACT

Studies from cities require a wide look to identify the amount of processes occurring in the production of the urban space. Geo-technologies are commonly used to acquire detailed information of land cover from the urban space. In this context, the objective of this study is to propose methodology for the generation of information from the occupation at the urban peripheries, defining procedures for the analysis of urban areas, to obtain information of the characteristics of this occupation, from high resolution satellite images. The area under study was the district Jardim São Luis, located at the Guarapiranga Reservoir basin, an important water supplier for the São Paulo Metropolitan Region (RMSP), an area of environmental protection and recuperation, according to State legislation. Discussions were made on how the urban space is organized and on the processes of urban occupation in the periphery of RMSP. The methodology developed in this study used remote sensing and GIS techniques and socio-economic data from the last demographic census. The results were presented and the methodology proposed is very promising to be used to update information of the urban space and land management and consequently to improve the quality of life from the population.

Keywords: urban space, geo-technologies, object-based image analysis, spatial analysis, Guarapiranga.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Os três modelos clássicos da estrutura urbana: “A”- zonas concêntricas de Burgess, “B”- setores de Hoyt e “C”- núcleos múltiplos de Harris e Ullman 16
Figura 2 - Curva de reflectância para alguns recursos naturais……..... 28
Figura 3 - Espectro eletromagnético..... 29
Figura 4 - Representação matricial de uma imagem digital com resolução radiométrica de 8 bits……..…. 30
Figura 5 - Comparação entre imagens de diferentes resoluções espaciais de uma mesma área..... 31
Figura 6 - Diferentes resoluções radiométricas.. 31
Figura 7 - Ilustração do espaço de atributo.. 35
Figura 8 - Diferentes resoluções espaciais.. 38
Figura 9 - Fluxograma da classificação baseada em objetos.. 41
Figura 10 - Localização da Bacia do Guarapiranga..... 63
Figura 11 - Mapa hipsométrico da Bacia do Guarapiranga. 68
Figura 12 - Mapa geológico da Bacia do Guarapiranga. 71
Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2002, escala 1:25.000.. 74
Figura 14 - Imagem do distrito Jardim São Luís.. 75
Figura 15 - Imagem do comércio na Avenida Guarapiranga, distrito Jardim São Luís.. 75
Figura 16 - Imagem da marina do Yacht Club Paulista, nas margens do reservatório, distrito Jardim São Luís.. 76
Figura 17 - Imagem de restaurante nas margens do reservatório, na Avenida Robert Kennedy - distrito de Socorro. 76
Figura 18 - Imagem de residência nas margens do reservatório, na Riviera Paulista – Jardim São Luís. 77
Figura 19 - Zoneamento da Bacia do Guarapiranga criado na lei nº 12.233/2006..... 87
Figura 20 - Exemplos de diferentes padrões de ocupação na Guarapiranga. 89
Figura 21 - Setores censitários da área teste – Guarapiranga, 2002. 92
Figura 22 - Classificação supervisionada realizada na imagem IKONOS. 93
Figura 23 - Setores censitários da área teste – Guarulhos, 2007..... 96
Figura 24 - Classificação com OBIA da área teste. 97
Figura 25 - Esquema do método aplicado..... 98
Figura 26 - Setores escolhidos na área de estudo. 99
Figura 27 - Imagem da cobertura das residências no distrito Jardim São Luís..... 101
Figura 28 - Exemplo da utilização de diferentes parâmetros de “*scale*” e “*merge*”. 104
Figura 29 - Exemplo de ferramenta do ENVI EX para espacializar os atributos na imagem. 107
Figura 30 - Exemplo da reflectância dos objetos de asfato no componente principal 1..... 110
Figura 31 - Exemplo de alta reflectância dos telhados claros no componente principal 1. . 111
Figura 32 - Classificação da cobertura da terra da área teste. 113
Figura 33 - Operação realizada para obtenção da área efetivamente urbanizada dos setores censitários. 114
Figura 34 - Exemplo do novo limite do setor censitário após aplicação da dasimetria 115
Figura 35 - Exemplos de telhado de cerâmica com diferentes estados de conservação.... 126
Figura 36 - Imagem do Pesqueiro Riviera, distrito Jardim São Luís. 127
Figura 37 - Imagem do reservatório Guarapiranga, visto do Parque Municipal da Guarapiranga, Município de São Paulo.. 127
Figura 38 - Imagem de rua arborizada na Riviera Paulista, distrito Jardim São Luís..... 131
Figura 39 - Imagem da Riviera Paulista, distrito Jardim São Luís.. 134
Figura 40 - Imagem do Jardim Souza, distrito Jardim São Luís. 134
Figura 41 - Diagrama de dispersão das variáveis: renda do domicílio e telhado escuro. ... 135
Figura 42 - Diagrama de dispersão das variáveis: renda do domicílio e Arbórea/Arbustiva. 138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área dos municípios na Bacia do Guarapiranga 64
Tabela 2 - Chave de interpretação das classes de cobertura..... 102
Tabela 3 - Quantidade de área (em %) de cada classe de cobertura por setor censitário.. 116
Tabela 4 - Matriz de correlação gerada. 130

LISTA DE SIGLAS

AOD	Áreas de Ocupação Dirigida
APA	Área de Proteção Ambiental
APM	Área Proteção de Mananciais
APP	Área de Preservação Permanente
APRM	Área de Proteção e Recuperação de Mananciais
APRM-G	Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga
ARA	Áreas de Recuperação Ambiental
ARO	Áreas de Restrição à Ocupação
AS-PRS	*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*
CDF	*Cumulative Distribution Function*
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CP	Componentes Principais
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DN	*Digital Number* - Número Digital
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
ERTS	*Earth Resources Tecnology Satellites*
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCBF	*Fast Correlation-Based Filter*
FERROBAN	Ferrovias Bandeirantes S/A
FNEA	*Fractal Net Evolution Approach*
GEOBIA	*Geographic Object-Based Image Analysis*
HA	Hectare
HSI	*Hue, Saturation, Intensity* - Matiz, saturação, intensidade
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INCA	Instituto Nacional de Câncer do Ministério da Saúde
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISOLO	Indicador de solo exposto
ISOMB	Indicador de sombra
LANDSAT	*Land Remote Sensing Satellite*
LASERE	Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MDT	Modelo Digital de Terreno

NDVI	*Normalized Diference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR	*Near Infrared* - Infravermelho próximo
OBIA	*Object-based image analysis* - análise de imagem baseada em objeto
OOIA	*Object-oriented image analysis* - análise de imagem orientada a objeto
PCA	*Principal Components Analysis*
PDDI	Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado
PMDI	Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado
PUB	Plano Urbanístico Básico
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PVC	*Polyvinyl Chloride* - cloreto de polivinila
REM	Radiação Eletromagnética
RGB	*Red, Green, Blue*
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SGI	Sistema Gerencial de Informações
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
UGRHI	Unidade Hidrográfica de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
USP	Universidade de São Paulo
ZRUF	Zonas Residenciais Unifamiliares Homogêneas

SUMÁRIO

1. Introdução 11
1.1 Justificativa 12
1.2 Objetivo 13

2. Bases Teóricas 14
2.1 Estruturação do Espaço Urbano 15
2.2 Indicadores Intra-urbanos 21
2.3 Geotecnologias 24
2.3.1 Sistemas de Informação Geográfica 25
2.3.2 Sensoriamento Remoto 26
2.3.2.1 Satélites e Sensores 27
2.3.2.2 Tipos de Resoluções 30
2.3.2.3 Processamento Digital de Imagens 32
2.3.2.4 Inovações do Sensoriamento Remoto 36
2.3.2.5 Análise de Imagem Baseada em Objeto 39
2.3.2.6 Sensoriamento Remoto aplicado no Espaço Urbano 44
2.4 Urbanização da RMSP - da pequena à Grande São Paulo 55
2.5 Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga 63
2.5.1 Histórico 64
2.5.2 Principais Características 65
2.5.3 Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais 82

3. Procedimentos Metodológicos 89
3.1 Definição da metodologia – experimentos preliminares 90
3.1.1 Classificação supervisionada 91
3.1.2 Classificação de imagem baseada em objetos 94
3.2 Aplicação da metodologia 98
3.2.1 Definição da área de estudo 99
3.2.2 Construção da Chave de Interpretação 100
3.2.3 Segmentação 103
3.2.4 Customização de Atributos 105
3.2.5 Definição das Regras 106
3.2.6 Sistematização dos Dados do Censo 113
3.2.7 Correlação dos Dados 118

4. Resultados 120
4.1 (Re)produção do Espaço Urbano 120
4.2 Método de Classificação da Imagem 122
4.3 Sistematização dos Dados do Censo 128
4.4 Correlação dos Dados 129

5. Considerações Finais 141

Referências Bibliográficas 145

APÊNDICES 163
APÊNDICE A - Atributos e limiares da classificação no programa ENVI EX 163
APÊNDICE B - Variáveis do Censo processadas por setor. 164

1. Introdução

Muitos estudiosos têm na metrópole um campo de interesse especial em razão da grande amplitude e complexidade que os fenômenos de natureza urbana assumem nesses aglomerados. Estudar as cidades requer um olhar amplo, capaz de identificar e relacionar os inúmeros processos que atuam na produção do espaço urbano.

Na busca da compreensão dos processos que ocorrem em determinada área da metrópole, faz-se necessário compreender o movimento geral da sua reprodução, articulando as transformações locais com as dinâmicas do espaço metropolitano.

O uso de geotecnologias e procedimentos técnicos podem subsidiar o entendimento e inferência sobre os fenômenos estudados pela geografia, como a compreensão da dinâmica das cidades. Para isso, os dados básicos para o planejamento e as informações sobre o espaço urbano precisam estar disponíveis, atualizados e obtidos de forma precisa e rápida.

Nesse contexto, o sensoriamento remoto apresenta-se eficiente para obtenção de informações da cobertura da terra com um nível de detalhamento adequado aos estudos urbanos, corroborado pela constante evolução da resolução espacial e espectral dos satélites e pelo desenvolvimento de novos métodos automáticos para a extração de informação de imagens.

A obtenção de informações urbanas de imagens por meio do sensoriamento remoto comumente apresenta dificuldades na análise dos dados, devido à complexidade da paisagem urbana com uma heterogeneidade de coberturas.

A área de estudo dessa pesquisa reflete essa complexidade. A bacia hidrográfica do Reservatório Guarapiranga localizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), responde por 20% do abastecimento público dessa região. Desde 1975, toda a área de drenagem deste manancial está inserida em Área de Proteção de Mananciais, por efeito de legislação estadual.

Mesmo existindo regras e leis para a ocupação residencial, em espaços localizados ao redor desse manancial, as mesmas não impediram sua ocupação, principalmente pela população de baixa renda, deslocada para a periferia dos centros urbanos e

destinada às áreas impróprias para habitação, em ocupações irregulares e sem infraestrutura.

Essa pesquisa buscará a identificação dos padrões de ocupação urbana do território da bacia por meio de dados de cobertura da terra (dados orbitais) e socioeconômicos (censo demográfico), verificando a correlação entre as duas fontes de dados e o potencial de sua utilização para caracterizar a ocupação do manancial.

Para tanto, no capítulo de “Bases teóricas” buscou-se compreender a estruturação do espaço urbano a partir dos pressupostos de Villaça (1998), Côrrea (2004) e Santos (2008) e conhecer alguns dos principais indicadores intra-urbanos utilizados. O uso de geotecnologias, inovações na área de sensoriamento remoto e aplicação dessas técnicas no estudo do espaço urbano também são abordados nesse capítulo, que apresenta, ainda, a discussão do processo de urbanização da RMSP, os processos políticos, econômicos e sociais que foram significativos para grandes alterações na ocupação desse território.

Posteriormente, buscou-se o entendimento *in loco* da realidade da área de estudo – bacia do Guarapiranga – e suas principais características, à luz da legislação incidente.

Na sequência, o capítulo de “Procedimentos Metodológicos” apresenta os experimentos preliminares realizados e as etapas de aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa. No capítulo de “Resultados” são apresentadas e discutidas as análises decorrentes da metodologia aplicada. Finalmente, nas “Considerações Finais” são apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras e novas possibilidades de aplicação dos resultados gerados nesta pesquisa.

1.1 Justificativa

A bacia do Guarapiranga, inserida na dinâmica da RMSP, tem em seu reservatório uma importante fonte para abastecimento público da região, além de concentrar uma grande população e área verde significativas.

A despeito da legislação estadual vigente desde a década de 1970, desenvolveu-se na bacia um processo de ocupação diversificado, com favelas, residências de diversos níveis construtivos, comércio, serviços, condomínios fechados e clubes/marinas. Dessa forma, para o planejamento e gestão desse território são necessários métodos e técnicas que possam traduzir toda essa heterogeneidade.

O advento de satélites de alta resolução espacial e novas técnicas de processamento digital de imagens demonstram-se viáveis para aplicações em estudos urbanos.

Essa pesquisa visa subsidiar o planejamento do uso da terra dessas áreas, por meio de *input* (dados de entrada) em informação e método, possibilitando sua inserção no sistema gerencial de informações (SGI), importante instrumento de gestão e planejamento do manancial.

1.2 Objetivo

A pesquisa tem como objetivo identificar os diferentes padrões de ocupação do espaço urbano do território do Distrito do Jardim São Luís, inserido na bacia do Guarapiranga - RMSP, a partir de dados orbitais e dados socioeconômicos do Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), explorando as possibilidades de inferências a respeito da caracterização socioeconômica da população.

São objetivos específicos dessa pesquisa:

- Entender o processo de produção e reprodução do espaço urbano da Área de Proteção e Recuperação de Mananciais do Guarapiranga.
- Avaliar e explorar as informações que podem ser extraídas das imagens do satélite IKONOS para caracterização residencial do espaço intra-urbano.
- Desenvolver procedimentos automáticos para coleta de informações do espaço urbano.
- Gerar mapeamento da cobertura da área de estudo.

2. Bases Teóricas

O espaço é uma instância da sociedade e é, concomitantemente, produto e condição das instâncias econômica, político-institucional e cultural-ideológica. Dessa forma, o espaço não é formado apenas por objetos geográficos, naturais e artificiais, mas também por processos sociais representativos de uma sociedade em um dado momento (SANTOS, 2008). Santos (2008) sugere que, para ser analisado, o espaço deve ser fragmentado em partes (categorias primárias), sendo imprescindível reconstituí-lo ao término da análise, para compreendê-lo em sua totalidade.

Assim, o método de análise a ser utilizado nesta pesquisa baseia-se na teoria das categorias analíticas de organização espacial de Santos (2008): forma, função, estrutura e processo. A forma representa o aspecto visível, exterior de um objeto; a função implica em uma tarefa, atividade ou papel a ser desempenhado pelo objeto citado; a função dá sentido à forma, visto que um objeto no espaço não existe desprovido de tarefa; a estrutura é relativa ao modo como os objetos estão organizados, configurando o aspecto "invisível" construído pela inter-relação das diversas funções desempenhadas pelas/nas formas e, finalmente, o processo é dinâmico e é uma ação realizada continuamente, visando um resultado qualquer, que implica conceitos de tempo e mudança (SANTOS, 2008).

Adaptando esse conceito ao contexto da organização espacial da bacia do Guarapiranga, a forma será entendida como a própria cobertura da terra, cuja função é expressa pela predominância da categoria residencial das ocupações. A estrutura seria o modo como as áreas residenciais se organizam e se articulam na estrutura urbana. O processo, por sua vez, é o de produção do espaço urbano, responsável pela (re)construção das formas e redefinição das funções.

As classes de ocupação do solo urbano estão profundamente ligadas às funções urbanas de residir, trabalhar, circular e recrear. No caso das áreas residenciais, as construções destinadas à habitação possuem características próprias da classe social que as ocupam e as construíram. Desse modo, as imagens de satélite representam, segundo Souza (2010), um instante da materialidade da sociedade no espaço e no tempo, podendo ser entendida como uma possibilidade de representação da paisagem, tornando-se imagem-paisagem.

Portanto, considerando que a cobertura atual do solo é modificada principalmente pela ação do homem, a interpretação de imagens de satélites seria uma importante ferramenta para aferições a respeito da dinâmica dos processos econômicos e sociais (FONSECA, 2000).

2.1 Estruturação do Espaço Urbano

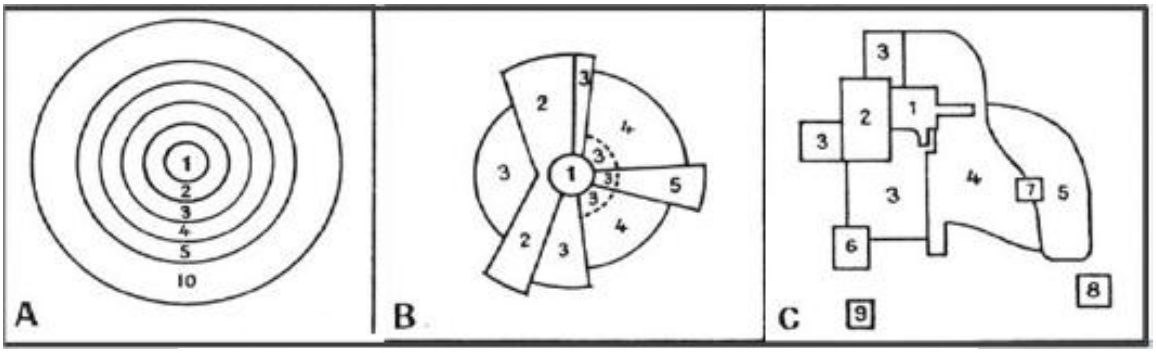
O espaço urbano construído é a manifestação concreta dos processos sociais vivenciados. Nesse sentido, para Castells (1974) é indispensável considerar a cidade como a projeção da sociedade no espaço. As relações sociais dão ao espaço uma forma e um significado social.

O processo dialético da análise espacial, como condicionante e produto das relações sociais, foi discutido por Villaça (1998), Corrêa (2004) e Carlos (2011). Para Carlos (2011) o conceito de espaço como “produção social”, vai além da simples constatação da localização das coisas no espaço, considerando a “organização do espaço” pelos grupos humanos como reflexo de que a sociedade produz seu próprio espaço. Villaça (1998) entende que a compreensão do aspecto social pode auxiliar nas análises espaciais, mas a própria configuração do espaço também explica o social.

Estudos sobre a distribuição dos indivíduos e seu reflexo na morfologia das cidades fazem parte da tradição geográfica. De acordo com Villaça (1998), houve uma época em que se tentou descrever as estruturas territoriais urbanas por meio de “modelos” espaciais e seus padrões.

Esses modelos espaciais iniciaram-se no começo do século XX com os estudiosos da Escola de Chicago por meio da corrente teórica da Ecologia Humana. Dentre eles, podemos citar o modelo de “zonas concêntricas” de Burgess em 1925, o modelo dos “setores” proposto por Hoyt em 1939 e o dos “núcleos múltiplos” de Harris e Ullman em 1945 (VILLAÇA, 1998; SENA, 2006).

Esses três modelos clássicos são apresentados por Racine (1971) e podem ser observados na Figura 1.



1. Centro (CDB)
2. Zona de transição
3. Residência da classe popular
4. Residência da classe média
5. Residência da classe alta
6. Indústria pesada
7. Centros de negócios secundários
8. Residência suburbana
9. Indústria suburbana
10. Zona de migrações pendulares

Figura 1 - Os três modelos clássicos da estrutura urbana: “A”- zonas concêntricas de Burgess, “B”- setores de Hoyt e “C”- núcleos múltiplos de Harris e Ullman. Fonte: Adaptado de Racine (1971, p. 399).

No modelo de Burgess, figura 1-A, a classe popular encontra-se em círculos no entorno do centro e a classe alta reside nas áreas mais periféricas, abandonando as áreas centrais.

No modelo de Hoyt, figura 1-B, os setores são configurados de forma radial, acompanhando os eixos de circulação do centro para a periferia. A classe alta concentra-se nos setores de maiores amenidades e cercada pela classe média, separando-se da classe popular. Hoyt preocupou-se em discutir a partir de seu modelo dos “setores” a tendência auto-segregativa da população de alto status, onde, a segregação espacial não assume um padrão em círculos (como proposto por Burgess) em torno do centro, mas em setores a partir do centro (CORRÊA, 2004).

O modelo de Hoyt, apesar de corresponder mais à realidade do que o modelo de Burgess, não se tornou tão famoso e difundido como o de “zonas concêntricas”. Isso se deve ao fato de Burgess e seus colegas da escola de Chicago terem tido maiores ambições intelectuais, como a de construir uma teoria da organização intra-urbana, desenvolvida sob o nome de “ecologia humana” (PARK, 1967).

No modelo C da figura 1, Harris e Ullman apresentam o desenvolvimento de núcleos múltiplos e descontínuos, ao contrário dos modelos anteriores, onde existe apenas um núcleo central. Essa descentralização ocorre devido ao aumento no preço dos terrenos centrais e da presença da população nas áreas periféricas.

Para Villaça (1998), os estudos tradicionais da Escola de Chicago partem das transformações sociais e econômicas e/ou políticas para deduzir e explicar as transformações no espaço. Entretanto, apesar de partirem do social com uma forte ênfase econômica, ao tratar sobre a produção do espaço, nada discorrem sobre o consumo ou sobre a troca e circulação do fruto dessa produção.

Existe uma discussão semântica entre a utilização do termo espaço urbano e intra-urbano. Para Villaça (1998) a expressão espaço urbano é comumente usado referindo-se ao processo de urbanização genericamente abordado, ao urbano dos espaços regionais[1]. O termo intra-urbano surgiu da necessidade de se delimitar o espaço interno da cidade em contraponto ao componente urbano do espaço regional.

Portanto, o espaço urbano é a cidade, a forma como a mesma se estrutura espacialmente e independentemente do tamanho da cidade, sua localização e de sua hierarquia, alguns elementos da estrutura urbana se mantêm. Para Villaça (1998, p. 12), os elementos do espaço interno das cidades são:

I. O centro principal da metrópole: a maior aglomeração diversificada de empregos, ou a maior aglomeração de comércio e serviços;

II. Os sub-centros de comércio e serviços: aglomerações diversificadas de comércio e serviços, réplicas menores do centro principal;

III. Os bairros residenciais: conjuntos de bairros residenciais que se conformam segundo as classes sociais;

IV. Áreas industriais: ocorrem principalmente junto às vias regionais mais movimentadas.

Nesta pesquisa iremos considerar os seguintes elementos do espaço urbano: o centro e a periferia do centro, zona comercial (subcentros), zonas industriais e zonas residenciais.

[1] "A estruturação do espaço regional é dominada pelo deslocamento das informações, da energia, do capital constante e das mercadorias em geral – eventualmente até mercadoria força de trabalho. O espaço intra-urbano, ao contrário, é estruturado fundamentalmente pelas condições de deslocamento do ser humano, seja enquanto é portador da mercadoria força de trabalho – como no deslocamento casa/trabalho – seja enquanto consumidor – reprodução da força de trabalho, deslocamento casa-compras, escola, etc." (VILLAÇA, 1998, p. 20).

O centro é caracterizado como local de concentração de serviços e comércio, estruturas estatais e terminais de transportes urbanos e intermunicipais, apresentando também um adensamento de formas verticais (prédios), devido à restrição de expansão horizontal.

Em torno desse núcleo central encontra-se a “periferia do centro” que apresenta uma área residencial de classe de baixa renda, com habitações chamadas de cortiços[2], concentração menor de serviços e comércio, apresentando um adensamento de formas horizontais, com prédios mais baixos devido à possibilidade de expansão horizontal.

Para atender as necessidades diárias da população, passaram a existir algumas zonas comerciais distantes do centro principal e localizadas em importantes vias de acesso, os chamados “subcentros”, que atendem a população do entorno dessa área em suas demandas de produtos e serviços.

Corrêa (2004) também comenta sobre as deseconomias da área central que motivaram o processo de descentralização das empresas, como: congestionamento, a dificuldade de obtenção de espaço para expansão, as restrições legais, ao mesmo tempo em que, as empresas se interessavam pelos fatores de atração de áreas não-centrais: terras não ocupadas, baixo preço e impostos, infraestrutura implantada, facilidades de transportes e possibilidade de controle do uso das terras.

> O processo de descentralização também impulsionou a realocação de indústrias para fora da área central, a introdução de novas técnicas produtivas e o aumento da escala de produção, que exigiam terrenos maiores, tornando, para muitas indústrias, impraticável uma localização na área central (CORRÊA, 2004, p. 55).

Nesse sentido, as zonas industriais passaram a se localizar próximas a vias de acesso, facilitando o escoamento dos produtos. Ainda, algumas indústrias localizam-se em “distritos industriais”.

As zonas residenciais, ou bairros residenciais ou áreas sociais, independente da nomenclatura utilizada, refletem a existência de diferentes grupos sociais.

Isso ocorre porque o local de moradia e sua infraestrutura refletem as condições que cada classe tem para gastar com sua habitação. Quanto melhor o acesso e as amenidades do terreno, mais caro é o custo para viver no local, fazendo com que as

[2] “Cortiços são casas subdivididas sem os espaços, instalações e separações que se espera de uma casa considerada apropriada.” (CALDEIRA, 2000, p. 79)

pessoas com menor poder aquisitivo acabem morando mais distantes do centro (e, consequentemente, dos empregos e dos serviços públicos).

As zonas residenciais, de acordo com Castells (1974), se concretizam a partir do processo de segregação residencial, que origina a tendência a uma organização espacial em áreas de forte homogeneidade social e interna e de forte disparidade entre as áreas residenciais. Para Correa (2004), essas áreas segregadas ocorrem a partir de uma verdadeira disputa por vantagens e desvantagens do espaço urbano que configura a estrutura hierárquica de uso e ocupação do solo. Isso se deve ao fato que, a moradia e a terra urbana são mercadorias na sociedade capitalista.

A utilização do termo “segregação residencial”, segundo Ribeiro (2003) transmite a ideia de separação e de exclusão de determinados grupos sociais do conjunto da sociedade. Para Torres (2005, p. 83) “o conceito de segregação se remete a duas dimensões principais: os padrões de concentração espacial de determinados grupos sociais e o grau de homogeneidade social de determinadas áreas”.

A fragmentação residencial no espaço urbano e sua expansão não ocorrem de modo aleatório, como o senso comum costuma chamar erroneamente de “crescimento desordenado”:

> A produção do espaço, seja o da rede urbana, seja o intra-urbano, não é resultado da “mão invisível do mercado”, nem de um Estado hegeliano, visto como entidade supraorgânica, ou de um capital abstrato que emerge de fora das relações sociais. É consequência da ação de agentes sociais concretos[3], históricos, dotados de interesses, estratégias e práticas espaciais próprias, portadores de contradições e geradores de conflitos entre eles mesmos e com outros segmentos da sociedade (CORRÊA, 2011, p. 43).

Desse modo, como afirma Ramos (2002), na segmentação socioterritorial cada território intra-urbano tem seu valor de uso e o preço da terra se define pela possibilidade e facilidade de acesso aos serviços e infraestruturas. Singer (1982), nesse mesmo sentido comenta que o uso do solo urbano na economia capitalista está relacionado à sua demanda para fins de ocupação, e seu preço é determinado por maior ou menor acesso a serviços urbanos e também pelo prestígio social da vizinhança.

---

[3] “São eles os proprietários dos meios de produção, os proprietários fundiários, os promotores imobiliários, o Estado e os grupos sociais excluídos. A partir de sua ação o espaço é produzido [...]” (CORRÊA, 2011, p. 44).

Na busca pelo acesso aos serviços básicos, os moradores da periferia se organizam para exigir seus direitos à cidade e a melhores condições de vida. Essa organização resulta na melhoria da infraestrutura urbana das periferias e, consequentemente, no aumento do custo do lote nesses locais (CALDEIRA, 2000).

> Uma das razões pelas quais os pobres tendem a não se fixar, sendo levados para localizações sempre mais periféricas, vem do custo dos serviços. Esses gastos com água, energia elétrica e limpeza urbana são inversamente proporcionais à renda dos menos favorecidos. Isso significa que a chegada de melhoramentos urbanos a uma área conduz, a médio prazo, a expulsão dos pobres, pela impossibilidade de arcarem com as respectivas despesas (SANTOS, 2009, p. 56).

Diferentemente desse tipo de segregação, imposta pela falta de recursos para pagar pela moradia, surgem outras formas de diferenciação espacial, muitas vezes em espaços vizinhos, os condomínios fechados, que promovem o que muitos chamam de auto-segregação (ALVES, 2011). O sentimento de insegurança em viver nas cidades por parte dos grupos sociais de maior poder aquisitivo, leva-os a buscarem a proteção no isolamento territorial (RIBEIRO, 2003).

Esses condomínios fechados aparecem principalmente quando as classes mais favorecidas vão para a periferia, que para se 'protegerem' do entorno, erguem muros e consolidam, fisicamente, a segregação socioespacial (VILLAÇA, 1998).

Nesse contexto, Botelho (2009) descreve como a dispersão urbana no Brasil se realiza de maneira perversa. Para grupos com maior poder aquisitivo, a dispersão ocorre na reclusão em condomínios fechados em áreas periféricas, abandonando os centros históricos. Para os grupos de menor poder aquisitivo, a dispersão significa morar nas periferias em casas auto-construídas, sem infraestrutura e equipamentos adequados, distantes das opções de emprego, consumo e lazer.

A auto-segregação vem se tornando cada vez mais comum, principalmente na figura dos condomínios fechados horizontais e verticais (enclaves fortificados[4]) que podem conter, inclusive, rede de serviços, prédios comerciais, empresas, escolas, etc.

> [...] temos, ao mesmo tempo, a expansão das periferias em que a diferenciação socioespacial se manifesta a partir de espaços aparentemente contraditórios, mas que se combinam na produção espacial: os condomínios fechados, voltados à população de alta renda, e os bairros precários, em que predomina a população de

[4] "Os enclaves fortificados são espaços privatizados, fechados e monitorados, destinados a residência, lazer, trabalho e consumo. Podem ser shopping centers, conjuntos comerciais e empresariais ou condomínios residenciais" (CALDEIRA, 2000, p. 11).

> baixa renda, estes sim denominados comumente de periferia (ALVES, 2011, p. 113).

Desse modo, a clássica e complexa dicotomia centro-periferia, com o centro ocupado pela classe mais favorecida e as periferias ocupadas pela classe menos favorecida transforma-se, com a proliferação dos condomínios fechados nas periferias e ocupação do centro pelas classes populares (ROGGERO, 2009).

E é nesta complexidade que surge a necessidade de instrumentos que auxiliem o planejamento urbano na identificação das diferentes demandas, nas mais diversas formas de ocupação do território.

2.2 Indicadores Intra-urbanos

O crescimento urbano sem planejamento tem gerado uma série de problemas nos centros urbanos que muitas vezes repercutem de maneira negativa na qualidade de vida de seus habitantes. Para subsidiar o entendimento desse processo, é fundamental a produção, organização e atualização de informações cada vez mais detalhadas e desagregadas geograficamente.

Uma das possibilidades é o uso de indicadores, palavra originada do latim "*indicare*" - que representa algo a salientar ou a revelar. Segundo Gomes, Marcelino e Espada (2000) os indicadores são utilizados para resumir a informação de caráter técnico e científico na forma original ou "bruta", permitindo transmiti-la numa forma sintética, preservando o essencial dos dados originais e facilitando seu uso por gestores públicos e pela sociedade.

O uso de indicadores e índices é tradicional em socioeconomia. O Índice Dow Jones e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) são alguns dos mais populares.

Quanto ao uso de indicadores na área ambiental, as discussões sobre a utilização de variáveis ambientais e urbanas iniciam-se após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano de 1972, em Estocolmo (NAHAS, 2002).

No Brasil, diversos estudos urbanos foram realizados utilizando indicadores, mas o Mapa de Exclusão/Inclusão Social da cidade de São Paulo realizado por Sposati (1996) foi a primeira experiência brasileira de indicadores intra-urbanos (GENOVEZ,

2002), onde foram utilizadas variáveis distintas para quatro utopias: autonomia, qualidade de vida, desenvolvimento humano e equidade.

Os mapas e tabelas dessa publicação foram gerados utilizando principalmente informações do Censo de 1991 e tendo como unidade de análise os 96 distritos do Município de São Paulo. Nesse estudo verificou-se que um total de 73 distritos do Município, principalmente nas regiões sul e leste, estavam abaixo dos índices mínimos de inclusão social no ano de 1991.

Genovez (2002), em sua pesquisa, buscou contribuir para instrumentalizar o planejamento de políticas públicas no espaço intra-urbano, tendo em vista a importância da produção, organização e atualização de informações para redução das desigualdades. Nesse sentido, realizou uma adaptação no método original de Sposati (1996), passando a utilizar como unidade de análise os setores censitários, e não os distritos, no município de São José dos Campos – São Paulo.

Foram necessárias revisões no método, visto que a utilização do dado mais desagregado (por setores censitários) potencializou as discrepâncias, que estavam amenizadas quando estes dados eram agregados em unidades maiores, como os distritos.

Cunha e Oliveira (2001) no estudo sobre o processo de configuração e expansão do município de Campinas e sua diferenciação sociodemográfica, constataram a potencialidade no uso de materiais demográficos associados ao geoprocessamento, para o conhecimento e entendimento do contexto intra-urbano. Ainda, concluíram que os dados censitários no nível dos setores representam uma importante fonte de informação para o diagnóstico do espraiamento da cidade e das mudanças no perfil sociodemográfico e espacial.

Morato (2004) definiu uma metodologia de avaliação da qualidade de vida no município de Embu - São Paulo, a partir de variáveis do Censo 2000 e dados de cobertura vegetal, obtidos da imagem Landsat ETM+. Para tanto, realizou uma rica pesquisa de indicadores e variáveis existentes e comumente utilizados, percebendo que os indicadores mais utilizados estão relacionados com a renda, a educação e a presença de áreas verdes.

A avaliação da qualidade de vida permitiu diagnosticar as áreas mais problemáticas no município e suas carências, informações importantes para a definição de áreas prioritárias para intervenção dos órgãos públicos.

Em seu doutorado, Morato (2008) propôs um índice de desigualdade ambiental urbana no Município de São Paulo, utilizando técnicas de análise espacial em variáveis do Censo de 2000, índice de vegetação (obtidas na imagem Landsat ETM+), dados de inundação, escorregamento, postos de contaminação, “piscinões” e aterros/lixões.

Martini (2011) em sua pesquisa analisou a evolução (1990/2000) da qualidade de vida urbana nos distritos da zona sul do Município de São Paulo, tendo como base as variáveis do Censo de 1991 e 2000 e dados orbitais (fotografias aéreas e imagem do satélite IKONOS), onde foram mapeadas as zonas residenciais homogêneas.

Como resultado dessa pesquisa, foi constatada a diminuição na qualidade de vida da população desses distritos de 1991 para 2000 e que a área de estudo, mais próxima do centro da cidade, apresentou um melhor índice de qualidade de vida urbana.

A importância na avaliação da qualidade de vida, para Ceccato[5] (1994 apud Martini, 2011), é constatar cientificamente as diferenças da segregação espacial e seus reflexos, além de onde, quanto e como estão sendo aplicados os recursos públicos que objetivam garantir os direitos básicos dos cidadãos.

Os estudos apontados foram aplicados em áreas urbanas e utilizaram variáveis do Censo Demográfico do IBGE para composição dos indicadores. Jannuzzi (2004) afirma que os dados censitários são a matéria-prima dos indicadores.

Nos séculos passados, a finalidade dos censos demográficos era de apenas contabilizar a população para fins militares ou fiscais. Desde 1940, além de quantificar a demanda potencial de bens e serviços públicos e privados, os Censos levantam uma gama variada de informações, permitindo delimitar na escala intra-municipal, as áreas não atendidas por serviços públicos (JANNUZZI, 2004).

---

[5] CECCATO, V. A. Proposta metodológica para avaliação de qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e banco de dados geocorrelacional. 1994. 122 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

O censo do IBGE possui periodicidade decenal e utiliza como unidade geográfica de análise o setor censitário, que é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação da pesquisa (IBGE, 2011a). Nas áreas urbanas o limite dos setores corresponde a aproximadamente 300 domicílios (JANNUZZI, 2004). Dessa forma, a delimitação dos setores é realizada com objetivo operacional, de adequar o número de domicílios à possibilidade de trabalho do recenseador.

No entanto, a diversidade das variadas dimensões da vida urbana reflete na dificuldade de escolha das variáveis a serem utilizadas nos estudos urbanos, somadas à necessidade de se verificar o acesso, a disponibilidade e a confiabilidade dos dados intra-urbanos (CECCATO; FORESTI; KURKDJIAN, 1993).

Por exemplo, o Censo do IBGE realiza um levantamento minucioso de todos os domicílios do país, resultando em um retrato profundo das características socioeconômicas da população, mas por ocorrer a cada 10 anos, não acompanha a dinâmica de crescimento e transformação dos centros urbanos.

Por isso, fontes complementares de informação sobre o espaço urbano são essenciais para o planejamento e gestão desses locais, e as geotecnologias aparecem como um importante instrumento de tratamento dos dados.

2.3 Geotecnologias

Uma das formas de se estudar o espaço urbano é por meio das geotecnologias, já que um dos mais importantes aspectos que devem ser considerados nos estudos urbanos é a dimensão espacial dos fenômenos. Ainda, as imagens de satélite e fotografias aéreas, por não possuírem limites administrativos tornam possível estudar o ordenamento real dos fenômenos urbanos (WEBER; HIRSH, 1992).

A demanda por informações espaciais precisas e atualizadas é uma premissa para o planejamento e gestão das cidades. Técnicas de geoprocessamento são utilizadas para geração dessas informações, subsidiando análises e o monitoramento do território.

O geoprocessamento é a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de dados obtidos de determinado alvo ou fenômeno, que apresentam uma localização geográfica ou a extração de informações desse alvo ou fenômeno que foram imageados por um sensor (MOREIRA, 2005).

As geotecnologias representam assim um importante instrumento para subsidiar a elaboração de políticas públicas, já que permitem analisar, produzir e integrar dados em uma mesma base territorial (GENOVEZ et al., 2007).

2.3.1 Sistemas de Informação Geográfica

Entre as geotecnologias podemos destacar os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que podem ser definidos como sistemas constituídos por um conjunto de programas computacionais, os quais integram dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido, com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar esses dados (FITZ, 2008).

Para Câmara et al. (2004, p. 07), os SIG possuem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados, organizados sob a forma de um banco de dados geográficos.

Nas funções de processamento de um SIG, existem ferramentas que possibilitam a análise espacial, cujo uso permite a geração de novas informações, por meio da manipulação e integração das camadas de dados existentes no sistema (LANG; BLASCHKE, 2009).

Utilizando um SIG é criada uma realidade virtual do espaço geográfico, composta por camadas de informação (georreferenciadas) que se cruzam, representando cada uma das camadas, um aspecto da realidade (REGO, 2007). Essas diferentes

representações da realidade geográfica em um ambiente computacional podem ser chamadas de territórios digitais (RAMOS; CÂMARA; MONTEIRO, 2007).

Portanto ao possuir de modo sistematizado diversos tipos de dados do meio físico-biótico, dados cadastrais e dados socioeconômicos, pode-se construir os territórios digitais que permitem abstrair uma ampla possibilidade de territorialidades, tornando-se uma importante ferramenta para o planejamento.

Para construir os territórios digitais é necessário colocar as geotecnologias efetivamente a serviço da sociedade, combinando e adaptando metodologias, dados e programas (CÂMARA et al., 2005).

2.3.2 Sensoriamento Remoto

Outra importante técnica é o sensoriamento remoto, utilizado para extração de informações de objetos ou fenômenos a partir de imagens. Fonseca (2000) define o sensoriamento remoto como um processo de capturar informação sobre algum objeto sem estar em contato físico com ele, o que a autora define como “aprendendo sem tocar”.

Segundo Colwell[6] (1983 apud JENSEN, 2011, p. 3) a *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (AS-PRS) definiu formalmente o sensoriamento remoto como: “a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno de estudo”.

Novo (2011) define o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores e equipamentos para processamento e transmissão de dados, com o objetivo de estudar a superfície terrestre por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e os componentes da superfície terrestre. A radiação eletromagnética (REM) é o meio por onde a informação de determinado alvo ou fenômeno é transmitida para o sensor.

[6] COLWELL, R. N. Manual of Remote Sensing. 2nd. Ed., Fall Church:ASP&RS, 1983.

As três definições apresentadas são muito similares, tendo o uso do Sensoriamento Remoto o mesmo objetivo, a extração de informação. Outro importante objetivo do sensoriamento remoto, abordado por Crósta (1992), é o de distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais (tipos de vegetação, padrões de uso do solo, etc.), por meio do comportamento específico ao longo do espectro eletromagnético de cada material.

2.3.2.1 Satélites e Sensores

O primeiro satélite feito pelo homem foi o Sputnik, lançado pela União Soviética em 1957 (JENSEN, 2011). Já no Brasil, iniciou-se o uso de dados coletados por satélites após o lançamento em 1972 do satélite *Earth Resources Tecnology Satellites* (ERTS-1), mais tarde denominado *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT) (MOREIRA, 2005).

Desde então, foi possível medir por meio de sensores, com razoável precisão e à distância, as propriedades espectrais dos alvos e fenômenos da superfície terrestre (MOREIRA, 2005). Esses sensores são:

> [...] dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, na forma gráfica ou qualquer outro produto [...] (MOREIRA, 2005, p.120).

Os sensores possuem algumas propriedades que os diferenciam, podendo, por exemplo, ser instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (FLORENZANO, 2008).

Quando o sistema sensor emite radiação e, após ter interagido com o alvo, capta a parte da radiação que retornou, o sensor é denominado ativo, isto é, possui sua própria fonte de radiação e pode operar durante o dia ou à noite (por exemplo, o radar). Já aqueles sensores que captam e registram radiação proveniente de uma fonte externa (por exemplo, o Sol) são chamados de passivos (MOREIRA, 2005).

Outra característica dos sensores é o tipo de produto gerado, os sensores não-imageadores traduzem os dados coletados sob a forma de gráficos e dados

diversos, já os sensores imageadores traduzem os dados sob a forma de imagem (FITZ, 2008).

Como já comentado, o sensoriamento remoto é uma técnica que permite o registro das variações da reflectância espectral dos alvos, tendo como resultado uma imagem passível de ser interpretada.

Desse modo, cada objeto possui uma característica espectral e pode ser identificado pelo valor de reflectância que apresenta em uma parte específica do espectro eletromagnético, conhecido como assinatura espectral (FONSECA, 2000). Na Figura 2 podemos observar a curva da reflectância espectral de diferentes objetos.

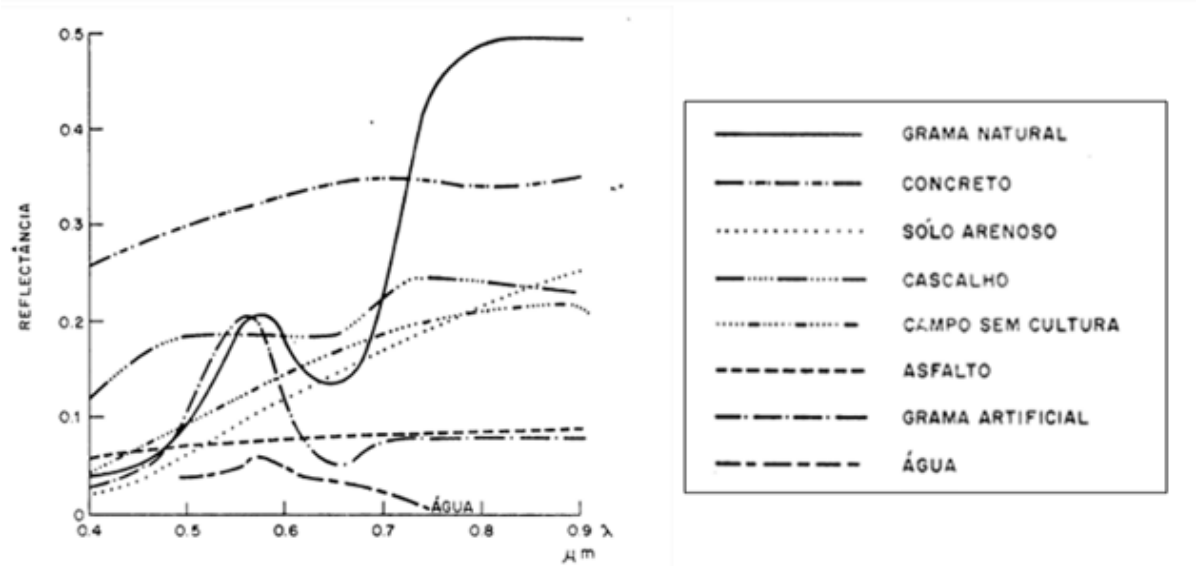


Figura 2 - Curva de reflectância para alguns recursos naturais. Fonte: Novo e Ponzoni (2001, p. 42).

A definição de faixas ou porções do espectro eletromagnético compreende o conjunto de frequências (ou comprimento de ondas) nos quais cada sensor individual opera, o que é denominado de banda espectral.

Alguns exemplos de radiação eletromagnética são: as ondas de rádio, microondas, radiação infravermelha, raios ultravioleta, raios-X e raios gama. Todos estes se movem na velocidade da luz e são conhecidos coletivamente como o espectro eletromagnético, conforme Figura 3. A diferença entre eles é seu comprimento de onda, que está relacionado com a quantidade de energia que a onda carrega, sendo que quanto menor o comprimento de onda da radiação, maior é a energia (FONSECA, 2000).

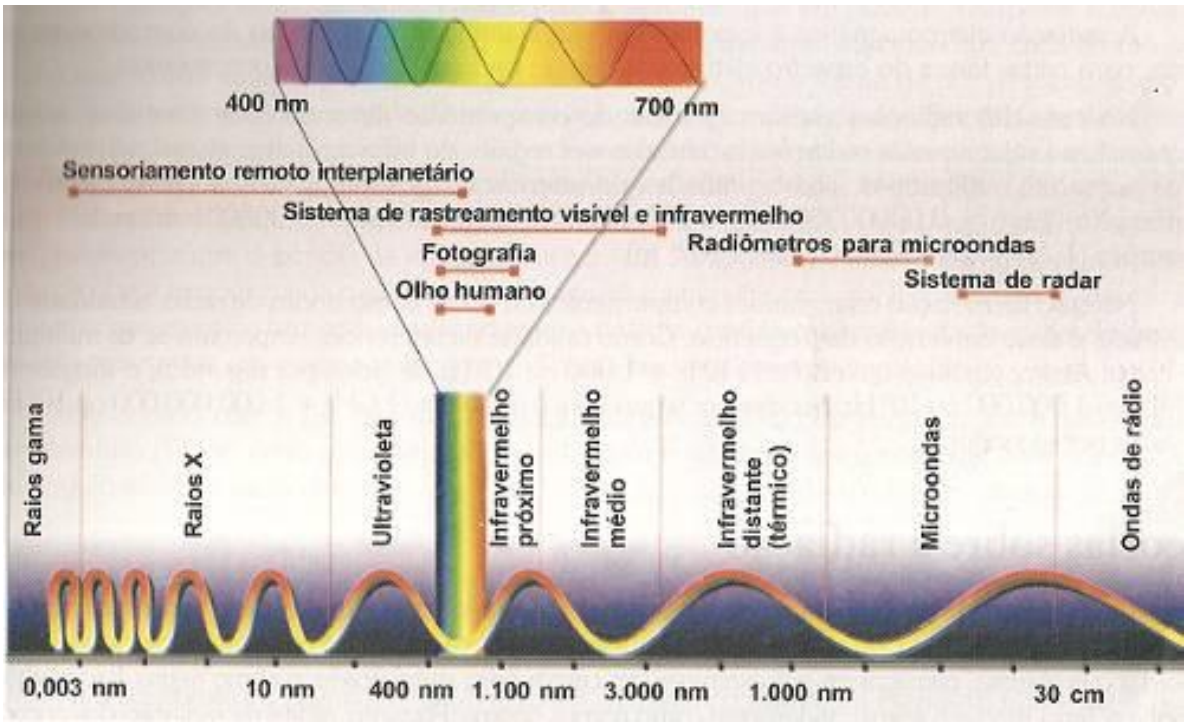


Figura 3 - Espectro eletromagnético. Fonte: Moreira (2005, p. 23).

A radiação eletromagnética no momento da interação com os alvos da superfície terrestre pode ser absorvida, refletida, transmitida e emitida, dependendo das características de cada alvo. Assim, a imagem é formada pela captura, pelos sensores, das ondas eletromagnéticas refletidas ou emitidas pelo alvo.

Essa informação capturada pelos sensores é normalmente armazenada como uma matriz (arranjo) de números, onde cada valor digital está localizado em uma linha e coluna específica na matriz, como apresentado na Figura 4. O pixel é definido como um elemento de cena bidimensional, que constitui o menor elemento não-divisível de uma imagem digital e tem um valor de número digital (DN – *Digital Number*) (JENSEN, 2011).

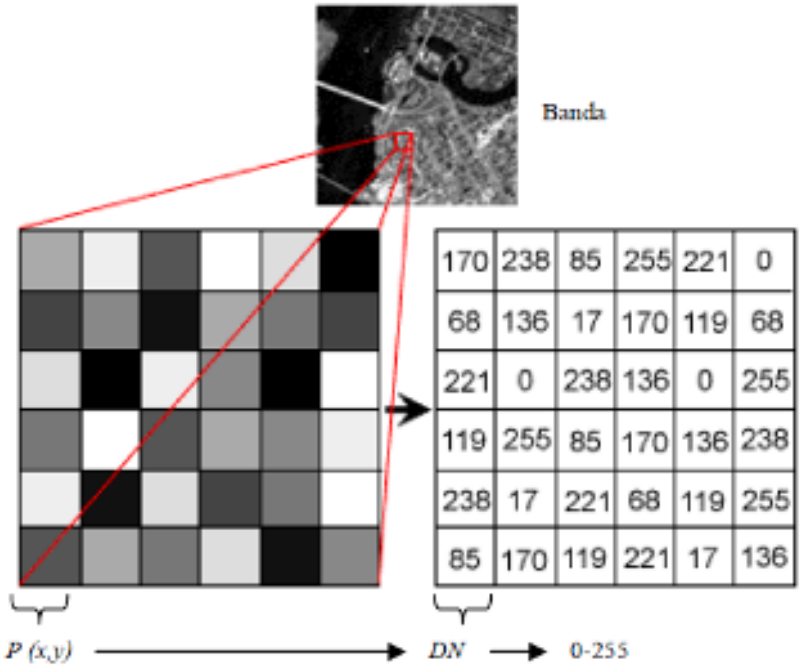


Figura 4 - Representação matricial de uma imagem digital com resolução radiométrica de 8 bits. Fonte: Souza (2010, p.159).

2.3.2.2 Tipos de Resoluções

De acordo com o sensor e a imagem coletada, podemos observar quatro características:

- resolução temporal: refere-se ao tempo que o sensor volta a registrar imagens de uma mesma área. No satélite IKONOS, por exemplo, o satélite revisita frequentemente o mesmo lugar em menos de 3 dias;

- resolução espacial: é definida pela capacidade do sistema sensor em “enxergar” objetos na superfície terrestre, sendo que quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial (CRÓSTA, 1992). Um exemplo de diferentes resoluções espaciais é apresentado na Figura 5;

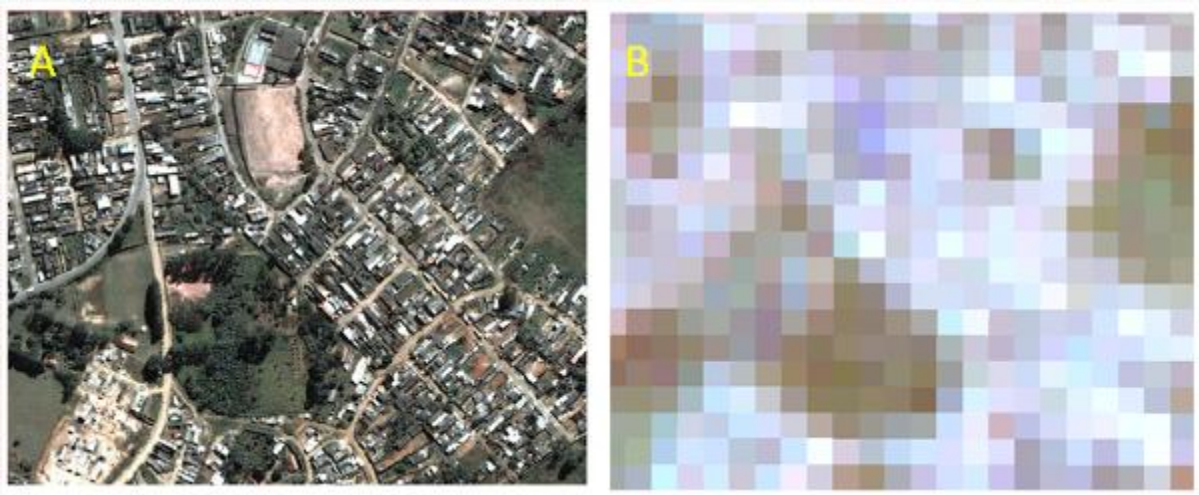


Figura 5 - Comparação entre imagens de diferentes resoluções espaciais de uma mesma área: a imagem “A” é do satélite IKONOS com 1m x 1m de resolução espacial, a imagem “B” é do satélite LANDSAT com 30m x 30m de resolução espacial.

- resolução radiométrica: refere-se à quantidade de níveis digitais[7], representando os níveis de cinza usados para expressar os dados coletados pelo sensor, onde quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica (CRÓSTA, 1992). Um exemplo de diferentes resoluções radiométricas pode ser observado na Figura 6;

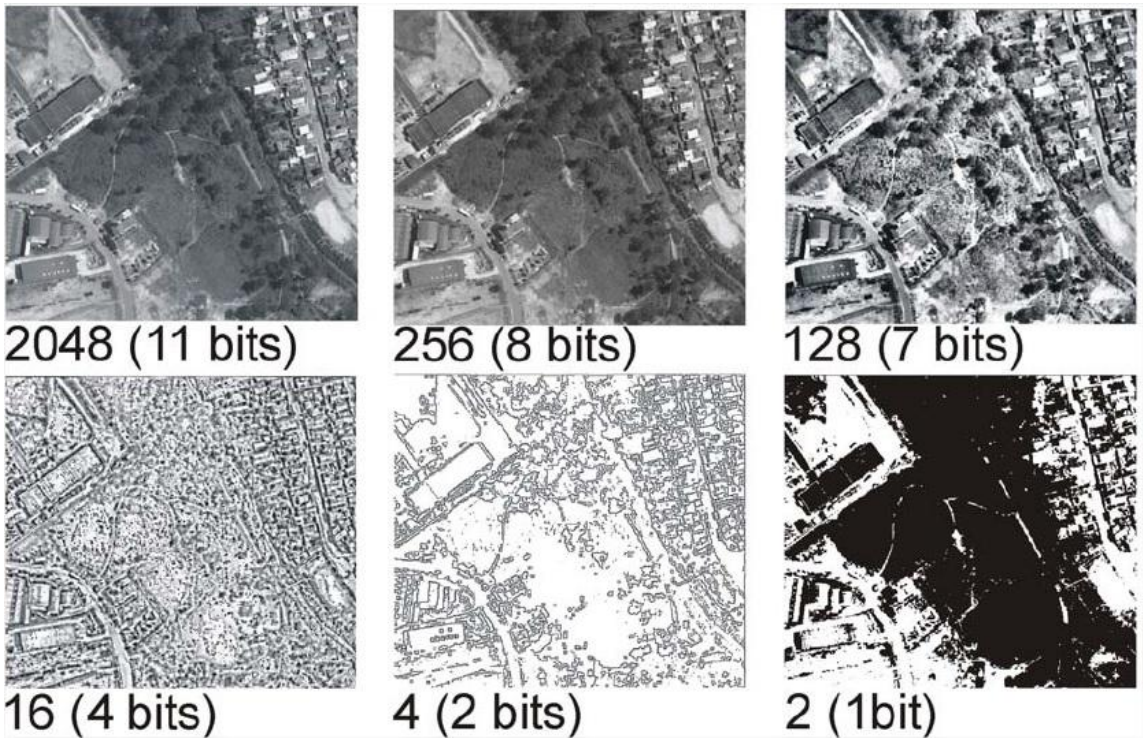


Figura 6 - Diferentes resoluções radiométricas. Fonte: Melo (2002, p. 34).

[7] “O número de níveis é comumente expresso em função do número de dígitos binários (“bits”) necessários para armazenar em forma de digital o valor do nível máximo. O valor em bits é sempre uma potência do número 2; desse modo, “6 bits” quer dizer 2^6 = 64 níveis” (CRÓSTA, 1992, p. 22).

- resolução espectral: é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda, sendo um conceito inerente às imagens multiespectrais (CRÓSTA, 1992). Por exemplo, o satélite IKONOS possui quatro bandas multiespectrais: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo.

É importante salientar que existe uma grande diversidade de sensores com diferentes resoluções espaciais, temporais, espectrais e radiométricas disponíveis ao usuário. O que deve ser levado em conta na escolha do mais adequado, além do seu custo, é a finalidade de sua aplicação.

2.3.2.3 Processamento Digital de Imagens

As técnicas de processamento de imagens iniciaram-se com a manipulação de fotos aéreas obtidas por balões e, evoluíram velozmente em tempos mais recentes, a partir de sua migração para sistemas de computação digital (CRÓSTA, 1992).

Para Fonseca (2000, p. 6) por “processamento digital de imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens”. Florenzano (2008, p. 41) considera que “as técnicas de processamento de imagens digitais consistem em operações ou transformações numéricas aplicadas nas imagens”.

O objetivo do processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual do alvo de interesse na imagem, para fornecer subsídios para a sua interpretação. Primeiramente, podem ser realizadas técnicas de pré-processamento como: remoção de ruídos[8], realce de imagens, correção e retificação geométricas e registro, redução da dimensionalidade, correção radiométrica e restauração do pixel. (MOREIRA, 2005).

[8] “Ruído corresponde, na imagem digital, à falta de informações da energia refletida em uma área do terreno” (MOREIRA, 2005, p. 273).

Após a realização dos pré-processamentos necessários na imagem, a mesma pode ser utilizada para reconhecimento dos padrões e extração das classes de interesse, por meio da interpretação visual ou classificação digital.

Interpretação Visual

A interpretação de imagens no sensoriamento remoto segue os princípios da interpretação aerofotogramétrica. A fotointerpretação é a técnica que realiza o estudo de imagens fotográficas para a identificação, interpretação e obtenção de informações sobre os objetos nela contidos (FITZ, 2008). Para Moreira (2005) a fotointerpretação é um processo que envolve pelo menos duas etapas: observação e interpretação.

Durante a interpretação da imagem, o intérprete faz uso de princípios e conhecimentos como localização, tonalidade e cor, tamanho, forma, textura, padrão, sombra, altura e profundidade, volume, declividade, aspecto, situação e associação (JENSEN, 2011).

Mas, apesar de toda essa experiência consolidada na técnica de fotointerpretação para fotografias aéreas, alguns avanços tecnológicos recentes fizeram com que aumentasse a utilização de técnicas para classificação de imagens de satélite. Isso se deve ao fato de que, embora as fotografias aéreas sejam de aplicabilidade diversificada, em comparação com os dados de satélite, as fotografias possuem um custo e tempo de obtenção maiores que a maioria das imagens de satélite (MOREIRA, 2005).

Vale a pena ressaltar que as imagens de alta resolução espacial, por apresentarem um tamanho de cena menor que as de média e baixa resolução e por as vezes necessitarem ser programadas, podem também apresentar custo elevado.

Somado a isso, com o acréscimo de satélites em órbita na Terra, o volume de dados coletados aumentou, tornando praticamente impossível seu tratamento por métodos convencionais de interpretação visual, estimulando o desenvolvimento de sistema de processamento digital de imagens (MOREIRA, 2005).

Classificação Digital

O sistema visual humano possui a capacidade de reconhecer padrões, mas ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informações presente numa imagem (CRÓSTA, 1992).

Desse modo, foram desenvolvidos sistemas para processar esses dados de forma automática. A interpretação visual, descrita anteriormente, é conhecida como uma forma de classificação não automática, onde o analista extrai as informações por meio da inspeção visual da imagem.

Durante a classificação automática de imagens, o pixel de cada imagem recebe um rótulo que descreve o objeto no mundo real, por exemplo: floresta, telhado, corpos d' água, entre outros. Esse rótulo, também chamado de classe, é definido pelo analista que está realizando o processamento na imagem, sendo a classificação um:

> [...] processo de extração de informação em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. O resultado final de uma classificação de uma imagem é uma imagem temática (mapa), onde os pixels classificados são representados por símbolos gráficos ou cores. Cada cor ou símbolo está associado à uma classe (área urbana, tipos florestais, tipos de solo, etc.) definida pelo usuário (FONSECA, 2000, p. 95).

As técnicas de classificação aplicadas às várias bandas são conhecidas como classificação multiespectral, onde o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em várias bandas espectrais.

Para tanto, observa-se o histograma[9] bidimensional que contém as frequências de distribuição de intensidades de duas bandas e as classes são definidas pela existência de "nuvens" (em inglês, *clusters*) de alta concentração de pixels no espaço de atributos (em inglês, *feature space*) (CRÓSTA, 1992). A Figura 7 apresenta o espaço de representação bidimensional dos níveis de cinza de uma imagem e sua relação com o comportamento espectral dos tipos de cobertura da terra.

[9] "O histograma de uma imagem revela a distribuição dos níveis de cinza da imagem; é representado por um gráfico que dá o número de pixels na imagem para cada nível de cinza (FONSECA, 2000, p. 33).

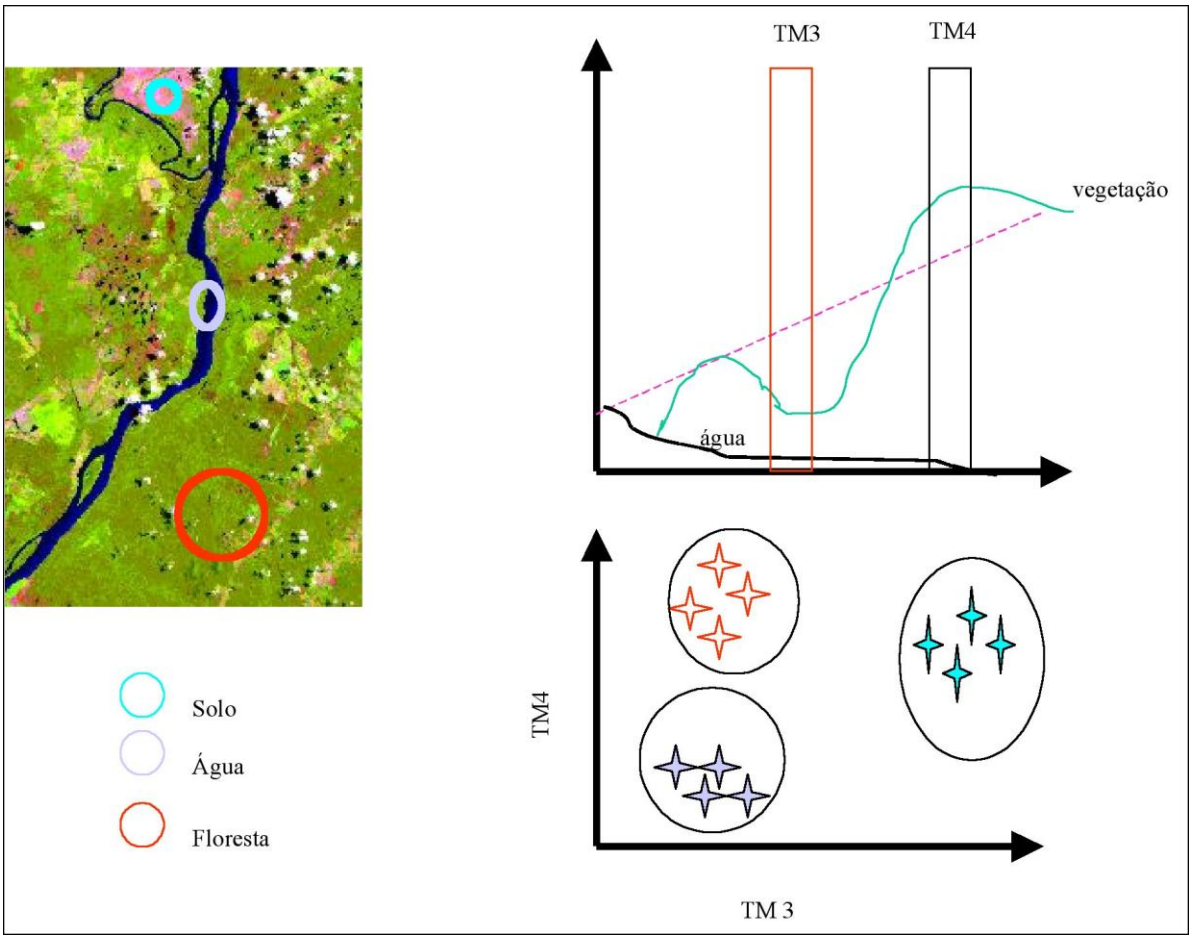


Figura 7 - Ilustração do espaço de atributo. Fonte: Novo (2011, p. 313).

Para Fonseca (2000) os classificadores podem ser divididos em classificadores pixel a pixel ou por regiões:

> Os classificadores pixel a pixel utilizam apenas a informação espectral isolada de cada pixel para identificar regiões homogêneas. A classificação por regiões é realizada, basicamente, em duas etapas. Primeiro a imagem é particionada em regiões (segmentação). Posteriormente, cada região é associada a uma classe. Ou seja, todos os pixels pertencentes a uma dada região são mapeados para uma mesma classe. Este método simula o comportamento de um fotointérprete, que reconhece áreas homogêneas nas imagens baseando-se nas propriedades espectrais e espaciais destas imagens (FONSECA, 2000, p. 97).

O classificador de regiões procura simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas dentro de uma imagem (MOREIRA, 2005). A classificação por regiões é dividida em três fases: segmentação, classificação e mapeamento.

O método de classificação digital de imagem pode ou não ser supervisionado pelo operador. A partir da leitura de Crósta (1992), são apresentadas as seguintes definições:

- Classificação não-supervisionada: o programa utilizado decide com base em regras estatísticas quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma. O programa é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados, consultando o espaço de atributos de todos os pixels que compõem a imagem e desse modo, as nuvens são automaticamente identificadas e usadas como áreas de treinamento para a classificação. Dependendo do algoritmo utilizado, um certo grau de interação com o usuário é essencial, pelo menos na escolha dos limiares. Exemplos de algoritmos: método ISODATA ou Isoseg e método K-Médias.

- Classificação supervisionada: o usuário identifica alguns dos pixels pertencentes às classes desejadas, essas áreas identificadas são chamadas de áreas de treinamento. Os DN dos pixels do conjunto de treinamento em cada uma das bandas espectrais são então comparados com os valores de DN de cada pixel da imagem, para decidir à qual classe estes pertencem, deixando para o programa utilizado a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes. Exemplos de algoritmos: método da máxima verossimilhança (MAXVER), método do paralelepípedo, método da distância de *mahalanobis* e método da distância mínima.

Moreira (2005) comenta que na classificação supervisionada o treinamento pode ser muito subjetivo, porque é feito de acordo com um critério estabelecido pelo analista e pressupõe o conhecimento prévio da área de estudo. Já o uso de classificadores não supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento, a priori, da área de estudo.

2.3.2.4 Inovações do Sensoriamento Remoto

Como abordado sobre o processamento digital de imagens, comumente são utilizados dois tipos de procedimentos para extrair informações de imagens ou fotografias: fotointerpretação ou métodos de classificação automática.

A fotointerpretação apresenta algumas limitações como a dificuldade para processar um grande volume de dados e a subjetividade dos intérpretes. Pinho (2006) comenta sobre a dificuldade em utilizar o procedimento de interpretação visual para fazer o mapeamento do uso e cobertura do solo de uma cidade inteira, devido ao custo e tempo, visto que mobiliza uma grande quantidade de mão-de-obra especializada.

A classificação automática, com o classificador pixel a pixel, é questionada devido à baixa precisão dos resultados. Isso acontece na maioria das vezes, segundo Crósta (1992), devido ao resultado de uma classificação (pixel a pixel) ser uma imagem com ruído, com pixels isolados ou pequenos grupos de pixels, de diversas classes, que ocorrem próximos a áreas homogeneamente classificadas. Esse efeito é conhecido como sal e pimenta.

Além disso, esse tipo de classificação estatística, constituído por um processo de análise dos pixels de forma isolada, possui a limitação da análise pontual basear-se unicamente em atributos espectrais (RIBEIRO; KUX, 2009).

Outra mudança ocorrida, é que a classificação pixel a pixel e os algoritmos de classificação eram utilizados principalmente para imagens de média e baixa resolução espacial, onde normalmente o alvo de interesse era menor do que o tamanho do pixel. Há alguns anos, os dados do satélite indiano IRS-1C/D eram considerados como de resolução espacial máxima (resolução no solo de 5,8 para o modo pancromático) (BLASCHKE; GLÄSSER; LANG, 2005).

Isso mudou com o advento de novos satélites, onde sensores com alta resolução espacial como, por exemplo, o sensor do IKONOS de 1m x 1m que “muda até o modo de se usarem as imagens por ele geradas, pois, se anteriormente um pixel continha vários objetos, agora um objeto é composto por vários pixels” (MOREIRA, 2005, p. 187).

Como exemplificado na Figura 8, nas imagens de alta resolução espacial, o pixel não é mais automaticamente maior/igual aos objetos pesquisados.

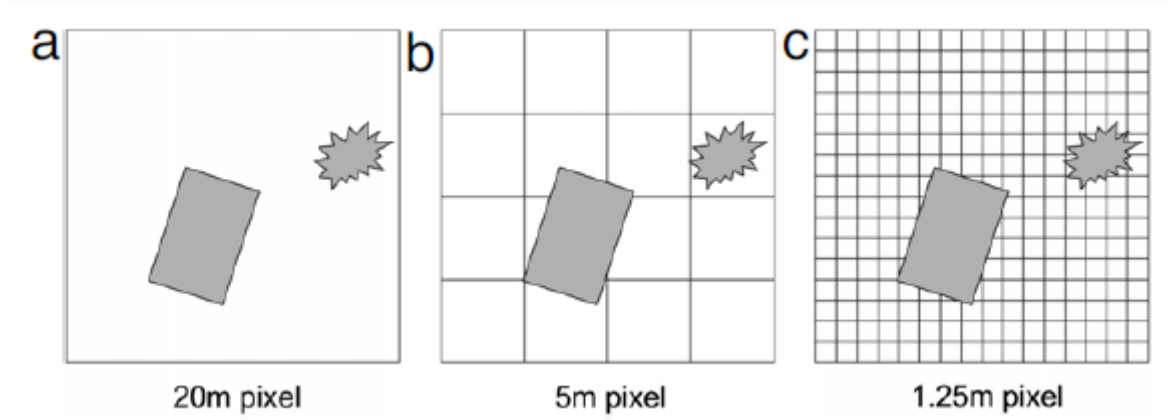


Figura 8 - Nos exemplos “a”, “b” e c“ são representados os mesmos alvos em imagens de diferentes resoluções espaciais. Fonte: Blaschke (2010, p. 2).

Para Neubert e Meinel (2005), a questão dos pixels mistos foi reduzida com as imagens de alta resolução, mas também aumentou fortemente a variabilidade e o ruído interno dentro das classes quase homogêneas.

As imagens de alta resolução espacial trouxeram tanto oportunidades como novos desafios. Como oportunidades podemos citar seu menor custo em comparação às fotografias aéreas e a possibilidade de realizar o mapeamento da cobertura do solo urbano/intra-urbano de maneira detalhada, usando métodos apropriados de classificação automática (computadorizado).

Como desafios ocasiona o aumento na complexidade escalar devido à dificuldade do uso da classificação automática em ambientes urbanos/intra-urbanos que são ao mesmo tempo heterogêneos (diferentes feições) e semelhantes do ponto de vista de assinatura espectral.

Ainda, como as cenas obtidas são menores é necessária maior atenção para não perder a visão de conjunto no momento da análise de determinado fenômeno. Com a alta resolução espacial também surgem as sombras (de prédios, árvores, etc.), principalmente em áreas urbanas densas.

As inovações e os desafios apresentados ocasionaram a busca pelo desenvolvimento de novos métodos de classificação e a procura por novas concepções metodológicas (BLASCHKE; GLÄSSER; LANG, 2005).

Os avanços na informática, o aumento da disponibilização das imagens de satélite e a facilidade de acesso, como a possibilidade de *download* gratuito de imagens do CBERS-2B, sensor HRC (2,5m) no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

(INPE) também impulsionaram a busca de novos métodos para processar imagens de alta resolução espacial.

Enquanto o sensoriamento remoto fez grandes progressos como o aumento de resolução, disponibilidade de dados e a disseminação ao público, a maioria das aplicações são baseadas em conceitos de processamento de imagens da década de 1970: classificação pixel-a-pixel utilizando o espaço multidimensional de atributos (BLASCHKE; STROBL, 2001, p. 12, tradução nossa).

Dessa forma, utilizando algoritmos clássicos de classificação automática em imagens de alta resolução espacial, que se baseiam apenas nos atributos espectrais do pixel, a heterogeneidade da área urbana e a semelhança espectral dos alvos, como árvore e grama, telhado escuro e asfalto, telhado de cerâmica e solo exposto, causam confusão e diminuem a qualidade da classificação.

Ribeiro (2010) comenta que o mapeamento de áreas urbanas mostra grande complexidade por apresentar alvos com composição química semelhantes, tornando objetos de classes diferentes indiscerníveis em classificações baseadas apenas no comportamento espectral dos alvos.

2.3.2.5 Análise de Imagem Baseada em Objeto

Com o intuito de superar essas limitações, pode-se utilizar a classificação por regiões, baseada no princípio de não analisar apenas o pixel, mas dividir a imagem em pequenos segmentos, considerados objetos. Neubert e Meinel (2005, p. 115) concordam que “[...] são necessárias concepções inovadoras baseadas não somente para níveis de cinza, pois a forma dos objetos e as relações de vizinhança são características igualmente importantes para a classificação de determinados usos”.

Além disso, os procedimentos baseados em objetos fornecem mais opções para a classificação, incluindo contexto (delimita-se com, próximo a, contido em, etc.) e a inclusão na classificação de dados de SIG e Modelo Digital de Terreno (MDT) (LEUKERT, 2005).

Para Navulur (2006) as vantagens da abordagem baseada em objeto é que a técnica aproveita todas as dimensões do sensoriamento remoto: espectral, espacial, morfológica, contextual e temporal, e ainda as funcionalidades do SIG.

Quanto ao termo, esse método de classificação de imagens de sensoriamento remoto de acordo com Blaschke (2010) era chamado de “análise de imagem orientada a objeto” (OOIA, do inglês *object-oriented image analysis*). Os autores que utilizavam esse termo o substituíram por “análise de imagem baseada em objeto” (OBIA, do inglês *object-based image analysis*).

Hay e Castilla (2008) realizaram uma discussão detalhada para proposição de um novo termo - *geographic object-based image analysis* (GEOBIA) que significa o desenvolvimento de métodos automáticos de particionar/segmentar imagens de sensoriamento remoto em objetos que possuem características espaciais, espectrais e escalas temporais semelhantes.

Nesta pesquisa, será utilizado o termo classificação ou análise de imagem baseada em objeto (OBIA).

A utilização do conceito de objeto é peça chave na análise de imagens, pois parte-se 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, 2004). Considera além da informação espectral, informações geométricas, espaciais e de contexto, e por meio de técnicas de segmentação trata os alvos da imagem como objetos e não somente como pixels isolados.

Estes objetos são segmentos gerados a partir de um procedimento de segmentação que:

> [...] consiste em dividir a imagem em regiões ou segmentos, regiões da imagem que correspondam aos objetos ou partes deles. Cada segmento pode então ser descrito em termos espectrais, usando os valores médios ou a matriz de variância-covariância entre bandas, mas também pode ser descrito em termos espaciais, analisando a variação de seu contorno ou a distribuição dos pixels que o compõem (ANTUNES; CORTESE, 2007, p. 42).

Cada objeto resultante da segmentação representa um alvo do mundo real com características individuais. Um conjunto de regras (utilizando, por exemplo, lógica

fuzzy[10]) permite que os objetos com características comuns sejam agrupados em classes definidas pelo usuário.

Esse tipo de classificação busca automatizar o conhecimento utilizado pelo analista durante uma interpretação visual. Por exemplo, em áreas urbanas onde as classes são semelhantes espectralmente (cor), o analista distinguiria os alvos urbanos facilmente a partir dos elementos de fotointerpretação, como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto.

As etapas da OBIA são apresentadas na Figura 9:

Figura 9 - Fluxograma da classificação baseada em objetos. Fonte: Adaptado de Nobrega (2007, p. 59).

Na **primeira etapa** são definidos os alvos de interesse para que seja escolhido um parâmetro de segmentação (**segunda etapa**) adequado para o delineamento dos objetos. Cada segmento gerado possui atributos com valores de forma, tamanho, cor e tonalidade, textura, entre outros. A **terceira etapa** demanda ao usuário a análise dos atributos e limiares inerentes a cada alvo de interesse e dos atributos e limiares que diferenciam um alvo de outro; essa análise resulta na definição das regras que serão utilizadas na classificação da imagem (**quarta etapa**).

[10] "A lógica fuzzy é uma aproximação matemática para quantificar declarações incertas. [...] As funções fuzzy de pertinência, possibilitam discriminar os objetos que devem pertencer ou não, a uma determinada classe com um grau de pertinência. Para tanto, os objetos são transformados em uma gama de valores num intervalo contínuo (0-1). Após a definição das funções de pertinência, a lógica fuzzy pode ser aplicada por meio de operadores" (PINHEIRO; KUX, 2005, p. 267).

Gonçalves, Fonseca e Caetano (2001) apresentam duas razões para adoção da classificação baseada em objeto, a primeira é que as informações de contexto do alvo podem ser incorporadas mais facilmente. A segunda é que o processamento de imagens é mais próximo dos processos cognitivos humanos do que a classificação baseada apenas no nível do pixel.

A segunda justificativa também é utilizada por Pilz e Strobl (2005), que acreditam que os resultados da classificação podem ser melhores, pois a classificação de objetos corresponde muito melhor à forma visual e cognitiva do ser humano.

Pinho et al. (2009) demonstram a superioridade na identificação dos alvos urbanos pelo ser humano. As dificuldades encontradas na classificação com procedimentos automáticos e semi-automáticos de classificação de imagens podem não existir para um fotointérprete.

Programas de Análise de Imagem Baseada em Objeto (OBIA)

Entre os programas com funcionalidades para a aplicação de classificação orientada a objeto podemos citar:

eCognition[11]

O eCognition (programa proprietário) até junho de 2012 era propriedade da empresa alemã Definiens. Atualmente a Trimble é distribuidora oficial do programa que é a solução líder mundial para extração de informações geoespaciais, analisando o pixel baseado em seu contexto, e não isoladamente, reconhecendo os grupos de pixels como objetos. O eCognition auxilia a correlação entre classificação de imagens e outros sistemas de informações geoespaciais, permitindo aos usuários a tomada de decisões e oferecendo a ligação entre o Sensoriamento Remoto e SIG.

ENVI EX[12]

O ENVI EX (programa proprietário) da antiga ITT, em outubro de 2011 desmembrou-se em três empresas, entre elas a Exelis, distribuidora oficial do ENVI. O programa é utilizado para extração de informações com base nas características espaciais e espectrais das imagens de alta resolução, pancromáticas ou multiespectrais,

[11] http://www.threetek.com.br/definiens.php Acesso em: 03 jun. 2012.
[12] http://www.sulsoft.com.br/index.php?link=produtos Acesso em: 03 jun. 2012.

utilizando algoritmos de classificação e extração de feições orientada a objetos. O ENVI EX fornece um conjunto de rotinas que permitem tratar as imagens e dados, além de oferecer recursos avançados de análise das informações.

InterIMAGE[13]

O projeto do programa livre InterIMAGE é resultado da cooperação internacional coordenada pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) com o INPE e com a Universidade Libniz de Hannover (Alemanha). O InterIMAGE é um aplicativo para interpretação de imagens, com código aberto e de domínio público, cujo sistema de classificação orientada a objeto é baseado em conhecimento, por meio da criação de uma rede semântica.

SPRING[14]

O SPRING é um SIG (Sistema de Informação Geográfica) no estado-da-arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. O SPRING é um projeto da Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE com a participação de outras instituições. O programa apresenta o classificador supervisionado por regiões *Bhattacharya*, que utiliza a distância de *Bhattacharya* para medir a separabilidade estatística entre cada par de classe espectral. No entanto, apesar do programa considerar as regiões para fazer a classificação da imagem, ao invés do DN do pixel isolado, não é possível a construção e customização de regras.

IDRISI[15]

O IDRISI é produzido desde 1987 pela Clark Labs, sendo um programa que integra funcionalidades direcionadas às aplicações em SIG e também ao processamento de imagens. O IDRISI Selva (versão 17) possui um novo aplicativo de classificação baseado na segmentação de imagens.

---

[13] http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=interimage Acesso em: 10 nov. 2011.
[14] http://www.dpi.inpe.br/spring/ Acesso em: 10 nov. 2011.
[15] http://www.idrisi.com.br Acesso em: 03 set. 2013.

2.3.2.6 Sensoriamento Remoto aplicado no Espaço Urbano

Comumente, fotos aéreas ou imagens de alta resolução espacial são utilizadas em estudos para extrair informações de áreas urbanas, que são posteriormente correlacionadas com informações socioeconômicas. No levantamento bibliográfico realizado por Ceccato, Foresti e Kurkdjian (1993) os dados extraídos de fotografias aéreas apresentaram boa correlação com dados demográficos e socioeconômicos, sendo considerados importantes indicadores da condição socioeconômica e ambiental da população.

Na tentativa de avaliar a utilização dos dados de sensoriamento remoto para o levantamento de informações sobre o espaço urbano, também foram realizados alguns estudos de inferência populacional, como a pesquisa de Souza (2003), que em sua dissertação objetivou estimar a população intra-urbana a partir da análise do espaço residencial urbano construído. Para tanto, foram escolhidas áreas do município de São José dos Campos – São Paulo, onde a partir da interpretação visual de imagens fusionadas do satélite IKONOS foram identificadas diferentes texturas que o uso residencial representava.

Por meio da análise de elementos como organização das quadras, arborização das ruas e dos terrenos, tamanho e ocupação do terreno, traçado e tratamento do sistema viário, densidade de ocupação, homogeneidade dos materiais dos telhados e acabamento das residências, foram definidas para o município 11 zonas homogêneas quanto ao espaço residencial construído. Ao final foi verificada a correlação entre as zonas e o número de população do censo de 2000, onde a metodologia utilizada obteve resultados satisfatórios na estimativa populacional.

Gonçalves et al. (2006) desenvolveram um estudo com o objetivo de avaliar a utilização dos dados de sensoriamento remoto para estimativa de população urbana em períodos intercensitários, no município de São José dos Campos. Por meio da interpretação visual de imagens do satélite IKONOS (fusionadas) foram definidas zonas residenciais unifamiliares homogêneas (ZRUF). Posteriormente, foi realizada a contagem das unidades residenciais por setor censitário e estimada a população urbana em cada ZRUF, apresentando resultados satisfatórios.

Além do uso de imagens de alta resolução uma técnica que vem sendo muito utilizada é a de classificação baseada em objetos, ideal para estudos de áreas urbanas por possibilitar a análise dos dados provenientes da interação entre radiação eletromagnética e alvo (características espectrais), bem como pelo uso de dados complementares (como dados topográficos), atributos de textura, forma, contexto, entre outros.

Existem diversos estudos nacionais e internacionais que utilizaram o método de classificação baseada em objetos.

Hofmann (2001) buscou identificar assentamentos informais (favelas) em Cape Town – África do Sul por meio das características de cor, textura, forma e contexto de cada padrão residencial. Para tanto, utilizou OBIA em imagens fusionadas do satélite IKONOS no programa eCognition.

A imagem e o programa utilizados mostraram-se satisfatórios para a identificação de áreas com assentamentos informais, mas não obtiveram bom resultado na identificação de habitações informais isoladas.

Antunes, Lingnau e Centeno (2003) desenvolveram um estudo para verificar a eficiência da classificação de imagens de alta resolução baseada em objetos. Na área agrícola do Município de Nova Esperança – Paraná foi proposto o mapeamento da mata ciliar ao longo do rio Porecatú em imagens do satélite IKONOS (multiespectrais).

O resultado da classificação apresentou confusão entre a vegetação de várzea e a área agrícola, mas quando comparado com outra classificação baseada na Teoria Bayesiana, a classificação baseada em objetos mostrou-se superior.

Kux e Pinheiro (2005) realizaram o mapeamento da cobertura da terra numa seção de mata atlântica no Rio Grande do Sul no projeto do Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza PRÓ-MATA. A fusão das imagens do satélite QuickBird permitiu um mapeamento na escala 1:15.000. Os testes com o classificador baseado em objetos não foram satisfatórios e foi realizada a interpretação visual para extrair as classes de formação florestal, formação campestre, sucessão secundária, áreas antropizadas, afloramentos de rochas e sombra.

Pinho, Feitosa e Kux (2005) compararam em uma imagem IKONOS (fusionada) duas abordagens diferentes para classificação de alvos urbanos de São José dos

Campos – São Paulo: uma pixel-a-pixel (programa ENVI), por meio do classificador MAXVER, e baseada em objetos (programa eCognition). Por meio de avaliação visual, contatou-se que a classificação MAXVER em comparação com o classificador baseado em objetos identificou melhor apenas as classes vegetação e piscina e apresentou aparência granulada (efeito sal e pimenta) na classificação, demonstrando dessa forma a superioridade da OBIA das classes: solo exposto, telha cerâmica, telha alumínio, concreto/amianto claro, concreto/amianto escuro, pavimentação e sombra.

Alves e Vergara (2005) aplicaram a metodologia de OBIA para identificar alvos urbanos em Manaus na imagem IKONOS fusionada. Foram utilizados 3 níveis de segmentação no programa eCognition e no resultado foi gerada a matriz de erro e calculado o índice Kappa, onde observou-se confusão entre a classe água e a classe vegetação, pelo fato da vegetação estar inundada na imagem.

Antunes e Sturm (2005) utilizaram uma imagem IKONOS (multiespectral) para mapear na Área de Preservação Permanente (APP), do rio da Onça do município de Matinhos – Paraná, os diferentes tipos de cobertura: casa, solo exposto, vegetação alterada e floresta. Foi utilizada OBIA no programa eCognition e o resultado foi que somente 25 a 30% da APP foram respeitadas em relação à preservação, concluindo que o método adotado é uma importante ferramenta para a análise e, portanto, para o planejamento e gestão ambiental.

Neubert e Meinel (2005) avaliaram a eficiência da classificação de dados do satélite IKONOS (fusionada) na análise baseada em objeto, utilizando o programa eCognition. Para tanto, foram escolhidas duas áreas-teste, uma rural e outra urbana de Dresden – Alemanha. A segmentação das imagens foi realizada em 3 níveis. Na classificação da área urbana foi utilizado com auxiliar o arquivo (camada) de ruas e na área rural o modelo digital de elevação obtido com scanner a laser. As classificações geradas foram consideradas satisfatórias, mesmo com as limitações da versão 1.0 do programa eCognition utilizado nesse estudo.

Pilz e Strobl (2005) mapearam superfícies impermeáveis em Rankweil – Áustria utilizando classificação baseada em objetos de ortofotos. Foram utilizados 5 níveis de segmentação no programa eCognition para extrair as classes “não impermeabilizado”, “impermeabilizado” e “superfície de telhado”. Ao final, os

resultados foram avaliados e considerados satisfatórios, mesmo sem utilização de dados de altimetria.

Pinho (2006) desenvolveu em sua dissertação dois experimentos em São José dos Campos – São Paulo. O primeiro foi a comparação do resultado da classificação baseada em objetos de imagens (fusionadas) dos satélites IKONOS e QuickBird. O segundo experimento avaliou a melhoria da classificação utilizando regras individuais para cada tipo de padrão espacial de ocupação.

Os resultados das duas classificações realizadas no programa eCognition foram avaliados e comparados. No primeiro experimento não houve diferença significativa entre a qualidade das classificações dos dois sensores. Para o segundo experimento constatou-se que a elaboração de esquemas de classificação e segmentação específicos para cada tipo de padrão espacial de ocupação produziu melhores resultados, em comparação à aplicação de um esquema geral para toda a área.

Araújo (2006) em sua dissertação, com o intuito de gerar informações para o planejamento urbano, realizou uma análise multitemporal de cenas do satélite QuickBird (2002 e 2004) utilizando OBIA no programa eCognition. Para tanto, foram escolhidos 2 bairros de Belo Horizonte – Minas Gerais.

A avaliação das classificações geradas indicou a necessidade de edição manual em alguns locais. A partir da integração dos produtos orbitais com dados de outras fontes (como dados censitários, geológicos, ambientais, legais, etc.) foram geradas informações de expansão dos bairros, ocupações irregulares e áreas com riscos de deslizamento/erosão.

Souza, Durand e Pinho (2007) analisaram o espaço residencial da cidade de São José dos Campos – São Paulo, a partir de um mapa temático de cobertura do solo intra-urbano, contendo as classes: vegetação, tipos de telhados (metálico, concreto amianto, telha cerâmica, etc.), piscina, sombra, asfalto e solo. O mapa foi gerado a partir da classificação baseada em objetos de imagens QuickBird (fusionadas) no programa eCognition. A limiarização da área relativa das classes de cobertura nas quadras escolhidas permitiu a elaboração de um conjunto de descritores para a classificação das quadras residenciais como áreas de ocupação de população de baixa, média, alta renda e favela em residências multifamiliares e unifamiliares.

O resultado do experimento foi comparado com um mapeamento realizado por interpretação visual, sendo considerado muito bom. Os maiores erros foram de omissão e inclusão das áreas com características de ocupação das classes de baixa e média renda, principalmente devido à existência de casas geminadas.

Bernardi et al. (2007) compararam dois métodos de classificação de uma imagem QuickBird de Lavras – Minas Gerais, o primeiro foi o MAXVER (pixel a pixel no programa ENVI) e o segundo foi do vizinho mais próximo (OBIA no programa eCognition). Foram definidas as classes de uso: mata nativa, campo, área agrícola, área urbana, pastagem, água e solo exposto.

Após a análise dos resultados, conclui-se que a classificação MAXVER detectou melhor as áreas de matas nativas e as áreas com solo exposto, entretanto, confundiu bastante dois pares de classes que apresentam comportamento espectral semelhante: área agrícola X mata nativa e área urbana X solo exposto. Na classificação baseada em objetos, esta confusão ocorreu entre mata nativa X área agrícola e solo exposto X pastagem. A OBIA também demonstrou uma melhor identificação das classes campo, água, área agrícola, pastagem e área urbana. Desse modo, a abordagem baseada em objetos apresentou melhor resultado que a abordagem “pixel a pixel”.

Pinho, Kux e Almeida (2005) analisaram a influência do tipo de padrão de ocupação urbana e, consequentemente, o grau de homogeneidade do tamanho, forma, tipos de cobertura e arranjo dos objetos, no resultado da OBIA em áreas intra-urbanas. Como experimento, foram escolhidos 5 bairros do município de São José dos Campos – São Paulo para mapear as classes: vegetação arbórea, vegetação rasteira, objetos de alto brilho, cobertura metálica, concreto/amianto escuro, concreto/amianto médio, asfalto, cerâmica clara, cerâmica escura, solo claro, solo escuro, piscina e sombra.

A imagem QuickBird (fusionada) foi segmentada no programa eCognition em 3 diferentes níveis. A avaliação dos resultados comprovou que diferentes padrões residenciais influenciam no resultado da classificação proposta. Quanto mais complexo o padrão de ocupação do solo urbano, pior foi o resultado de exatidão temática das classificações.

Antunes e Cortese (2007) utilizaram imagens do satélite QuickBird para definir áreas de ocupação irregular no mangue do município de Paranaguá – Paraná, a partir da técnica de segmentação multiresolução *fractal net evolution approach* (FNEA), proposta no programa eCognition.

A classificação da imagem detectou as áreas de ocupação irregular ou informal sobre o manguezal, identificando que 95% das ocupações estavam irregulares. A metodologia proposta tornou-se uma aliada ao planejamento ambiental para a identificação de áreas impróprias e/ou irregulares de apropriação do espaço.

Rossini-Penteado et al. (2007) aplicaram no município de Ubatuba – São Paulo, uma metodologia de classificação da cobertura da terra e estimativa de áreas impermeáveis utilizando imagens de alta resolução. Na imagem IKONOS foi aplicada a técnica de realce por decorrelação e utilizado o algoritmo *Bhattacharya* (crescimento por regiões) do programa Spring. Ao final foi gerada uma matriz de confusão e calculado o índice Kappa, que confirmou o potencial da aplicação desse método para extração de elementos urbanos de imagens de alta resolução espacial.

Em sua dissertação, Nobrega (2007) utilizou a classificação baseada em objetos no programa eCognition para detectar a malha viária em imagens IKONOS, na periferia urbana do Município de São Paulo. O resultado do estudo não foi a produção de um mapa viário mas, considerando o alto grau de heterogeneidade das feições da área de estudo, a acurácia geral pode ser considerada como boa.

Pinho et al. (2009) definiram metodologia para caracterizar bairros urbanos em imagens de alta resolução utilizando a estratégia de classificação baseada em conhecimento do programa InterIMAGE. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite QuickBird (fusionadas) de São José dos Campos – São Paulo, e definidas duas classes de bairro: a primeira com alto grau de verticalização (construção de edifícios) e a segunda de bairros residenciais de alta renda.

Após a definição das regras de decisão para cada classe e a confecção da rede semântica, foi realizada a classificação, cujos resultados foram analisados visualmente, concluindo que essa estratégia aplicada em pequenas áreas urbanas é eficiente.

Kux, Novack e Fonseca (2009) definiram metodologia para detectar quadras com assentamentos informais (favelas), na região de Paraisópolis – São Paulo utilizando

imagens de alta resolução. A segmentação da imagem QuickBird (no programa eCognition) foi realizada em dois níveis: das quadras e da cobertura.

Após a classificação da cobertura por meio de técnicas de OBIA, foram definidos os limiares dos atributos utilizados para a descrição de quadras com ocupação informal, sendo que a característica mais marcante das ocupações informais na área de estudo é a abundância de telhados brilhantes e telhados escuros de tamanho pequeno. Este trabalho mostrou a aplicabilidade da abordagem baseada em objetos para a detecção de quadras urbanas com ocupação informal.

Souza et al. (2009) desenvolveram um estudo para avaliar a eficiência do uso de imagens de alta resolução espacial e OBIA para a caracterização socioeconômica do espaço residencial construído. Foi realizado um experimento no município de São José dos Campos – São Paulo utilizando imagens fusionadas do satélite QuickBird para extrair as classes: vegetação, tipos de telhados (metálico, concreto amianto, telha cerâmica, etc.), piscina, sombra, asfalto e solo.

Na definição de quadras de residências das classes de renda alta, média, baixa e favela foram utilizados limiares com a porcentagem de área na quadra com determinada cobertura, como por exemplo, quadras de classe de alta renda teriam maior presença de piscinas, vegetação arbórea e rasteira e telhado de cerâmica escura do que as quadras das classes de renda média e baixa. Após a avaliação dos resultados, a metodologia proposta foi considerada eficiente para a área testada, sendo necessário testar sua aplicação para áreas maiores. Foi ressaltada a importância da continuidade nesse tipo de estudo, cujo pressuposto teórico é que há uma estreita relação entre o espaço residencial construído e as características socioeconômicas da população.

Ribeiro (2009) realizou um estudo para extrair superfícies impermeáveis de imagens fusionadas do satélite QuickBird. Ainda, avaliou o desempenho do programa InterIMAGE, sistema baseado em conhecimento, para classificar cobertura da terra em ambientes intra-urbanos. O experimento foi realizado em duas áreas do município de São José dos Campos – São Paulo, com diferentes padrões de uso e ocupação do solo.

No programa InterIMAGE foi construída uma rede semântica com regras de decisão e posteriormente realizada a classificação das classes: construída, vegetação, solo

exposto e sombra. O resultado foi analisado visualmente e considerando satisfatório, bem como a utilização da estratégia do programa InterIMAGE para classificar a cobertura do solo em áreas urbanas.

Novack (2009) criou em sua dissertação um modelo de classificação da cobertura da terra e outro para a classificação do uso do solo urbano, utilizando programa InterIMAGE, operadores de processamento de imagens TerraAIDA e imagens fusionadas do satélite QuickBird da região de Paraisópolis no Município de São Paulo.

A classificação da cobertura da terra foi realizada utilizando um algoritmo genético para a calibração de parâmetros de segmentação, algoritmos de seleção de atributos e árvore de decisão para a descrição das classes. No geral, todas as classificações geradas de cobertura da terra podem ser consideradas de acurácia boa à muito boa e quanto ao uso do solo, as classificações geradas têm acurácia de boa à excelente em todas as áreas-teste. A diversidade de tipos de uso do solo, o tamanho variado das quadras e a dificuldade de se classificar o uso do solo de forma completamente automática, utilizando apenas dados de sensoriamento remoto, limitaram a acurácia das classificações.

Ribeiro (2010) em sua dissertação avaliou a melhoria na classificação da cobertura do solo urbano utilizando imagens do WorldView-II (8 bandas) e a estratégia de análise de imagens do programa InterIMAGE. Para poder comparar imagens de resolução espacial e espectral diferentes, as bandas espectrais de imagem QuickBird foram simuladas a partir da imagem multiespectral do WorldView-II.

Para a área de estudo, localizada na região do Rodoanel Mário Covas em São Paulo, foram definidas 15 classes. Os resultados da classificação demonstraram a aplicabilidade do InterIMAGE na extração de informações sobre o ambiente urbano. Na avaliação do mapeamento da cobertura do solo a partir de imagens WorldView-II, com exceção da classe córrego, a classificação foi melhor que a da imagem QuickBird. Observou-se também melhoria na separação das classes solo exposto e telhado de cerâmica com a utilização das bandas *Yellow* e *Red-edge* do WorldView-II.

Souza (2010) definiu em sua tese uma metodologia de análise urbana, utilizando imagens fusionadas do satélite QuickBird para apreensão da desigualdade

socioespacial no espaço residencial de São José dos Campos – São Paulo. A imagem foi classificada no programa eCognition com o método de análise baseado em objetos extraindo as classes: tipos de telhados (cerâmica, amianto, concreto, outros), piscinas, vegetação (arbórea e rasteira) e sombra.

Essa classificação apresentou confusões entre as classes que foram solucionadas parcialmente pela classificação híbrida (inserção de interpretação visual). No segundo momento, foram extraídas da imagem as informações de tamanho médio dos terrenos, densidade de ocupação e organização das quadras. As informações geradas foram analisadas com as informações dos setores socioeconômicos do município para verificar sua potencialidade como indicador de diferenciação socioespacial.

Ao final, a conclusão foi que alguns elementos, como a densidade de ocupação, vegetação arbórea e sombra, não traduzem a diferenciação como desigualdade socioespacial para além dos extremos (classes de alta e baixa renda). Outros elementos permitem tal comparação, como é o caso das piscinas, vegetação rasteira e o tamanho dos terrenos. A aplicação desta proposta no espaço residencial da cidade mostrou que a metodologia utilizada traz novos elementos para a análise de uma das dimensões da desigualdade: a diferenciação socioespacial.

Kux et al. (2011) em São Paulo, utilizando imagens do satélite QuickBird e o programa InterIMAGE, identificaram a área urbana em dois tipos de bairro, um de alto padrão residencial e horizontal/vertical e outro residencial e industrial. A classificação de cobertura do solo em ambas às áreas-teste foi efetuada, combinando-se redes semânticas para a representação do conhecimento humano e algoritmos para aprendizado da máquina, para a pesquisa de parâmetros de segmentação e definição de regras de classificação.

A classificação obteve bons índices de precisão e foi qualitativamente avaliada como muito boa. Houve confusão na classificação entre os diferentes tipos de telhado e asfalto, especialmente devido a diferentes condições de preservação e de ângulos de inclinação de áreas pavimentadas e telhados.

Novack, Ribeiro e Kux (2011) realizaram dois experimentos, o primeiro foi a análise dos algoritmos para seleção automática de atributos e o segundo foi a verificação da

potencialidade da utilização da imagem do satélite WorldView-II (com 8 bandas) na obtenção de melhores resultados na classificação de alvos semelhantes.

No primeiro teste de seleção automática de atributos, os algoritmos utilizados na análise foram: Infogain, Relief-F, *Fast Correlation-Based Filter* (FCBF) e o algoritmo de Floresta Randômica (Random Forest), onde no resultado, em todos os algoritmos, os atributos selecionados são simples operações matemáticas de bandas (ao todo, 68) ao invés de feições de textura (somente 12).

Para o segundo teste, os resultados mostram que, na maioria dos casos, as bandas disponíveis nos sensores QuickBird-II e IKONOS, são as mais relevantes para a distinção de classes em cada grupo. Por outro lado, atributos de bandas presentes no WorldView-II também foram selecionados na maioria das vezes, significando que eles podem ser usados em regras de classificação, na tentativa de fornecer melhores resultados.

Souza e Rodrigues (2011) desenvolveram metodologia para mapear a desigualdade socioespacial em São José dos Campos – São Paulo, utilizando OBIA (programa eCognition) e interpretação visual de imagens QuickBird (fusionadas e ortorretificadas). Com esse objetivo, o estudo foi dividido em dois procedimentos para extração de informações, o primeiro foi a classificação automática das classes de cobertura do solo: tipos de telhados (cerâmica, amianto, concreto, outros), piscina, vegetação (arbórea e rasteira), sombra e solo. O segundo foi interpretação visual e cálculo das informações: tamanho médio dos terrenos e densidade de ocupação.

Optou-se pela classificação híbrida (automática e interpretação visual) devido aos erros e confusões encontradas na classificação automática. O mapeamento dos elementos da cobertura do solo permitiu determinar a porcentagem de ocorrência de cada elemento (vegetação, sombra, tipos de telhados, piscina) dentro das quadras amostrais que, juntamente com os demais elementos da diferenciação (tamanho médio dos terrenos e densidade de ocupação) possibilitaram mostrar graficamente os padrões de suas distribuições no espaço residencial da cidade.

O resultado da classificação foi considerado satisfatório, mas a análise da distribuição de cada elemento da diferenciação, quando agregados aos conteúdos sociais dos setores socioeconômicos demonstraram que alguns elementos são

insuficientes para a análise da variabilidade da desigualdade social na cidade, sugerindo dessa forma novos estudos nesta linha de pesquisa.

Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) compararam em uma área próxima ao Rodoanel Mário Covas em São Paulo os resultados da classificação baseada em objetos de imagens dos satélites WorldView-II e QuickBird (simulada), utilizando o programa InterIMAGE. As classes de cobertura do solo definidas foram: vegetação rasteira e arbórea, solo exposto, telha cerâmica, telha metálica, cobertura em cimento claro, médio e escuro, telha de cimento pigmentado, asfalto, piso em pedra natural, piscina, cobertura em PVC (*Polyvinyl Chloride* - cloreto de polivinila), córrego e sombra.

De um modo geral, a análise da separabilidade das classes de cobertura do solo mostrou que as classes foram melhores discriminadas na classificação da imagem WorldView-II.

Carvalho (2011) em sua dissertação avaliou os melhores atributos e limiares da classificação de uma imagem WorldView-II para o mapeamento da cobertura e uso do solo. O estudo realizado na região oeste da RMSP utilizou técnicas de mineração de dados, com o programa WEKA, cuja árvore de decisão gerada foi replicada no programa eCognition, para a classificação da imagem, que apresentou resultados satisfatórios.

Antunes e Duarte (2012) realizaram uma pesquisa em Piraquara – Paraná para classificar o espaço territorial de um assentamento informal. Para tanto, foram utilizadas imagens do satélite QuickBird e *Normalized Diference Vegetation Index* (NDVI), e realizada uma classificação baseada em objetos no programa eCognition. A utilização de diferentes níveis de segmentação, funções de pertinência (fuzzy) e de atributos de contexto, textura e vizinhança melhoraram o desempenho da classificação da imagem.

Kanjir, Veljanovski, Kovačič (2012) com o objetivo de subsidiar políticas locais em Kibera, maior assentamento informal do Quênia, utilizaram o método de densidade por área para estimar a população e expansão urbana de 2006 a 2009. A área dos telhados foi obtida a partir da classificação baseada em objetos de imagens dos satélites Geoeye e QuickBird, no programa ENVI EX, que apresentou alta

complexidade para execução, devido a heterogeinedade de formas, materiais e sobreposição dos telhados.

Reveshty e Raber (2012) mapearam 10 classes do uso do solo urbano de uma área de Janjan – Irã, utilizando OBIA em imagens do satélite QuickBird no programa eCognition. No futuro os autores pretendem incorporar para análise da cobertura do solo, métricas espaciais que possam relacionar a estrutura da área construída com características socioeconômicas da população.

Nesse capítulo foram apresentados diversos estudos que utilizaram a metodologia de OBIA, em sua maioria para extrair informações do espaço urbano. No entanto, além do domínio da técnica, é importante conhecer o processo de produção do espaço urbano que é responsável pela (re) construção das formas e de suas funções.

O conhecimento da área da imagem onde serão aplicadas as técnicas de fotointerpretação ou classificação digital é de suma importância. Moreira (2005) ressalta que a experiência do fotointérprete deve estar relacionada a três parâmetros básicos: conhecimento do problema, conhecimento da técnica e conhecimento da região.

2.4 Urbanização da RMSP - da pequena à Grande São Paulo

Na discussão da estruturação do espaço urbano partiu-se de um contexto generalizado, discutindo as formas e modelos da estrutura urbana. Contudo, para essa pesquisa é necessário nos atermos ao processo de produção do espaço metropolitano da RMSP.

Devido a complexidade da RMSP e os desafios da análise de seu território, se faz necessária uma retrospectiva de sua história, buscando estabelecer a relação entre as dinâmicas sociais, econômicas e políticas com a produção desse espaço e as alterações na forma de ocupação desse território.

Considerada uma das maiores aglomerações urbanas do mundo, a RMSP[16] é composta por 39 municípios, em uma área de 7.947,28 km² (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004). Os dados do censo de 2010 demonstram que a RMSP possui 19,7 milhões de habitantes, ou seja, 1 a cada 10 brasileiros residem no território da RMSP, que conta com apenas aproximadamente 0,1 % da área nacional.

No século XVI, em 1554, ocorreu a fundação do núcleo São Paulo de Piratininga. De acordo com a EMPLASA (1982) a cidade teve um crescimento modesto desde sua fundação até 1872, passando de 100 para 31,4 mil habitantes.

Para Ab'Sáber (2004), nesses três séculos e meio o sítio urbano se concentrou no espaço da colina central, fugindo da planície de inundação do Tamanduateí e do fundão do Vale do Anhangabaú.

Neste sentido, cabe ressaltar que, até 1628, São Paulo passou por uma fase religiosa como assentamento jesuíta. Após a expulsão dos jesuítas, viveu uma nova fase caracterizada pela formação de expedições ao sertão, conhecido como movimento das Bandeiras. Durante o ciclo do ouro, no início do século XVIII, boa parte da população de São Paulo de Piratininga deslocou-se para as jazidas de ouro em Minas Gerais (EMPLASA, 1982).

O povoado de Piratininga só não foi extinto devido ao constante comércio praticado pelos tropeiros, mantendo uma atividade comercial no local durante o final do século XVIII e início do século XIX (EMPLASA, 1982). Na face leste da colina central ocorria uma parada histórica de tropeiros, cavaleiros, transportadores de alimentos de Santo André da Borda do Campo e Paranapiacaba, além de feirantes vindos do Leste (AB'SÁBER, 2004).

Essa dinâmica permaneceu até a chegada da economia cafeeira às terras paulistas. O café, que já havia sido introduzido no país em princípios do século XVIII, só começou a ter valor comercial no fim do século XVIII, modificando o perfil distributivo de renda (EMPLASA, 1982).

[16] A metrópole foi institucionalizada em 1967 pelo decreto estadual nº 47.863/1967, inicialmente pelo governo do Estado de São Paulo e seguido pelo governo federal, que criou, pela lei complementar federal nº 14/1973, as Regiões Metropolitanas Nacionais, entre elas a de São Paulo (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004). A lei complementar estadual nº 1.139/2011 recentemente reorganizou a RMSP.

O café não somente permitiu a conquista de muitas regiões interioranas do país, como também fortaleceu as bases das novas relações sociais do trabalho livre, sendo um dos grandes responsáveis pelo crescimento das cidades. A circulação do dinheiro dos salários criou condições para o desenvolvimento dos mercados urbanos (SCARLATO, 2009).

Com o surgimento da ferrovia e as dificuldades da ligação do interior do estado com o porto de Santos, devido à escarpa do planalto, São Paulo centralizou todos os eixos ferroviários provenientes do oeste e do norte do Estado. Assim, para exportar o café todos passavam por São Paulo, que acabou concentrando as atividades econômicas resultantes do café (SCARLATO, 2009).

No compartimento do Planalto Atlântico, bacia sedimentar flúvio-lacustre desfeita em um sistema de colinas, se insere a região de São Paulo que constituiu:

> […] o mais importante entroncamento de vias de passagem naturais do Estado de São Paulo, possibilitando acesso fácil tanto para o Vale do Paraíba, quanto para o oeste e noroeste, na direção do Baixo e Médio Tietê e dos vales tributários do Rio Paraná (AB'SÁBER, 2004, p. 37).

Nesta época São Paulo já era sede da administração estadual e as ferrovias passavam a vincular a Capital e as regiões produtoras ao Porto de Santos, para escoamento da produção cafeeira (EMPLASA, 1982).

A instalação do sistema ferroviário montado em poucas décadas a partir de 1867, favoreceu a urbanização dos bairros centrais da capital, enquanto expandia o território metropolitano. Era composto "[…] por cinco principais ferrovias: a São Paulo Railway, a Companhia Paulista, a Estrada de Ferro Sorocabana, a Companhia Mogiana e a Estrada de Ferro Central do Brasil" (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004, p. 35).

Em 1897 a ferrovia São Paulo Railway se instalou no Município de São Paulo no Vale do Tamanduateí, local onde havia o rio e sua ampla várzea inundável. A ferrovia seguiu em grande parte o eixo sudeste-noroeste do Vale do Tamanduateí, localizando-se nos terraços fluviais baixos (AB'SÁBER, 2004). A oeste da instalação da ferrovia existia o Vale do Anhangabaú, um vale menor do que o do rio Tamanduateí e uma pequena várzea alagável.

Dessa forma, o sítio urbano original de São Paulo no início de sua expansão é "uma colina de vertentes escarpadas e topo relativamente plano (745-750m), situada no

ângulo interno da confluência entre o Tamanduateí e Anhangabaú e vinculada a um esporão secundário do Espigão Central[17]" (AB'SÁBER, 2004, p. 97).

Assim, no século XIX existia em São Paulo três áreas para expansão: a zona Leste, plana, cuja ocupação exigia a transposição do obstáculo representado pela barreira Tamanduateí-ferrovia-várzea inundável; a zona Oeste, que exigia a transposição do vale do Anhangabaú e a cumeeira divisora de águas entre os dois rios, um sítio estreito, vincado nos vales (VILLAÇA, 1998).

Nesta mesma época, São Paulo era a catalizadora e distribuidora dos imigrantes europeus, que aumentaram consideravelmente sua vinda ao Brasil após o fim da escravidão em 1888 (EMPLASA, 1982).

Esses imigrantes passaram a constituir o mercado interno, estimulando a produção. Muitas vezes, os imigrantes, cansados das más condições e da falta de perspectivas no campo, deixavam as fazendas e dirigiam-se para as cidades para trabalhar como artesãos ou pequenos comerciantes, e futuramente operários (VILLAÇA, 1998).

A queda do valor do café devido à sua superprodução ocasionou a crise do café no final do século XIX. Os investimentos advindos e/ou direcionados para a produção cafeeira começaram a ser investidos em outras atividades econômicas.

Entre 1880 e 1890 iniciou-se a primeira etapa do processo brasileiro de industrialização, abrangendo prioritariamente o setor têxtil e também os setores alimentício e químico. Em São Paulo, esse processo ocorreu nos últimos 10 anos do século XIX (EMPLASA, 1982).

Esse processo de industrialização foi acompanhado por uma crescente urbanização, diminuindo a distância entre as manchas de áreas construídas da capital com a divisa de seus municípios vizinhos, por meio de uma contínua faixa de habitações e indústrias que extravasavam o limite administrativo do Município de São Paulo. A pequena São Paulo deixava definitivamente de existir.

> Todo esse processo de urbanização que caracterizou o crescimento da metrópole de São Paulo e sua região metropolitana não pode ser dissociado, [...] de que essa região representa a maior concentração financeira e industrial do país e de que toda a sua expansão espacial

[17] "[…] alongado divisor de águas entre os vales do Tietê e do Pinheiros, o qual nada mais é do que uma plataforma interfluvial, disposta em forma de uma irregular abóbada ravinada, cujos flancos descem para nordeste e sudeste, em patamares escalonados, até atingir as vastas calhas aluviais, de fundo achatado, por onde correm as águas do Tietê e Pinheiros. A Avenida Paulista superpôs-se exatamente ao eixo principal desse espigão […]" (AB'SÁBER, 2004, p. 94).

> foi comandada por essa concentração, gerando a especulação imobiliária e a polarização das desigualdades no processo de apropriação do solo urbano (SCARLATO, 2009, p. 460).

Desde o início do século XX a cidade concentrou a estrutura de atividades de ordem comercial no atual centro histórico e as atividades industriais ao longo das ferrovias. Já a localização das áreas residenciais variava de acordo com a classe social. A classe de alta renda localizava-se nas colinas além do vale do Anhangabaú e pelo espigão da Paulista, a classe de renda média ocupava o entorno do centro antigo e a classe operária localizava-se como as indústrias, ao longo das linhas férreas (EMPLASA, 1982).

Portanto, no começo do século XX, os trabalhadores das indústrias vivenciaram formas específicas de segregação espacial, habitando cortiços, vilas operárias e áreas próximas as várzeas dos rios (BERTOLOTTI, 2010).

Para Caldeira (2000) o padrão de urbanização que dominou São Paulo desde 1940 é chamado de centro-periferia e possui quatro características principais:

> 1) é disperso em vez de concentrado,[...] 2) as classes sociais vivem longe uma das outras no espaço da cidade: as classes médias e altas nos bairros centrais, legalizados e bem equipados; os pobres na periferia, precária e quase sempre ilegal; 3) a aquisição da casa própria torna-se a regra para a maioria dos moradores da cidade, ricos e pobres; 4) o sistema de transporte baseia-se no uso de ônibus para as classes trabalhadoras e automóveis para as classes média e alta (CALDEIRA, 2000, p. 218).

Com o desenvolvimento da indústria automobilística, a partir de 1950, a ocupação urbana passou a ocorrer ao longo das rodovias, em particular a Rodovia Presidente Dutra, que induziu a ocupação do vetor Nordeste, e a Via Anchieta, que adensou o assentamento na direção sudeste, onde foi implantado um parque industrial mais moderno (OHATA, 2004).

> […] a consolidação do parque industrial paulista na década de 1950, atrelado ao projeto nacional estabelecido no PLANO DE METAS do governo Juscelino Kubitschek, concentrou investimentos significativos no espaço físico do que viria a constituir a Grande São Paulo. A dinâmica territorial da metrópole altera-se significativamente pela conjugação da instalação de indústrias relacionadas como setor automobilístico na região do ABC paulista – Santo André, São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo –. Com a mudança na escala das demandas habitacionais para o assentamento de expressivos contingentes de trabalhadores atraídos pela oferta de empregos na metrópole (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004, p. 36-37).

A RMSP nas décadas de 1960 e 1970 recebeu aproximadamente 2 milhões de pessoas, migrantes atraídos pelo mercado de trabalho, propiciando empregos tanto no setor industrial quanto no de serviços (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004).

Durante esse período, a expansão urbana e a dinâmica industrial ultrapassaram os limites do Município de São Paulo, provocando rápidas transformações nos municípios circundantes, oficialmente integrantes da RMSP (CALDEIRA, 2000).

O crescimento populacional se acelerou de tal maneira que, segundo Langenbuch (1971), de 1940 a 1966 somente o Município de São Paulo passou a contar com 3.543.400 novos moradores, um aumento de praticamente um triplo de sua população, em um período de 26 anos.

Esse processo de concentração urbana resulta no processo de metropolização, que se inicia numa cidade central, alcançando depois núcleos urbanos vizinhos que passam a funcionar como extensão urbana da cidade central, no caso, de São Paulo.

Para Meyer, Grostein e Biderman (2004, p. 19), a definição de metrópole, “do ponto de vista estritamente funcional, [...] é uma congregação de unidades administrativas autônomas que apresentam problemas urbanos comuns”.

No final da década de 1960, inicia-se a difusão da “decadência” do centro, com o abandono do centro urbano pelas classes mais favorecidas, que com a nova mobilidade proporcionada pelo automóvel afastam suas residências do centro (VILLAÇA, 1998).

Paralelo à saída da classe de alta renda do centro, verifica-se sua ocupação por pessoas da classe de baixa renda, gerando um intenso processo de encortiçamento das antigas habitações (SCARLATO, 2009).

Ao mesmo tempo, a busca por terrenos mais acessíveis pela população de baixa renda, contrapondo a valorização de áreas centrais, acabou orientando o crescimento horizontal periférico (SANTORO; FERRARA; WHATELY, 2009).

O aumento na quantidade de pessoas pertencentes a classe de baixa renda na zona Sul de São Paulo ocorre a partir da década de 1970 e, paralelamente, acentuaram-se as desigualdades na ocupação do solo em São Paulo e iniciou-se o processo de periferização e o surgimento das favelas. Dos anos 1940 aos 1980 os investimentos

públicos em infraestrutura privilegiaram o centro e seu entorno (centro expandido) (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004).

Os investimentos em infraestrutura apenas nas áreas mais centrais, juntamente com a especulação imobiliária[18], fizeram com que muitas pessoas tivessem como opção "[...] se aglomerar nas enormes periferias desprovidas de serviços e onde o custo de vida, exceto o da habitação assim conquistada, é mais caro que nas áreas mais centrais" (SANTOS, 2009, p. 53-54).

Portanto, a metrópole além de espaço de concentração populacional, de indústrias e de serviços, também é marcada pela pobreza, problemas de habitação e de serviços básicos.

O ritmo de crescimento populacional e expansão urbana na periferia foram mais rápidos que a construção da infraestrutura necessária para instalação dos novos moradores.

O resultado de todos esses processos é a realidade encontrada atualmente na RMSP, onde para Meyer, Grostein e Biderman (2004, p. 50), as periferias se tornaram "o lugar dos pobres no Brasil contemporâneo". Em São Paulo, observam-se os impactos negativos da ocupação de áreas impróprias no entorno de mananciais utilizados para abastecimento público, ocupadas por uma população que encontrou nas periferias do Município a única alternativa para moradia.

A ocupação das periferias na RMSP foi realizada principalmente por ocupações ilegais, na forma de loteamentos clandestinos e favelas, em áreas sem interesse para a especulação imobiliária, devido aos riscos de enchentes, desmoronamentos ou por estarem protegidas por legislação de proteção aos mananciais.

A busca por melhor qualidade de vida, segurança e a generalização do uso do automóvel, fez com que as pessoas de maior poder aquisitivo mudassem então para condomínios fechados localizados nas periferias, ampliando a tendência a uma cidade dispersa (SPOSITO, 2009).

---

[18] "A falta de lotes disponíveis, desviados que são para a especulação, e o seu alto custo obrigam grande parte dos novos moradores a se estabelecerem em áreas mais afastadas. Desta forma, a especulação imobiliária desenfreada é um dos principais fatores a provocar o desenvolvimento da expansão suburbana de natureza residencial que na fase anterior se esboçara" (LANGENBUCH, 1971, p. 134-135).

Por isso, a caracterização da ocupação urbana é necessária para a análise do território, que possui uma nova configuração com o surgimento de outras formas de habitação nas periferias das cidades, os condomínios fechados, tornando mais complexa a dicotomia centro-periferia.

Bertolotti (2010) afirma que a periferia urbana não deixa de existir quando o espaço que antigamente era ocupado pela população de baixa renda passa a ser valorizado para a ocupação de condomínios fechados. A periferia apenas adquire mobilidade avançando em direção aos extremos da mancha urbana metropolitana, que ao norte e ao sul encontra as áreas de mananciais protegidas por lei, como a bacia hidrográfica do reservatório Guarapiranga.

2.5 Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga

O reservatório Guarapiranga está inserido na sub-bacia do Cotia-Guarapiranga, uma das 5 sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê que recebe a denominação de Unidade Hidrográfica de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI - 6).

A bacia do reservatório corresponde à área de drenagem de 638 km² e está localizada a sudoeste da RMSP. A área da bacia, conforme Figura 10, compreende pequenas porções dos territórios de Cotia e Juquitiba, parte dos territórios de Embu, São Lourenço da Serra e São Paulo, quase a totalidade de Itapecerica da Serra e integralmente o município de Embu-Guaçu.

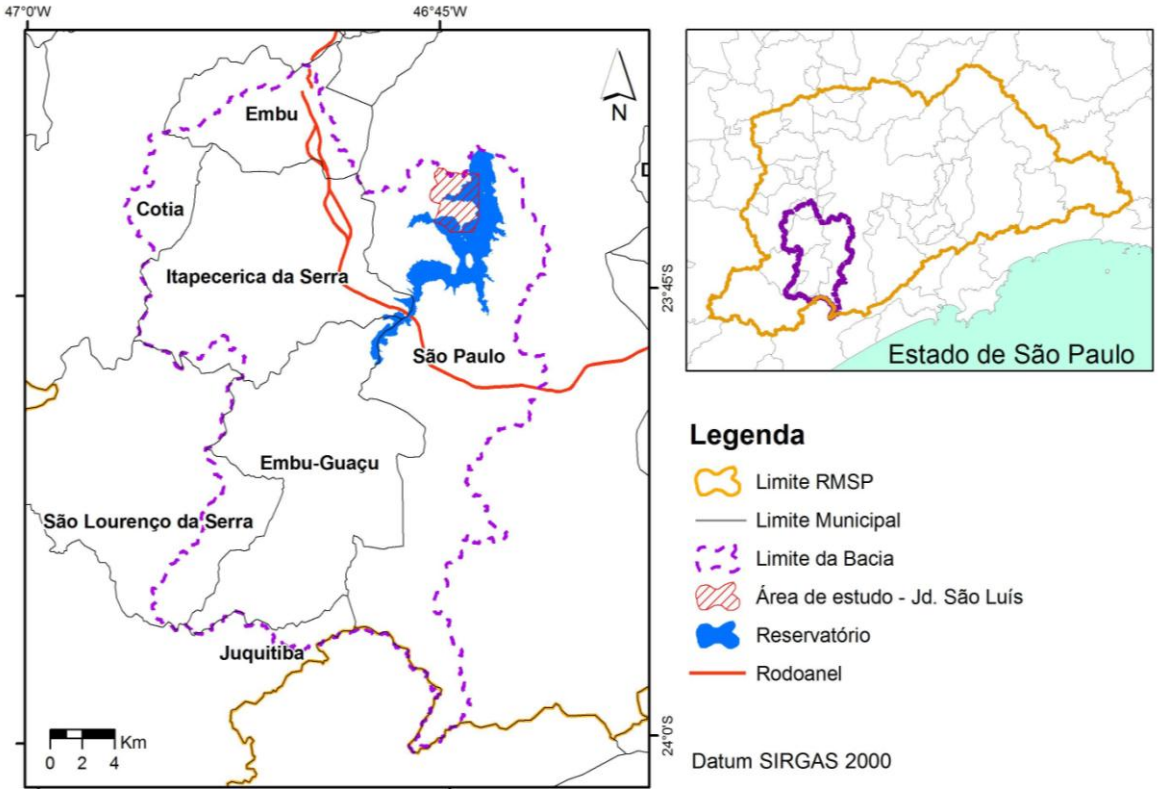


Figura 10 - Localização da Bacia do Guarapiranga.

A Tabela 1 demonstra a porcentagem e área de cada município dentro da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga:

Tabela 1 - Área dos municípios na Bacia do Guarapiranga

Município	Área total do município (km²)	% da área do município na bacia em relação à área total do município	Área na Bacia (km²)	% da área do município na bacia, em relação à área total da bacia
São Paulo	1.522,99	15,3	233,02	36,5
São Lourenço da Serra	186,71	17,7	33,07	5,2
Juquitiba	521,6	1,5	7,81	1,2
Itapecerica da Serra	151,8	96,1	145,88	22,9
Embu-Guaçu	155,04	100	155,04	24,3
Embu	70,8	58,1	40,71	6,4
Cotia	325,9	6,8	22,28	3,5

Fonte: Adaptado de COBRAPE (2011).

Ao norte a bacia delimita-se com as bacias dos rios Pinheiros e Tietê, ao sul com a Serra do Mar, a leste confronta-se com a bacia do Reservatório Billings e a oeste confronta-se com a bacia do rio Cotia (COBRAPE, 2011).

2.5.1 Histórico

Os aglomerados de Itapecerica “M´Boy”, Pinheiros e São Miguel haviam sido aldeamentos de índios guaianases até 1803 (LANGENBUCH, 1971). Em 1832, Santo Amaro, cujo território não pertencia a São Paulo, foi elevado à categoria de Vila, enquanto em São Paulo, o mercado consumidor sofria acelerado processo de modernização e crescimento urbano.

Como discutido, o processo de urbanização da RMSP apresentou uma intensa urbanização e industrialização, que demandou o aumento de infraestrutura urbana e de geração de energia. A Companhia de Energia Elétrica Light and Power (*Trainway Light and Power Company Limited*) para atender essa crescente demanda por energia elétrica precisava aumentar a capacidade de geração de energia e, na Usina de Parnaíba, foram instaladas novas turbinas, trazendo a necessidade de regularizar a vazão do Rio Tietê. Dessa forma, em 1906 é iniciada a construção da barragem para formação do reservatório Guarapiranga.

De acordo com a lei n° 1.061-B/1906, revogada pela lei n° 12.243/2006, foi concedida a Light, os favores da lei nº 677/1899, para as obras de represamento das águas do rio M'Boy-Guassu ou Guarapiranga.

Com a construção, o reservatório Guarapiranga oferecia ao paulistano um elemento que este desconhecia nos arredores imediatos da cidade, uma grande superfície líquida em área de fácil acesso. O reservatório e o bonde da “Tranway” consolidariam a posição de Santo Amaro como subúrbio recreativo de São Paulo (LANGENBUCH, 1971).

Em 1928, o reservatório Guarapiranga torna-se a principal fonte de água para o abastecimento público, fornecendo um valor equivalente de 1m³/s (86,4 milhões de litros de água por dia) para a Estação de Tratamento de Água de Teodoro Ramos. Esse valor aumentou, em 1958, para 9,5m³/s e, atualmente, é de 14m³/s por dia (SÃO PAULO, 2008).

O reservatório Guarapiranga é responsável pelo abastecimento de aproximadamente 20% da RMSP, ou seja, 3,7 milhões de pessoas residentes nos bairros do Butantã, Campo Limpo, Morumbi, Santo Amaro na capital e no município de Taboão da Serra. Fornece 14 m^3/s para o Sistema Produtor Guarapiranga, sendo constituído pela estação de tratamento de água Alto da Boa Vista, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) (COBRAPE, 2011).

2.5.2 Principais Características

A bacia do Guarapiranga localiza-se entre 23,62º a 24,00º latitude sul e entre 46,68º a 46,94º de longitude oeste. O reservatório possui perímetro de 85 km, área de espelho d’água de 26,6 km^2, volume de 180 hm^3, profundidades média e máxima de 5,7m e 13m, respectivamente (COBRAPE, 2011), e está localizado predominantemente no Município de São Paulo.

Algumas características do meio físico da bacia foram descritas em linhas gerais, resultado da pequena escala dos dados e mapas disponíveis para a bacia.

Hidrografia

Os principais tributários em termos de volume d'água são os rios na margem esquerda: Embu-Mirim e Embu-Guaçu, e o rio Parelheiros, na margem direita. Alguns ribeirões e córregos que convergem para o reservatório também se destacam como, por exemplo, rio Bonito, rio das Pedras, córregos São José e Tanquinho, na margem direita, e rios Guavirutuba, Itupú e córrego Mombaça, na margem esquerda (MATEUS, 2006).

O reservatório conta com duas transposições de água de outras bacias hidrográficas: a reversão do rio Capivari para o rio Embu-Guaçu e a reversão das águas do braço Taquacetuba, da Represa Billings, para o rio Parelheiros (SÃO PAULO, 2008).

Aproximadamente entre 1 e 1,5 m^3/s das águas do rio Capivari, pertencente à bacia hidrográfica da Baixada Santista, são revertidos para o rio Embu Guaçu e, desde 2000, o rio Parelheiros recebe entre 2 e 4 m^3/s das águas do Braço Taquacetuba do Reservatório Billings (WHATELY; CUNHA, 2006).

Geomorfologia

A Bacia do reservatório Guarapiranga está localizada sobre o Planalto Atlântico (MONBEIG, 1949; ALMEIDA, 1964) que é uma unidade morfoestrutural caracterizada por uma região de terras altas, onde predominam rochas cristalinas pré-cambrianas e, de forma restrita, coberturas sedimentares cenozóicas.

O Planalto Atlântico é uma das grandes unidades do relevo paulista que se apresenta maturamente dissecado, como resultado da epirogênese ascencional pós-cretácea (ALMEIDA, 1964).

O Planalto Paulistano é uma zona que se individualiza no Planalto Atlântico, onde está assentada a Bacia do Guarapiranga e caracteriza-se por um relevo suavizado, formado por morros e espigões divisores de alturas modestas, cujas altitudes se encontram preferencialmente entre 715 e 900 metros (PONÇANO et al., 1981).

A Bacia do Guarapiranga encontra-se a noroeste do Planalto Paulistano, onde este faz limite com o Planalto de Ibiúna, que é outra unidade morfoestrutural situada uma centena de metros mais alta separada por degrau erosivo (PONÇANO et al., 1981).

O Planalto Paulistano na Bacia do Guarapiranga é representado por uma subzona denominada de Morraria do Embu onde predominam relevos de morrotes e morros (ALMEIDA, 1964).

O mapa hipsométrico e o perfil topográfico da Bacia do Guarapiranga apresentado na Figura 11 permitem observar a diferenciação topográfica entre os diferentes domínios: dos morros e dos morrotes.

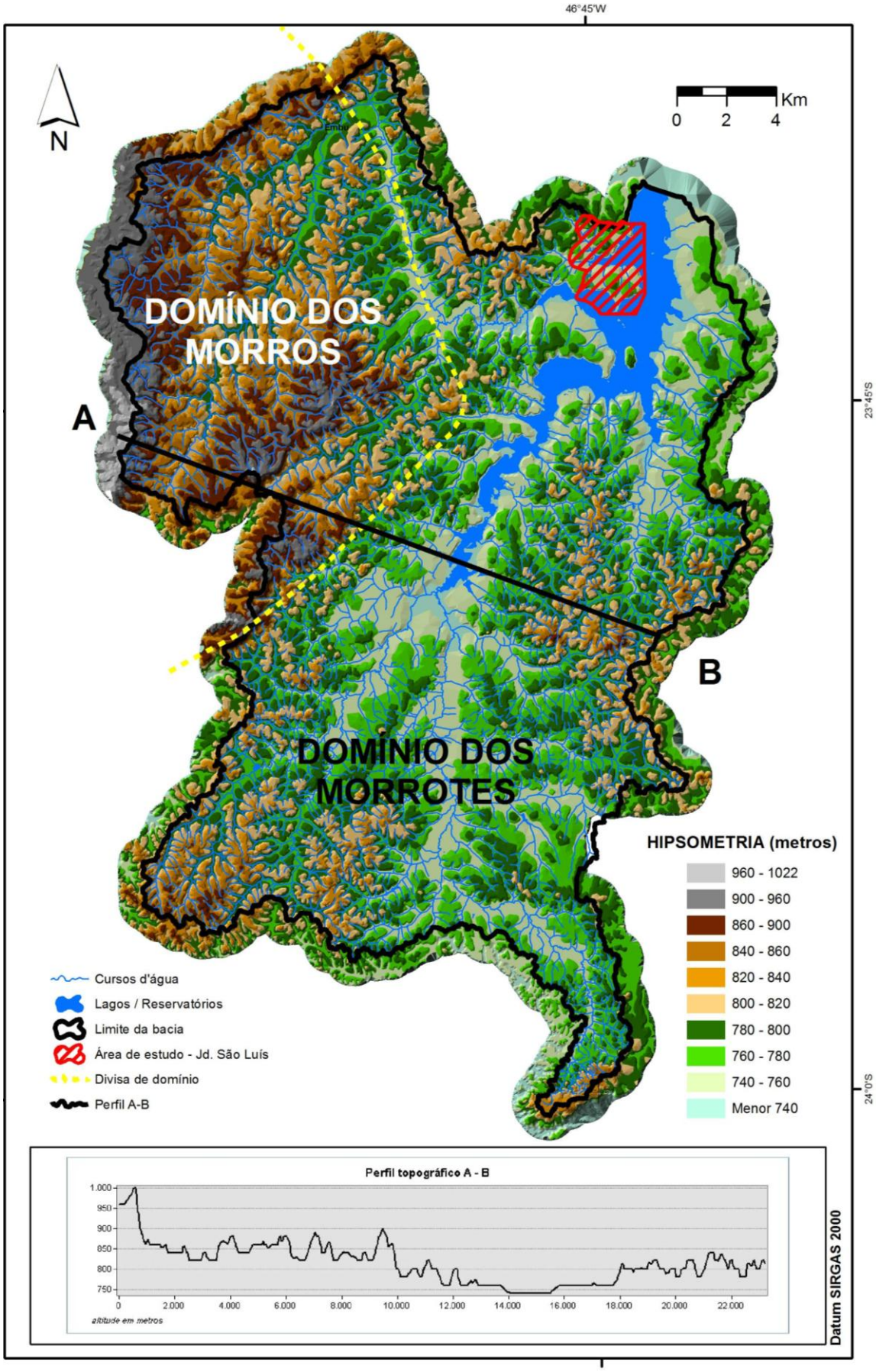


Figura 11 - Mapa hipsométrico da Bacia do Guarapiranga. Fonte: Elaborado a partir dos dados do Projeto Gisat (DAEE, 200-).

O relevo de morrotes tem como característica básica a presença de encostas com declividades predominantes superiores a 15% e amplitudes locais menores que 100 metros. O relevo de morros com declividades semelhantes possui amplitudes locais entre 100 e 300 metros (PONÇANO et al., 1981).

Em ambas as situações, os topos das elevações são arredondados, as encostas apresentam perfis retilíneos a convexos, drenagem de alta densidade com padrão em treliça, que pode variar para paralelo no domínio dos morrotes, ou para sub-dendrítico no domínio dos morros.

A observação geral da forma, relevo e hidrografia da Bacia, presentes na Figura 11, permitem constatar:

1 – formato quase retangular orientado no sentido Sul/Norte, e contorno diferenciando dois blocos semi-poliédricos principais;

2 – perfil assimétrico entre os terrenos localizados em ambas as margens, com terras mais elevadas a oeste e noroeste;

3 – divisor d'água mais elevado com altitudes próximas a 1.000 metros no extremo noroeste, em evidente degrau erosivo no contato com o Planalto de Ibiúna;

4 – divisor d'água mais suave com altitudes que não ultrapassam a 900 metros ao longo do limite leste da Bacia;

5 – alta densidade de drenagens com padrão predominantemente em treliça e forte condicionamento tectônico;

6 – vales mais abertos na região sul e leste, sendo fechados na região noroeste.

Geologia

A Bacia do Guarapiranga, de acordo com Hasui et al. (1975), está situada sobre rochas pré-cambrianas do Cinturão de Dobramentos Ribeira. Na bacia são encontrados diferentes domínios tectônicos justapostos por zonas de cisalhamento expressivas, predominantemente dextrais, que definem uma estruturação regional marcante de orientação NE-SW condicionando as formas alongadas das sequências metamórficas e a disposição concordante da maioria dos corpos graníticos (CPRM, 1999).

Também associada a esta estruturação, ocorrem Bacias Sedimentares Terciárias do tipo Rift, que formam coberturas sobre o embasamento cristalino (RICCOMINI, 1989).

A Bacia do Guarapiranga está assentada sobre o Complexo Embu (Domínio Embu) que é constituído predominantemente por rochas metamorfizadas predominantemente no grau médio a alto, sendo representado por filitos, sericita xistos, (sillimanita + granada + quartzo + muscovita) - biotita xistos e (granada + sillimanita) - biotita gnaisses, localmente migmatizados, feldspatizados e injetados por pegmatitos. Corpos granitóides indiferenciados correspondem a rochas intrusivas encaixadas no Complexo Embu, que em geral são alongados segundo o trend regional NE (CPRM, 1999).

As coberturas sedimentares cenozóicas ocorrem na Bacia do Guarapiranga relacionadas a depósitos da Bacia de São Paulo de idade terciária e depósitos recentes em aluviões quaternários.

A Formação São Paulo, unidade da Bacia de São Paulo, é constituída por camadas de argilitos siltosos com intercalações de bancos de arenitos argilosos e concreções limoníticas, característicos de sistema fluvial (MEZZALIRA, 1962).

Por fim, têm-se os aluviões recentes relacionados a meandros abandonados e planícies de inundação associados aos cursos d’água atuais, constituídos principalmente por areias inconsolidadas de granulação variada, argilas e cascalheiras que ocorrem generalizadamente em toda a Bacia.

A Figura 12 apresenta um mapa geológico simplificado da Bacia do Guarapiranga.

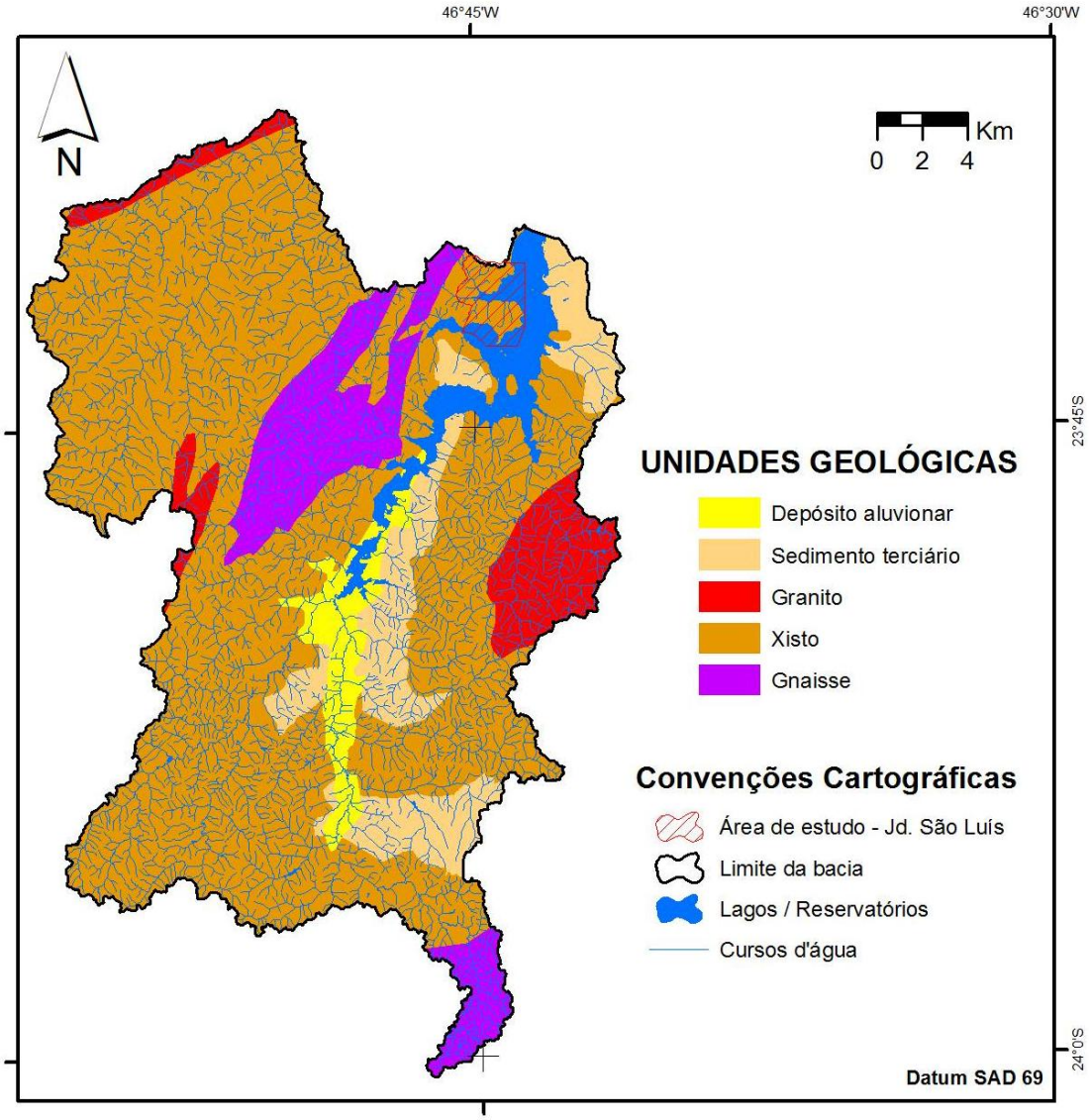


Figura 12 - Mapa geológico da Bacia do Guarapiranga. Fonte: Elaborado a partir dos dados de Perrotta et al. (2006).

Pedologia

Conforme Oliveira et al. (1999) os solos predominantes na Bacia são classificados como latossolos vermelho-amarelos e cambissolos háplicos, distróficos com textura argilosa.

A presença de planícies aluviais relacionadas aos principais cursos d' água da Bacia condicionaram também a presença de gleissolos associados as áreas de várzea, onde as condições de drenagem são deficitárias.

A distribuição dos solos na paisagem da Bacia Guarapiranga demonstra uma organização com relação as formas de relevo, havendo na região de morros uma

tendência de ocorrer mais cambissolos em associação aos latossolos, do que nos morrotes, enquanto nas planícies predominam os gleissolos.

A ocorrência comum de linhas de pedras na forma de um horizonte de seixos no limite entre o solo superficial e o regolito tem sido há tempos relacionada ao registro de uma fase inicial do período quaternário quando deveria predominar um clima seco e uma morfogênese diferenciada da atual condicionada por um processo de pedimentação das encostas (AB`SABER, 1962).

A observação geral da cobertura pedológica da Bacia permite constatar:

1 – os solos são maduros em termos mineralógicos, porém são rasos, com latossolos e cambissolos associados nas áreas de morros e morrotes;

2 – os gleissolos correlacionam-se as áreas de planícies aluviais;

3 – os solos nas encostas indicam processo de coluvionamento.

Clima

A região do Município de São Paulo está localizada junto ao Trópico de Capricórnio, o que resulta em uma zona de transição entre os Climas Tropicais Úmidos de Altitude (período seco definido) e subtropicais (permanentemente úmidos) (TARIFA; ARMANI, 2001).

A Bacia Paulistana, devido sua proximidade com o litoral e a Serra do Mar, e ao aspecto de “borda de planalto” e não propriamente de serra, confere a região um período menos seco que outras regiões serranas (MONTEIRO, 1973).

Na classificação climática realizada por Tarifa e Armani (2001) para o Município de São Paulo, no território do Município que integra a bacia do Guarapiranga, de acordo com o mapa de Unidades Climáticas “Naturais”, predomina no entorno do reservatório o Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Paulistano, com temperaturas médias anuais de 19,6 e 19,3°C e a presença frequente de nevoeiros e névoa úmida, devido a proximidade com o oceano.

Para o extremo sul do Município de São Paulo foi definido o Clima Tropical Sub-oceânico Super-úmido do Reverso do Planalto Atlântico, com temperaturas médias anuais de 19,6 e 19,1°C, que também frequentemente apresenta nevoeiros, além de

altos índices pluviométricos, com totais pluviométricos anuais entre 1.400 a 1.800 mm (TARIFA; ARMANI, 2001).

Bioma

De acordo com o Instituto Florestal (2009), aproximadamente 50% da superfície da bacia, um total de 31.914,41 hectares (ha) foram mapeados como área de vegetação natural remanescente. Desses, a vegetação secundária da floresta ombrófila densa ocupa 29.867 ha e 1.869 ha da bacia é coberta pela formação arbórea/arbustiva-herbácea em região de várzea.

Ao norte, a bacia apresenta características de floresta pluvial sub-tropical, com vegetação original do Planalto Paulista. Já ao sul, encontram-se manchas de vegetação autóctone representante da transição do Planalto para a Serra do Mar, onde subsistem parcelas de mata atlântica (GHILARDI et al, 2006).

Uso da Terra

A ocupação da bacia é heterogênea, apresentando áreas totalmente urbanizadas, ou em fase de expansão urbana de alto e de baixo padrão construtivo, áreas com uso agrícola, áreas voltadas para recreação e remanescentes de mata atlântica (SILVA, 2005), como pode ser observado na Figura 13.

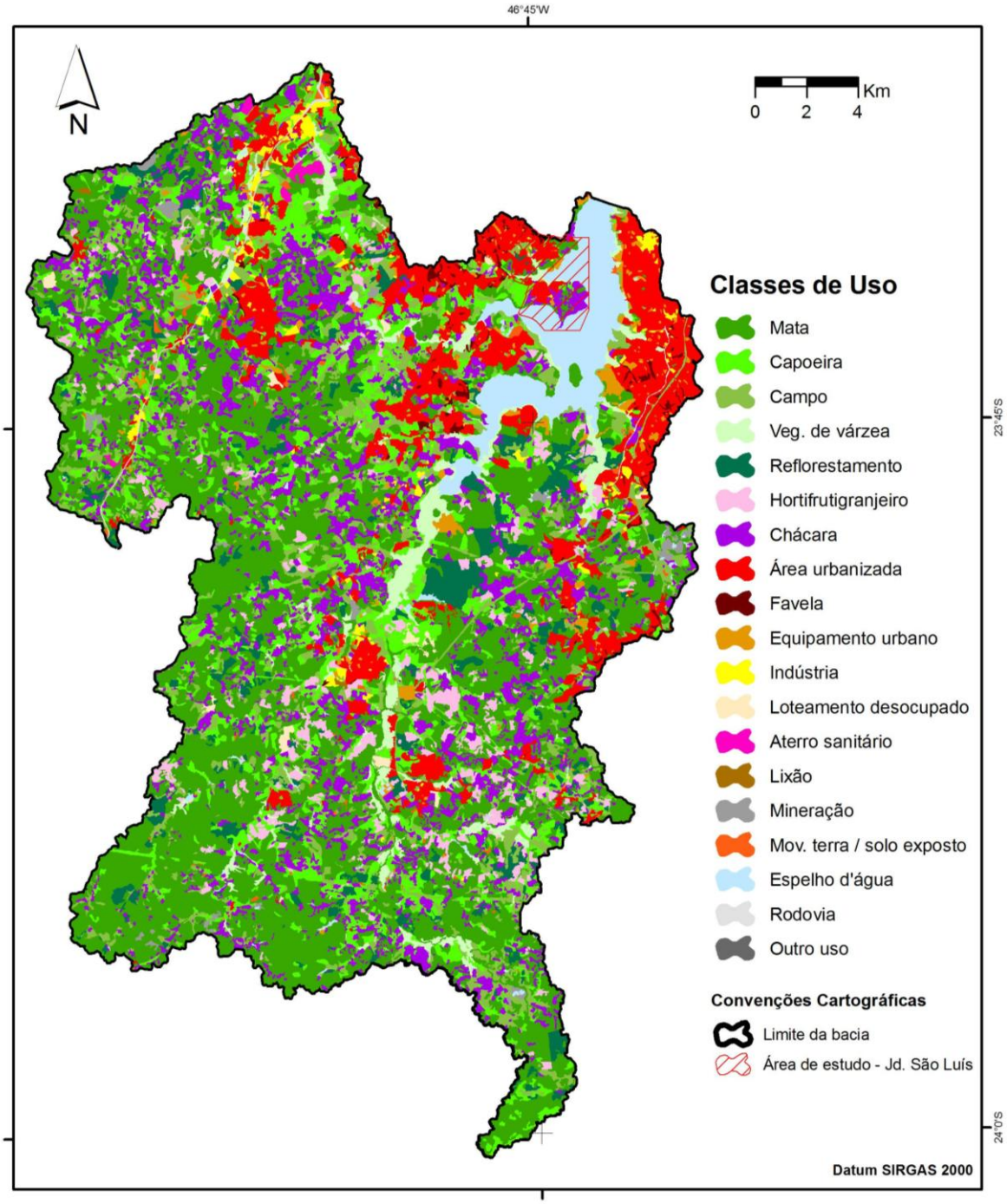


Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo de 2002, escala 1:25.000. Fonte: Elaborado a partir de dados da EMPLASA (2002).

A ocupação residencial se concentra principalmente nas margens direita (distrito Cidade Dutra e Socorro) e esquerda (distrito Jardim Ângela e Jardim São Luís) do reservatório e no distrito de Grajaú, território do Município de São Paulo, sendo em sua maioria ocupações com baixo padrão construtivo, conforme exemplificado na Figura 14.

Figura 14 - Imagem do distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Outros tipos de uso coexistem no entorno do reservatório, como zonas comerciais (Figura 15), uso recreativo: clubes e marinas e serviços ligados ao esporte náutico (Figura 16), restaurantes (Figura 17), condomínios residenciais além de loteamentos de casas de veraneio (Figura 18) (COBRAPE, 2011).

Figura 15 - Imagem do comércio na Avenida Guarapiranga, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Figura 16 - Imagem da marina do Yacht Club Paulista, nas margens do reservatório, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Figura 17 - Imagem de restaurante nas margens do reservatório, na Avenida Robert Kennedy - distrito de Socorro. Fonte: Salim (2013).

Figura 18 **-** Imagem de residência nas margens do reservatório, na Riviera Paulista – Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Merece destaque a ocupação da área central do município de Embu-Guaçu e o distrito Cipó, e as áreas urbanizadas ao longo da rodovia Regis Bittencourt (BR-116) e da SP-234 (ligação da BR-116 à Itapecerica da Serra), envolvendo o centro urbano dos municípios de Itapecerica da Serra e Embu.

O território na bacia dos municípios de Cotia, São Lourenço da Serra e Juquitiba não apresentam ocupação residencial significativa, já que os centros urbanos desses municípios encontram-se fora do limite da bacia.

O uso agrícola encontra-se pulverizado por toda a bacia, localizado predominantemente nos fundos de vales, sendo composta principalmente de hortifrutigranjeiro.

As indústrias estão instaladas com maior incidência ao longo da rodovia Régis Bittencourt e ao longo das avenidas Rio Bonito e Teotônio Vilela, que apresentam indústrias e comércio em sua maioria voltados para o setor automotivo (COBRAPE, 2011).

As formações florestais foram mantidas, embora alterada sua composição primitiva e recortadas pelas ocupações (COBRAPE, 2011). O sul, sudoeste e oeste da bacia

apresentam áreas florestadas significativas, fruto dos condicionantes de relevo e da falta de sistema viário para acessar essas áreas.

Ainda, na bacia existem áreas com atividades minerárias, localizadas nos municípios de Embu-Guaçu e Itapecerica da Serra, e de extração mineral na sub-bacia do rio Itaim, (afluente do rio Parelheiros), sendo que os principais recursos minerais explorados na bacia do Guarapiranga são água mineral, caulim, argila, areia e granito (COBRAPE, 2011).

Nesse sentido, a bacia apresenta uma multiplicidade de formas de ocupação de seu espaço, com usos econômico, agrícola, recreativo, habitacional, industrial, cultural, entre outros (SANTORO; FERRARA; WHATELY, 2009).

Espaços territoriais especialmente protegidos

A bacia do Guarapiranga possui 2.000 ha inseridos na Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal do Capivari/Monos, do Município de São Paulo e a totalidade de sua área abrangida pela Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo, parte integrante da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.

Parte do território do Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Curucutu, um total de 771 ha, estão localizados ao sul da bacia. Existem na bacia os parques ecológicos estaduais do Guarapiranga e da Várzea do Embu Guaçu, os parques municipais Guarapiranga em São Paulo, da Represinha e Temático em Itapecerica da Serra e o parque Francisco Rizzo em Embu, além da unidade de conservação de proteção integral da Ilha dos Eucaliptos, gerida pelo estado (COBRAPE, 2011).

Aspectos da Qualidade da Água

A qualidade da água dos rios que compõem qualquer bacia hidrográfica está diretamente relacionada com o uso do solo de seu território e do controle sobre as fontes de poluição existentes na bacia (BOTELHO, 2011).

A reportagem de Fortarel (1957), intitulada de “os esgotos de São Paulo poluem até as reservas de abastecimento de água” demonstra que a preocupação com a contaminação do reservatório pelo despejo de esgoto do núcleo Cidade Dutra e vilas adjacentes não é recente.

A deterioração da qualidade da água vinha ocorrendo na década 1980, quando foram registrados relatos do incremento de florações de algas e processo de eutrofização do reservatório. Em novembro de 1979, foi publicada na Folha de São Paulo, reportagem sobre o uso de sulfato de cobre no reservatório pela Sabesp, para conter a reprodução da alga *Anabaena*, que produz cheiro e gosto forte na água para consumo (FOLHA DE SÃO PAULO, 1979).

Na reportagem, os técnicos afirmam que foi a primeira vez que ocorreu esse processo de eutrofização, devido ao volume de nutrientes (esgoto) e baixo índice pluviométrico em época de alta incidência de sol.

Novamente, no início de 1991 houve um grande aumento na quantidade de algas no reservatório, gerando a abertura de um inquérito civil pela Curadoria do Consumidor do Ministério Público para investigar a poluição da água (FOLHA DE SÃO PAULO, 1991).

Essa grande floração de algas, resultantes da enorme quantidade de matéria orgânica proveniente do despejo de esgotos na água, causaram entupimento dos filtros na captação de água e ameaçaram o abastecimento para três milhões de pessoas.

Para reverter esse quadro, o governo estadual implantou durante a década de 1990 um programa de recuperação ambiental da região, conhecido como Programa Guarapiranga, que contou com recursos do Banco Mundial. Um total de US$ 300 milhões foram aplicados, principalmente em redes de esgotos e reurbanização de favelas (WHATELY; CUNHA, 2006).

O Governo do Estado desenvolveu o Programa Guarapiranga no período 1995-2000, com a finalidade de recuperar a qualidade das águas. Neste Programa, favelas foram urbanizadas, conjuntos habitacionais construídos e houve a implantação sistemas de esgotos e de infraestrutura urbana em diversos bairros.

Mesmo com as ações do Programa Guarapiranga, o aporte de nutrientes no reservatório continuou. A reportagem de Balazina (2005) relata que devido ao aumento de nitrogênio e fósforo, foi verificada a proliferação das algas, esverdeando as águas do reservatório.

Assim, o Programa Guarapiranga foi sucedido pelo Programa Mananciais, que também com recursos do Banco Mundial, abrangeu todas as áreas de mananciais

da RMSP, com a participação do Governo do Estado (secretarias de Saneamento e Recursos Hídricos, do Meio Ambiente, Sabesp e Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano - CDHU) e as prefeituras de São Paulo, de São Bernardo do Campo e de Guarulhos.

O despejo de esgoto doméstico permanece como um dos principais causadores da poluição do reservatório e de seus afluentes. Quanto a esse problema, iniciou-se uma movimentação por parte das prefeituras para a elaboração dos planos municipais de saneamento básico.

Com a lei federal nº 11.445/2007 é exigido que cada município elabore o seu plano de saneamento local, que deve contemplar diagnósticos com análise, propostas e definição das necessidades de investimento para a universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo de águas pluviais.

Essa movimentação foi motivada pelo decreto federal nº 7.217/2010, que determinou que a partir de 2014 o acesso do município a recursos da União, quando destinados a serviços de saneamento básico, estaria condicionado à existência de Plano Municipal de Saneamento Básico.

Crescimento Urbano

A bacia do Guarapiranga possui acesso para centro urbano (imediações da avenida Paulista), para a estrada de Embu, para as áreas rurais do Município de São Paulo e aos municípios vizinhos pelas estradas de Guarapiranga e M'Boi Mirim, que são as principais vias dessa região (BIELAVSKY, 2006). Ainda, a bacia é cruzada por duas linhas ferroviárias da Ferrovias Bandeirantes S/A (FERROBAN): a Campinas - São Vicente e a São Paulo - Santos (COBRAPE, 2011).

Na década de 1960, a implantação da marginal Pinheiros impulsionou a expansão da mancha urbana nas direções sul e sudoeste, tanto da classe de alta renda, como da classe de baixa e média renda, motivadas pelos empregos do polo industrial que se consolidava em Santo Amaro. Dessa forma, a população paulistana primeiramente ocupou os terrenos mais favoráveis do ponto de vista físico, locacional e de infraestrutura de serviços, e posteriormente ocupou as áreas mais periféricas, com menos amenidades, como as áreas de mananciais.

As áreas da bacia com maiores densidades demográficas estão localizadas no Município de São Paulo, nas subprefeituras de Capela do Socorro e M´Boi Mirim (WHATELY; CUNHA, 2006). A predominante condição social e econômica da população da bacia pode ser considerada como extremamente precária.

No estudo realizado por Sposati (1996), Mapa da Exclusão/Inclusão Social da cidade de São Paulo, foi gerado um índice de exclusão social, significando a impossibilidade de poder partilhar da sociedade, levando à vivência da privação, da recusa, do abandono e da expulsão de uma parcela da população.

Nesse estudo, constatou-se que em 1991 os distritos do Município que fazem parte da bacia do Guarapiranga, Cidade Dutra, Jardim São Luís, Marsilac, Jardim Ângela e Parelheiros, possuíram notas mais próximas da exclusão social, sendo que os 3 últimos distritos citados estão entre os 5 piores índices de inclusão social.

Situação que não foi alterada com o passar dos anos, já que em 2006, 57% do território da bacia do Guarapiranga encontrava-se alterado por atividades humanas e cerca de 750 mil pessoas residiam na Bacia, das quais 100 mil em favelas (WHATELY; CUNHA, 2006).

Inserida na Região Metropolitana de São Paulo, a bacia do Guarapiranga vem sofrendo os reflexos da expansão urbana da periferia da metrópole. Langenbuch (1971) comenta sobre a grande especulação imobiliária nas margens do Guarapiranga de loteamento suburbanos residenciais por volta de 1930, de loteamentos de chácaras recreativas na década de 1950 e de clubes de campo ou “country clube” em 1960. Na década de 1970, a área foi efetivamente ocupada por um grande número de construções em pequenos lotes.

A ocupação do entorno do manancial e a degradação resultante da falta de infraestrutura sanitária alterou de forma significativa a paisagem, com perda dos atributos naturais, além de propiciar zonas de insegurança e instabilidade social. Esse quadro fez com que surgissem instrumentos normativos para disciplinar o uso e ocupação do solo da bacia do Guarapiranga.

2.5.3 Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais

O modelo de proteção dos recursos hídricos no Brasil, adotado do início do século XX até a década de 1930, foi o de desapropriação total das áreas de mananciais, para manter sua preservação (MARCONDES, 1999).

Como já comentado, na década de 1970 a população da RMSP aumenta vertiginosamente, preocupando o poder público estadual e municipal com o constante avanço da mancha urbana para as áreas de mananciais de abastecimento público e possíveis consequências.

No Estado de São Paulo, essa preocupação com a preservação dos mananciais foi abordada no Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado (PMDI) em 1971, que propôs uma lei para proteger os mananciais, juntamente com outras medidas do plano, direcionando o crescimento da região metropolitana no vetor leste-nordeste, com vistas a proteger os recursos hídricos (MARCONDES, 1999). No entanto, o crescimento da RMSP foi em direção à área de mananciais, tanto sul como norte.

No âmbito municipal, São Paulo instituiu com a lei municipal nº 7.688/1971 o primeiro Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), pautado nas recomendações do Plano Urbanístico Básico (PUB) e do Plano Metropolitano de Desenvolvimento Integrado (PMDI). As diretrizes do PDDI foram consolidadas na primeira legislação de zoneamento da cidade, a lei municipal nº 7.805/1972 (PÉREZ MACHADO, 2000; PMSP, 2002).

Esta lei de zoneamento (e suas alterações) disciplinou o Município por 30 anos, até a promulgação do Plano Diretor Estratégico (lei municipal nº 13.430/2002, complementada pela lei municipal nº 13.885/2004) e teve como objetivo orientar vetores e as diretrizes para a expansão urbana, restringir o potencial construtivo e equacionar a localização das diferentes categorias de uso do solo (KEPPKE, 2007).

No entanto, os parâmetros adotados por essa lei na área de mananciais foram incompatíveis com a realidade dos bairros presentes na bacia do Guarapiranga. A área mínima do lote seria de 250 m², exceto para os lotes existentes antes da lei que fossem averbados em Cartório de Registro de Imóvel. Devido a esses pré-requisitos, a grande maioria dos lotes permaneceu em situação irregular (NERY JR., 2002).

Nesse contexto, em 1975 surge a primeira lei estadual para a proteção dos mananciais, a lei nº 898/1975 (ainda em vigor), que teve como objetivo disciplinar o uso do solo para a proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da Região Metropolitana de São Paulo.

Esta lei definiu como Área de Proteção de Mananciais (APM) aproximadamente 54% da Região Metropolitana de São Paulo, distribuída principalmente na região sul-sudeste-sudoeste e norte-nordeste.

O artigo 2º dessa lei declara áreas de proteção em 18 mananciais, sendo o item V, a área de drenagem do reservatório Guarapiranga, até a barragem no Município de São Paulo.

Esta lei também apresenta as exigências para licenciamento das atividades, sanções às infrações e divide as áreas de proteção dos mananciais em faixas de maior restrição ou 1ª categoria, e as demais, em ordem decrescente das restrições a que estão sujeitas, denominadas de 2ª categoria. De acordo com Marcondes (1999), essa divisão em categorias traz a forma implícita dos modelos de círculos concêntricos de densidades decrescentes, formulados por Burgess da Escola de Chicago.

Mas é com a promulgação da lei estadual nº 1.172/1976 que estas faixas de restrição, citadas anteriormente, são delimitadas e mapeadas e se apresenta os usos e atividades permitidos para cada categoria, bem como os parâmetros de densidade bruta equivalente, quota bruta equivalente, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, índice de elevação, entre outros.

O modelo de proteção de mananciais da década de 1970, com as leis nº 898/1975 e nº 1.172/1976 basearam-se no estabelecimento de áreas impróprias e próprias para ocupação, tanto urbana como rural.

Uma das críticas feitas à essa legislação, refere-se ao entendimento da lei que a oferta de infraestruturas de coleta de esgoto e rede de água na região poderiam atuar como indutores de ocupação urbana, proibindo dessa forma a expansão por parte do poder público de infraestrutura na região sul (BERTOLOTTI, 2010).

Com a grande demanda por moradia na RMSP, os proprietários de grandes glebas em áreas de mananciais, impedidos de obter lucros no mercado formal, devido às

restrições impostas pela lei, iniciaram o comércio clandestino e ilegal das terras, tendo como público alvo a população trabalhadora de baixa renda (FRANÇA, 2000).

As leis de proteção dos mananciais mencionadas são importantes instrumentos para disciplinar o uso e a ocupação do solo, visando preservar a qualidade e a quantidade de água para abastecimento público, no entanto:

> […] Seus parâmetros, juntamente com as condições gerais de sua aplicação, colaboraram para criar um produto necessário: terra barata, sem interesse para o mercado imobiliário e localizada em áreas sem fiscalização pública adequada. E isso, enfatizando, num contexto de forte demanda de moradias pela população de menores recursos. Desse modo, essas áreas, em vez de constituírem uma reserva estratégica para a proteção dos mananciais, reuniram vantagens para a reprodução da expansão urbana ilegal (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004, p. 95-96).

Kubrusly (2000) ressalta o caráter vanguardista das leis nº 898/1975 e nº 1.172/1976, mas também as dificuldades para sua aplicação, como o pouco desenvolvimento da consciência ambiental coletiva na época de promulgação das leis e a pressão devido ao fato da terra ter um valor econômico como mercadoria.

Nesta mesma época, o Município de São Paulo promulga a lei municipal nº 8.769/1978, com o intuito de garantir a preservação dos mananciais na região Sul do Município de São Paulo, criando as zonas de uso Z14 e Z15. Contudo, essa lei produziu um efeito contrário, com parâmetros restritivos que buscavam assegurar uma ocupação de baixa densidade populacional, a especulação imobiliária nestas áreas voltou-se, principalmente, para o mercado informal de lotes em loteamentos irregulares (NERY JR., 2002).

Esse quadro de ocupação dos mananciais, juntamente com o surgimento do Programa Guarapiranga e mudanças constitucionais de 1988 e 1989, demandavam a necessidade de reforma legislativa das leis de proteção de mananciais (FRANÇA, 2000).

Dessa forma, foi criada pelo decreto estadual nº 40.225/1995 uma comissão especial para rever as normas relativas à proteção dos mananciais. Essa comissão identificou os problemas para a aplicação da legislação, entre eles:

- a grande extensão das áreas a serem protegidas (aproximadamente 54% da Região Metropolitana de São Paulo);

- a insuficiência de recursos públicos;

- a pressão dos parques industriais implantados na região;

- os dispositivos e parâmetros de difícil assimilação pelas entidades públicas e particulares;

- a pressão das populações periféricas não amparadas por programa habitacional;

- os conflitos entre a legislação e a postura política do Estado e de Municípios integrantes da região;

- a falta de meios para uma fiscalização eficiente (SÃO PAULO, 1996).

Após um longo período de discussões, foi promulgada a lei estadual nº 9.866/1997, que dispõe sobre diretrizes e normas para a proteção e recuperação das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo.

A nova legislação abrange a proteção dos mananciais de abastecimento público de todo Estado, não apenas da RMSP, adota como unidade de planejamento e gestão a bacia hidrográfica do manancial.

A noção de bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, correspondendo a uma área irrigada por um rio ou determinado sistema fluvial, tem sido muito aceita (CHRISTOFOLETTI, 1980). O conceito de bacia hidrográfica é assumido como unidade territorial para o planejamento integrado do manejo dos recursos hídricos e das atividades humanas relacionadas com o curso das águas, em função de sua característica de sistema natural. Essa tendência também pode ser observada na legislação que cria a política de recursos hídricos, como as leis estaduais nº 7.663/1991 e nº 9.034/1994 e na lei federal nº 9.443/1997.

A lei nº 9.866/1997 prevê a gestão dos recursos hídricos de forma integrada, compartilhada e descentralizada entre Estado, municípios e sociedade civil. Para Whately e Cunha (2006) a legislação anterior da década de 1970 definia mecanismos centralizados de comando e controle, que não foram suficientes para conter a degradação dos mananciais.

Ainda, diferentemente das leis antigas, a lei estadual nº 9.866/1997 leva em consideração a grande demanda por habitação na RMSP e regulamenta a ocupação das áreas de mananciais, dispondo de diretrizes para regularização das residências em situação ilegal. Segundo Kubrusly (2000), a nova lei não omite o fato de que as

áreas de mananciais já possuíam muitas ocupações irregulares, com moradia para aproximadamente 800 mil habitantes.

A lei estadual nº 9.866/1997 define, então, que cada bacia deve ter uma lei específica. A primeira a ser elaborada foi a da bacia do reservatório Guarapiranga, que após um longo processo de discussão, foi submetida a audiências públicas e teve sua minuta aprovada pelas instâncias estaduais competentes, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH) e o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA) (WHATELY; CUNHA, 2006). O projeto de lei foi encaminhado à Assembleia Legislativa em 2004.

A lei específica da Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga (APRM-G), consubstanciada na lei estadual nº 12.233 de 16 de janeiro de 2006, e regulamentada pelo decreto estadual nº 51.686 de 22 de março de 2007, estabeleceu três tipos de áreas de intervenção e um zoneamento com diretrizes e/ou parâmetros urbanísticos para cada um deles:

> **Áreas de restrição à ocupação (ARO):** as áreas de especial interesse para a preservação, conservação e recuperação dos recursos naturais da bacia.
>
> **Áreas de ocupação dirigida (AOD):** as áreas de interesse para a consolidação ou implantação de usos urbanos ou rurais, desde que atendidos os requisitos que assegurem a manutenção das condições ambientais necessárias à produção de água, em quantidade e qualidade para o abastecimento público.
>
> **Áreas de recuperação ambiental (ARA):** as áreas de ocorrências localizadas de usos ou ocupações que estejam comprometendo a quantidade e a qualidade das águas, exigindo intervenções urgentes de caráter corretivo (SÃO PAULO, 2008, p. 51, grifo nosso).

O zoneamento com as áreas de ocupação dirigida da bacia foi delimitado e lançado graficamente na escala 1:10.000 conforme Figura 19:

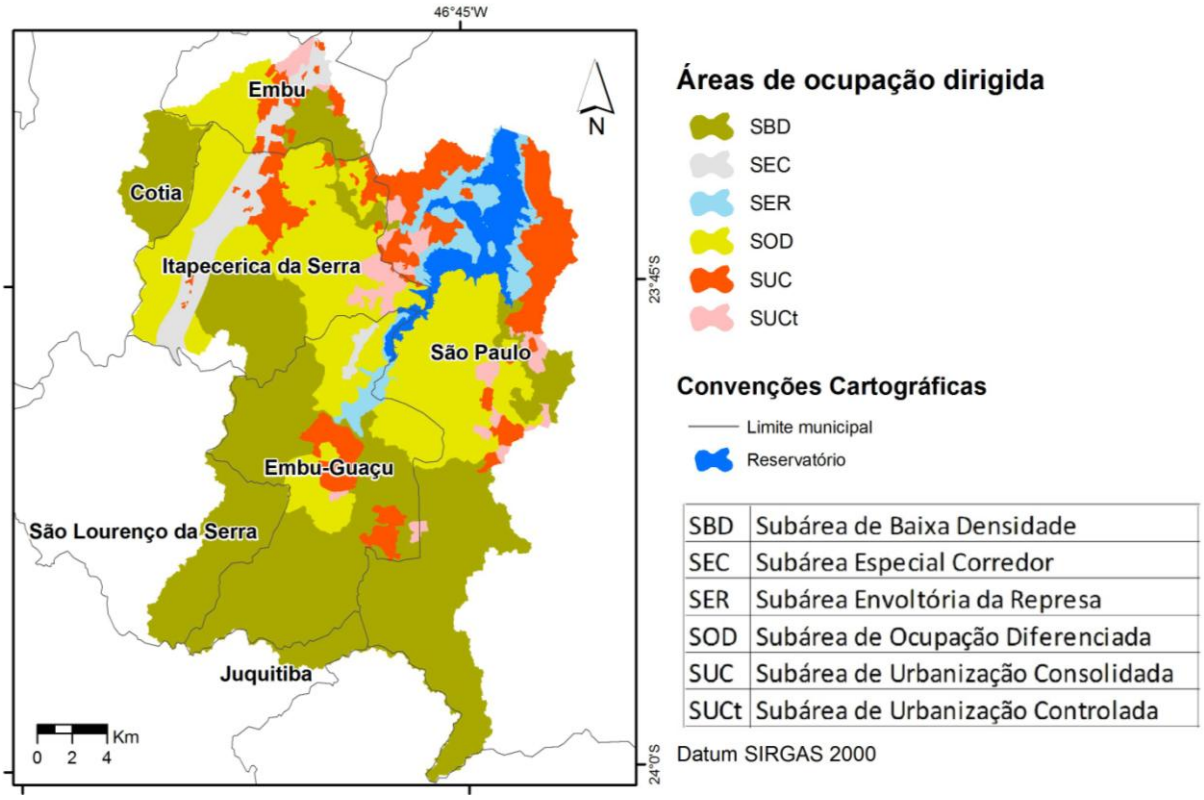


Figura 19 - Zoneamento da Bacia do Guarapiranga criado na lei nº 12.233/2006.

A lei 9.866/1997 introduz ainda alguns instrumentos para gestão e planejamento das áreas de mananciais, dentre os quais o Sistema Gerencial de Informações (SGI), que deve servir como referência para todos os demais instrumentos de planejamento e gestão da lei. Constituindo-se em um banco de dados georreferenciado, com objetivo de caracterizar e avaliar a qualidade ambiental da bacia e subsidiar as ações de planejamento, gestão, fiscalização e licenciamento.

O SGI deve disponibilizar as seguintes informações para todos os agentes públicos e privados:

> **I - Sistema de Monitoramento da Qualidade Ambiental;**
> II - base cartográfica em formato digital;
> III - representação cartográfica dos sistemas de infra-estrutura implantados e projetados;
> IV - representação cartográfica da legislação de uso e ocupação do solo incidente na APRM-G;
> V - cadastro de usuários dos recursos hídricos;
> VI - cadastro e mapeamento das licenças, autorizações, outorgas e autuações expedidos pelos órgãos competentes;
> VII - cadastro fundiário das propriedades rurais;
> VIII - indicadores de saúde associados às condições do ambiente;
> IX - informação das rotas de transporte das cargas tóxicas e perigosas (Artigo 54º, grifo nosso).

Outro instrumento de gestão para a APRM Guarapiranga, é o Sistema de Monitoramento da Qualidade Ambiental, item I do artigo 54º, e constituído por:

> I - monitoramento qualitativo e quantitativo dos tributários ao Reservatório Guarapiranga;
> II - monitoramento da qualidade da água do Reservatório Guarapiranga;
> III - monitoramento da qualidade da água tratada;
> IV - monitoramento das fontes de poluição;
> V - monitoramento das cargas difusas;
> VI - monitoramento da eficiência dos sistemas de esgotos sanitários;
> VII - monitoramento da eficiência do sistema de coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos;
> **VIII - monitoramento das características e da evolução do uso e ocupação do solo;**
> IX - monitoramento das áreas contaminadas por substâncias tóxicas e perigosas;
> X - monitoramento do processo de assoreamento do Reservatório Guarapiranga (Artigo 55º, grifo nosso).

Considerando a extensão do território da bacia e a dinâmica de seu espaço urbano, inserido em área de expansão urbana da RMSP, as geotecnologias podem auxiliar no atendimento do item VIII do artigo 55º, monitoramento das características e da evolução do uso e ocupação do solo, a partir do mapeamento do uso e ocupação da terra.

A bacia do Guarapiranga apresenta usos diversificados como residencial, comercial, lazer e agrícola, além de grandes fragmentos de vegetação nativa. Quanto ao uso residencial, a partir de 1930, pressões e interesses diversos resultaram em diferentes padrões de ocupação da bacia: chácaras, favelas, residências de população de baixa, média e alta renda.

Essa heterogeneidade no padrão residencial pode ser facilmente constatada durante uma visita a bacia. O conhecimento dessa diversidade, de como é estruturado e organizado seu espaço urbano são importantes para a gestão da bacia e como subsídio na proposição de políticas públicas.

3. Procedimentos Metodológicos

Por meio de técnicas de sensoriamento remoto aliadas às imagens de alta resolução espacial é possível identificar os diferentes tipos de coberturas que existem na bacia do Guarapiranga, como telhados, árvores, grama, curso d'água, entre outros.

Entretanto, para obter informações sobre o uso do território e características de sua população são necessárias informações externas, sejam de dados secundários ou conhecimentos prévios do analista/intérprete.

Para a proposição de políticas públicas, seria interessante se as informações da cobertura da terra, extraídas automaticamente de imagens de satélite ou fotografias aéreas pudessem revelar informações sobre as pessoas que lá residem e suas possíveis necessidades.

Essas inferências são realizadas quando analisamos uma imagem, como no exemplo 1, da Figura 20, onde pelo tamanho dos terrenos, padrão e forma da edificação, densidade de ocupação, quantidade de área verde, subjetivamente julgamos a área como sendo de moradia de população de baixa renda. Ou no exemplo 2 da Figura 20, cujas características nos dariam a impressão de moradia de população de alta renda.

EXEMPLO 1 **EXEMPLO 2**

Figura 20 - Exemplos de diferentes padrões de ocupação na Guarapiranga.

Dessa forma, havendo correlação entre a cobertura da terra e as características da população residente é possível caracterizar qualitativamente a ocupação da bacia,

obtendo informações sobre as demandas da população e as áreas prioritárias para investimento público.

Um dos subsídios para a gestão do manancial é o acesso às informações qualitativas e quantitativas da população e dos problemas enfrentados. Partindo do princípio de que “o local faz diferença”, onde ocorrem os fenômenos em muitos casos é essencial para a compreensão do problema (DRUCK et al., 2004).

Alguns experimentos foram realizados com o intuito de verificar se os procedimentos técnicos propostos para essa pesquisa eram adequados ao objetivo da mesma. Num primeiro momento a intenção foi testar diferentes métodos para classificação automática de imagens de alta resolução, do satélite IKONOS, para geração de mapas de cobertura da terra.

Posteriormente, era necessário verificar a existência de correlação entre o tipo de cobertura da terra e as características socioeconômicas da população que habita determinado local, fazendo uso das informações extraídas da imagem e de dados do censo demográfico.

3.1 Definição da metodologia – experimentos preliminares

Essa pesquisa buscou a definição de uma metodologia, com o uso de geotecnologias, para obtenção precisa e rápida de dados socioeconômicos e de qualidade ambiental de bairros próximos ao manancial.

Para tanto, foram realizados 2 experimentos preliminares que resultaram na definição da metodologia a ser aplicada na área de estudo. Esses experimentos são apresentados a seguir de forma sucinta, sem a intenção nesse primeiro momento de detalhar toda metodologia utilizada, o que será feito posteriormente no subcapítulo 3.2 Aplicação da metodologia, com o intuito de facilitar o entendimento da aplicação integral da metodologia proposta nesta pesquisa.

3.1.1 Classificação supervisionada

Os experimentos no âmbito dessa pesquisa foram realizados inicialmente em imagens do satélite IKONOS de 2002 da bacia do Guarapiranga, utilizando a metodologia de classificação automática supervisionada, método pixel a pixel, com o algoritmo máxima verossimilhança (MAXVER), gerando um mapa de cobertura da terra de uma área teste da bacia do Reservatório Guarapiranga.

Jensen (2011, p. 237) apresenta informações do satélite IKONOS:

> A companhia Space Imaging Inc., lançou o IKONOS em 27 de abril de 1999. Infelizmente, o satélite não atingiu sua órbita. A Space Imaging lançou um segundo IKONOS em 24 de setembro de 1999. O sensor do satélite IKONOS tem uma banda pancromática de 1 x 1 m e quatro bandas multiespectrais no visível e no infravermelho próximo com 4 x 4 m de resolução espacial (Space Imaging, 2006). [...] O IKONOS está em órbita de 681 km síncrona com o Sol com um horário descendente de cruzamento equatorial entre 10 e 11 horas. Ele tem instrumentos para observação ao longo da trajetória do satélite perpendicular a ela, o que torna a aquisição de dados flexível e o tempo de revisita frequente: < 3 dias com resolução espacial de 1 x 1 m (para ângulo de visada < 26º) e 1,5 dias com resolução espacial de 4 x 4 m. A faixa nominal do imageamento é de 11 km. Os dados são quantizados em 11 bits.

Segundo Novo (2011), há uma distinção entre o mapeamento da cobertura e do uso da terra. O primeiro termo refere-se ao tipo de revestimento e o segundo à utilização cultural da terra. Nesta pesquisa será realizado o mapeamento da cobertura da terra, referindo-se aos materiais biofísicos encontrados sobre a superfície terrestre (JENSEN, 2011).

Nesse experimento foram utilizados:

- Imagens do satélite IKONOS do ano de 2002 (fornecidas pelo Instituto Geológico do Estado de São Paulo), ortorretificadas, fusionadas com resolução espacial de 1 metro e resolução radiométrica de 11 bits na composição *Red, Green, Blue* (RGB) 432 - infravermelho próximo, vermelho e verde;

- ENVI versão 4.3: Programa de processamento digital de imagens utilizado para a classificação automática supervisionada, algoritmo MAXVER. A licença utilizada é do Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE) da Universidade de São Paulo (USP);

- ArcGIS 9.3: Sistema de Informações Geográficas utilizado na elaboração dos mapas temáticos, sobreposição das informações e análise espacial. A licença utilizada é do LASERE/USP;

- SPSS versão 17.0: Programa de estatística para cálculo da correlação (*bivariete correlation*) entre as variáveis do censo 2000 e o resultado da classificação da imagem de satélite. A licença utilizada é da USP;

- Malha de setor censitário de 2000 do IBGE e variáveis demográficas dos resultados do universo do Censo Demográfico de 2000.

O procedimento foi realizado no distrito Jardim Ângela, localizado na zona Sul do Município de São Paulo, nas margens do reservatório Guarapiranga. Para essa área teste, foram escolhidos 10 setores censitários, conforme Figura 21.

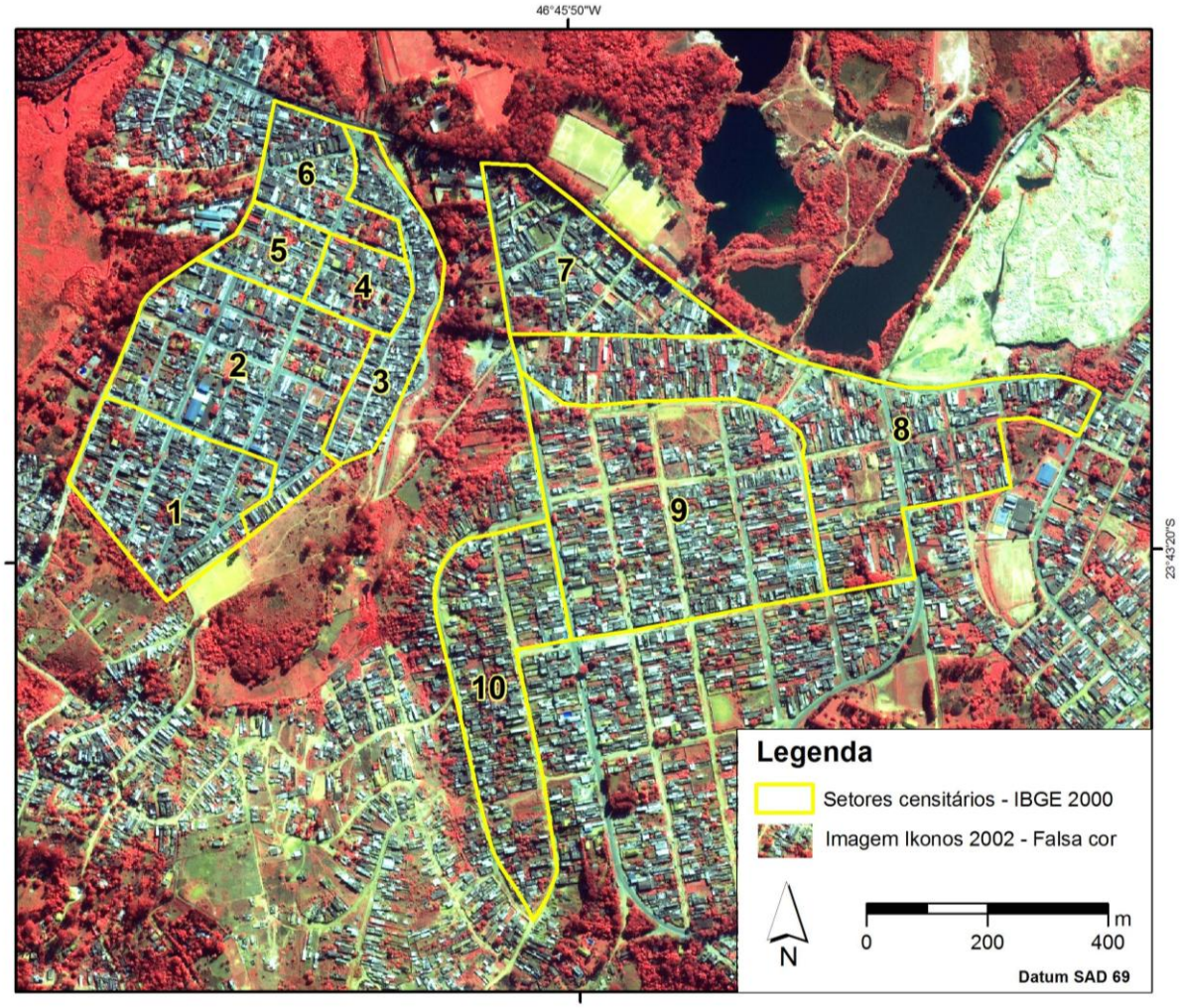


Figura 21 - Setores censitários da área teste – Guarapiranga, 2002.

Após o processamento da classificação automática foi gerado mapa da cobertura da terra com as classes: água, solo exposto, sombra, asfalto, área verde, telhado cerâmica, laje e telhado de cimento escuro/amianto, Figura 22.

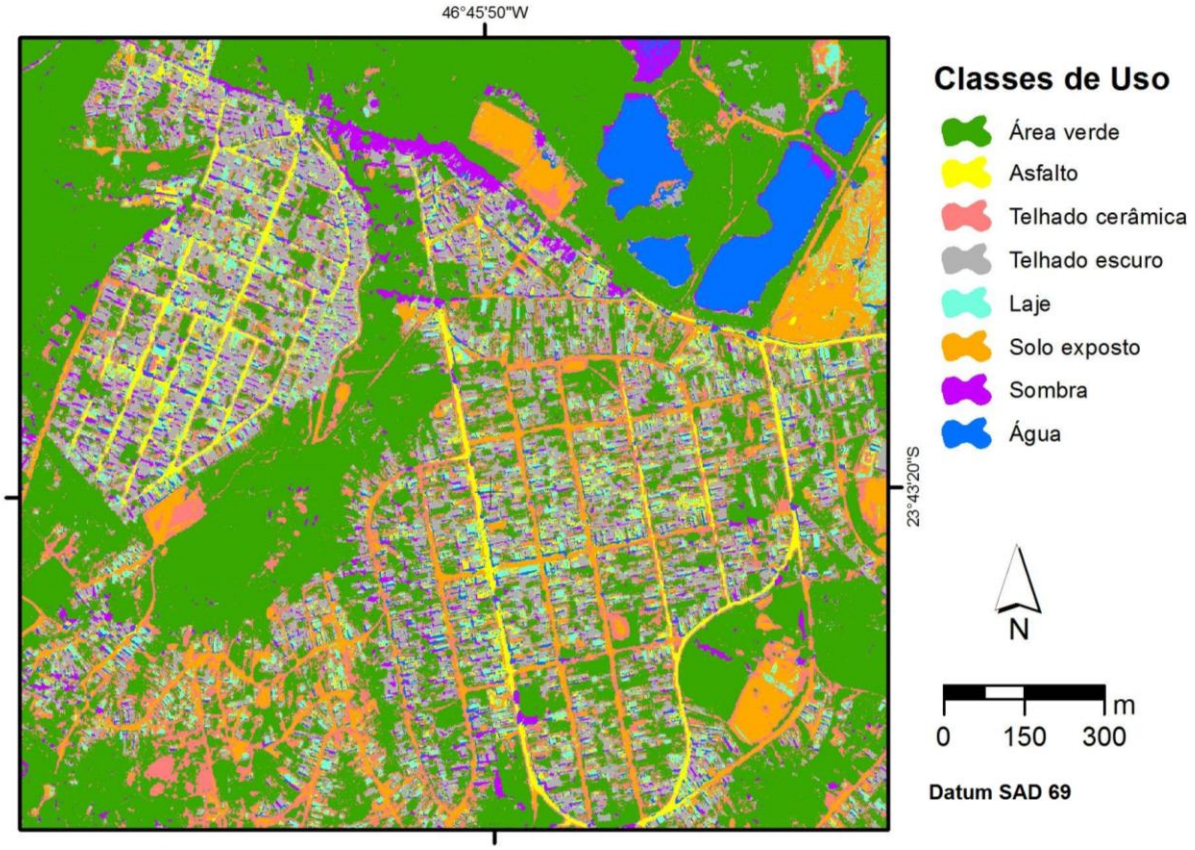


Figura 22 - Classificação supervisionada realizada na imagem IKONOS.

Durante a análise do resultado dessa classificação, foi observada a confusão entre as classes: solo exposto e telhado de cerâmica, sombra e água, asfalto e laje, erro comumente abordado na literatura, devido a semelhança no comportamento espectral dos alvos.

Os algoritmos clássicos de classificadores baseados em abordagem pixel-a-pixel (Maxver, Mínima Distância e Mahalanobis) não têm tido bom desempenho para diferenciar telhados de ruas em imagens de alta resolução, já que muitos telhados e ruas são feitos do mesmo material (MYINT et al., 2011).

As classes área verde e telhado cimento amianto tiveram os melhores resultados e desse modo, apenas essas duas classes foram utilizadas na realização dos procedimentos posteriores.

A próxima etapa foi verificar a existência de correlação entre as variáveis do censo 2000 do IBGE e as informações sobre a porcentagem de cada tipo de cobertura no setor censitário, obtida por meio da classificação da imagem de satélite.

Foi gerada uma matriz de correlação, cujos resultados foram analisados apenas para as classes área verde e telhado de cimento amianto, e considerados significativos quando o escore da correlação se apresentava entre -1 e -0.7 e entre 0.7 e 1.

Maiores informações sobre os procedimentos executados e os resultados obtidos nesse experimento podem ser obtidos em Salim e Luchiari (2011).

Após esse experimento ficou nítida a importância de se buscar melhorias no método de classificação da imagem de satélite para geração de um mapa de cobertura da terra mais preciso, diminuindo a confusão entre as classes com comportamento espectral semelhante. Por isso, optou-se por testar a metodologia de análise de imagens baseada em objetos.

3.1.2 Classificação de imagem baseada em objetos

Esse experimento foi necessário devido a importância em dar início aos testes de classificação baseada em objetos e seu descompasso com o cronograma de entrega das imagens da área de estudo, utilizadas nesta pesquisa, adquiridas pelo Projeto Temático AcquaSed[20] de “Reconstrução paleolimnológica da Represa Guarapiranga e diagnóstico da qualidade atual da água e dos sedimentos de mananciais da RMSP com vistas ao gerenciamento do abastecimento”.

A atividade de aquisição das imagens no cronograma do Projeto Temático AcquaSed foi concluída apenas no final do primeiro semestre de 2012. Anterior a isso, foram iniciados os testes de classificação baseada em objetos de imagens do satélite IKONOS do município de Guarulhos utilizando:

[20] Processo da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) número: 2009/53898-9, coordenação Carlos Eduardo Mattos Bicudo e Denise de Campos Bicudo iniciado em 1º de outubro de 2010.

- Imagens do satélite IKONOS do ano de 2007, ortorretificadas e fusionadas, com resolução espacial de 1 metro, 4 bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho), fornecidas pela Universidade de Guarulhos;
- ENVI EX: Programa de extração de feições utilizado para OBIA. A licença utilizada é do LASERE/USP;
- ArcGIS 9.3: Sistema de Informações Geográficas utilizados na elaboração dos mapas temáticos, sobreposição das informações e análise espacial. A licença utilizada é do LASERE/USP;
- SPSS versão 17.0: Programa de estatística para cálculo da correlação (*bivariete correlation*) entre as variáveis do censo 2010 e o resultado da classificação da imagem de satélite. A licença utilizada é da USP;
- Malha de setor censitário de 2010 do IBGE e variáveis demográficas dos resultados do universo do Censo Demográfico de 2010.

Para a escolha do local de realização dos testes, buscou-se uma área que fosse densamente ocupada e com cobertura heterogênea. O local escolhido foi uma área próxima à prefeitura municipal de Guarulhos, entre os bairros Vila Flórida e Monte Carmelo. Nesta área foram escolhidos 25 setores censitários do Censo de 2010, em uma área de aproximadamente 1,14km^2, apresentada na Figura 23.

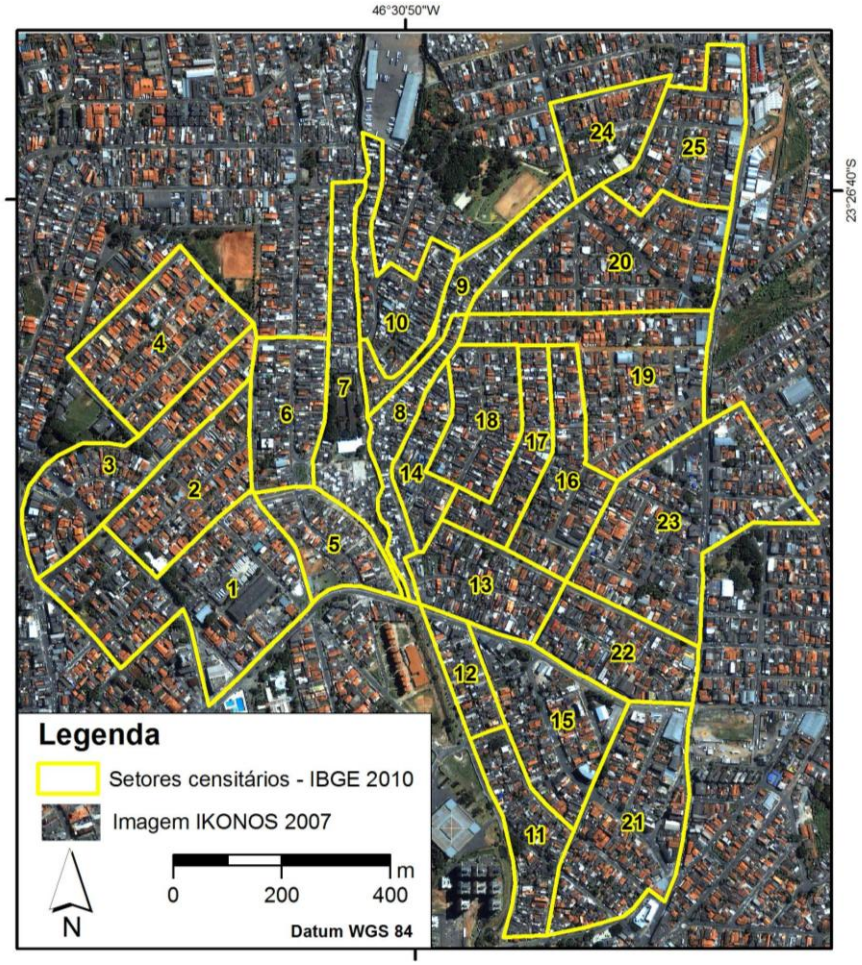


Figura 23 - Setores censitários da área teste – Guarulhos, 2007.

Na imagem do satélite IKONOS recortada para a área de estudo foi aplicada a OBIA onde, por meio de técnicas de segmentação, os alvos da imagem são tratados como objetos e não somente como pixels isolados.

Comparando com as concepções de classificação pixel a pixel que se baseiam somente nas características espectrais, a OBIA pode considerar as características do objeto, como textura, forma, relacionamento com seus vizinhos, entre outras.

Nesse experimento, após o processamento da OBIA foi gerado o mapa da cobertura da terra com as classes: asfalto, área verde, sombra e telhados (claros, escuros e de cerâmica), Figura 24.

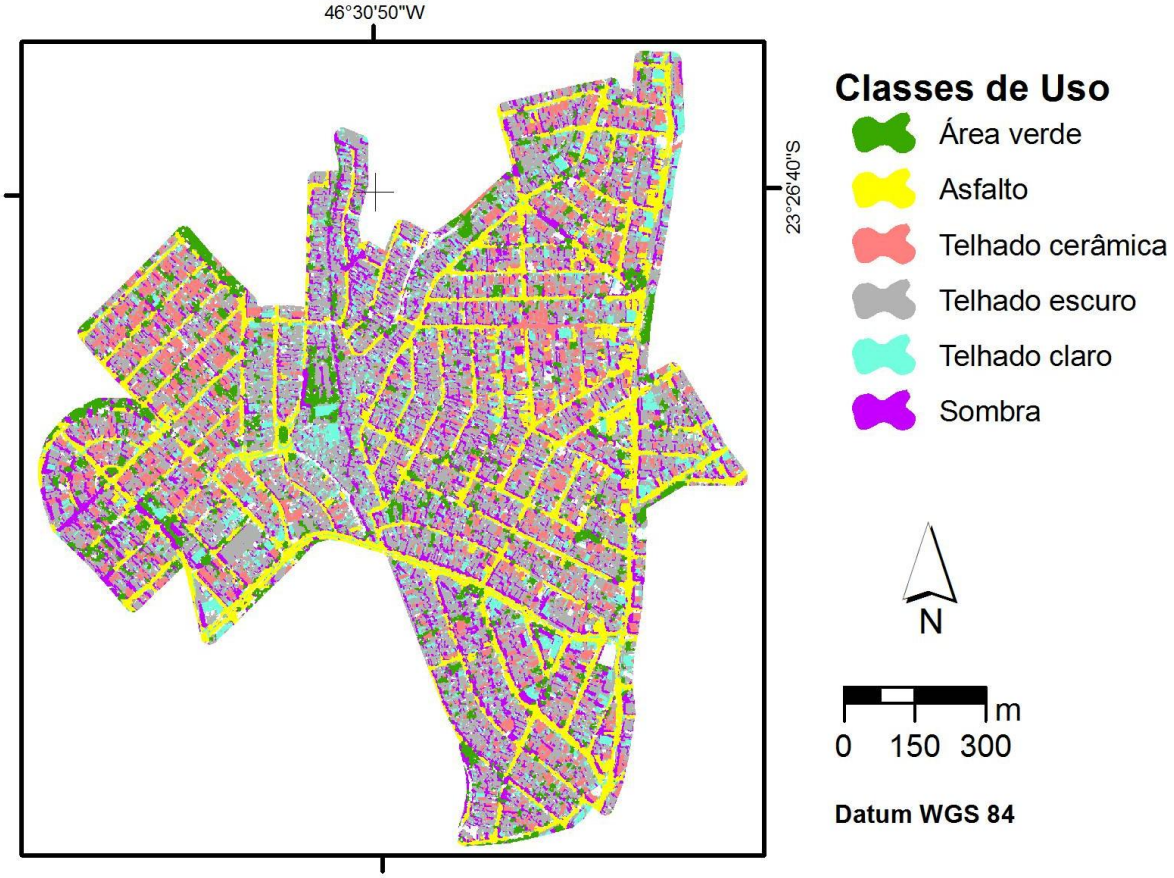


Figura 24 - Classificação com OBIA da área teste.

Novamente as variáveis escolhidas do Censo de 2010 foram processadas e organizadas para que fosse calculada a correlação entre todas as variáveis do Censo e as classes de cobertura da terra. Os resultados foram considerados significativos quando a correlação se apresentava entre -1 e -0.7 e entre 0.7 e 1.

Maiores informações sobre os procedimentos executados e os resultados obtidos nesse experimento, podem ser obtidos em Salim e Luchiari (2013).

Ao término desse experimento foi possível avaliar visualmente a melhoria significativa no resultado da classificação da imagem IKONOS utilizando OBIA, em comparação com a classificação supervisionada (pixel-a-pixel) com o algoritmo MAXVER.

3.2 Aplicação da metodologia

Após realização dos experimentos preliminares descritos sucintamente e a definição dos procedimentos técnicos e operacionais, a metodologia foi aplicada na área de estudo dessa pesquisa. A Figura 25 apresenta o esquema das etapas que serão descritas nesse capítulo. Primeiramente foi realizada a classificação baseada em objetos da imagem, gerando um mapa de cobertura da terra da área de estudo. Posteriormente foram selecionadas as variáveis do censo do IBGE para que fosse calculada a medida de correlação entre os dados de cobertura e os dados socioeconômicos.

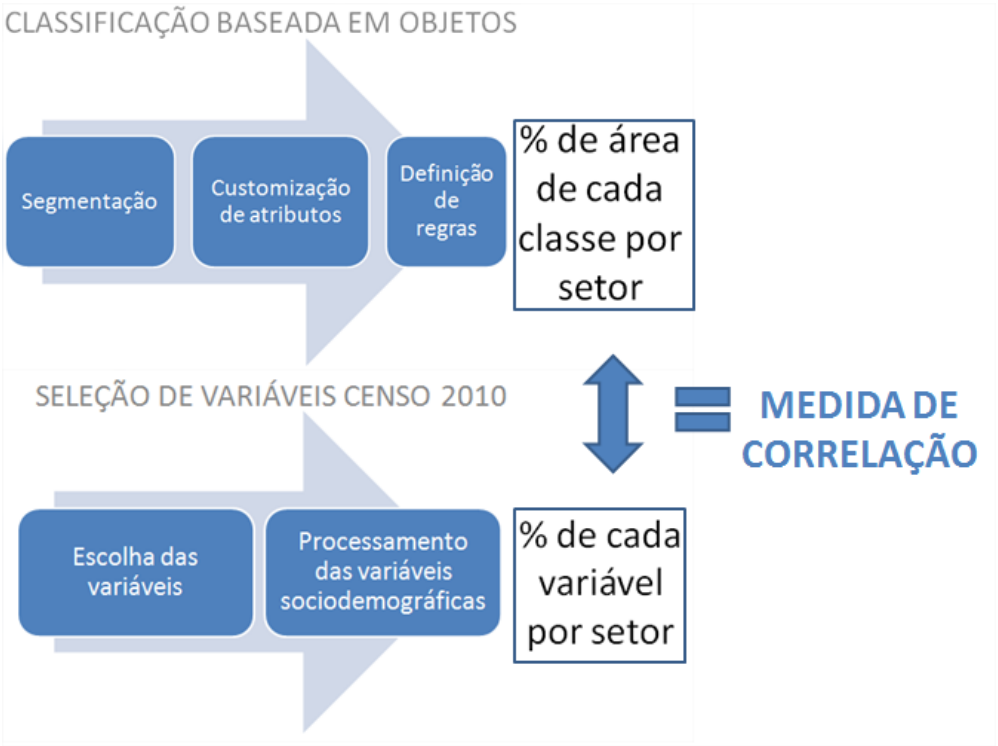


Figura 25 - Esquema do método aplicado.

Na aplicação da metodologia foram utilizados os mesmos programas e malha do setor censitário do experimento de OBIA aplicado em Guarulhos, com exceção da imagem de satélite.

A imagem utilizada é do satélite IKONOS de maio de 2012, ortorretificada e fusionada, com resolução espacial de 1 metro, 4 bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho) e resolução radiométrica de 11 bits, fornecidas por meio do projeto temático da ACQUASED.

3.2.1 Definição da área de estudo

O procedimento foi realizado no distrito Jardim São Luís, localizado na zona Sul do Município de São Paulo, na porção do distrito contida na bacia do reservatório Guarapiranga, onde foram escolhidos 34 setores censitários, conforme Figura 26.

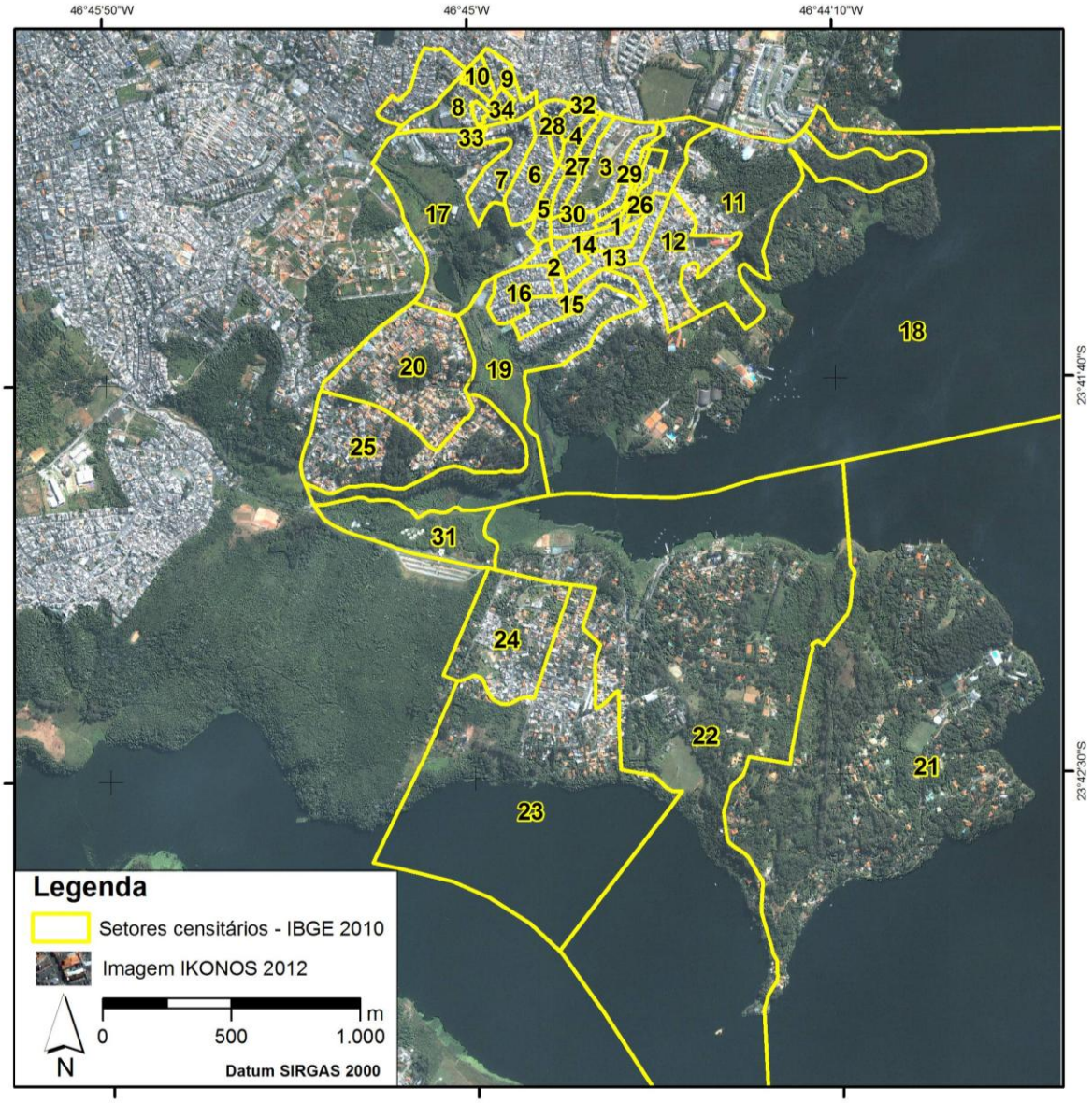


Figura 26 - Setores escolhidos na área de estudo.

Para escolha da área de estudo foram analisados os distritos do Município de São Paulo presentes no entorno do reservatório, na busca de um distrito com ocupação heterogênea, majoritariamente residencial e com malha dos setores censitários com um tamanho viável para aplicação da metodologia dessa pesquisa. Considerando

esses três quesitos, foi escolhido o Distrito Jardim São Luís como área de estudo dessa pesquisa, com uma área total de 9,5 km^2.

Outro fator que contribuiu para a escolha da área de estudo, foi que a mesma compreende a foz no reservatório dos córregos Itupú e Guavirutuba, onde os pontos de monitoramento de qualidade de água da SABESP próximos a essa área, comumente apresentam características de super eutrófico.

3.2.2 Construção da Chave de Interpretação

As classes de cobertura definidas para a área de estudo são: asfalto, vegetação herbácea e arbórea, água, sombra, solo exposto e telhados claro e brilhante, escuro e de cerâmica.

Para Souza (2010) os telhados escuros quando presentes em setores de população de baixa renda podem ser de amianto (fibrocimento), e quando aparecem em setores com população de alta renda, normalmente são de telha de concreto esmaltado.

A partir de trabalhos de campo, conforme pode ser observado na Figura 27, foi possível constatar que os telhados de coloração escura na área de estudo são predominantemente de telhas de fibrocimento.

Figura 27 - Imagem da cobertura das residências no distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Já os telhados claro e brilhante, normamente ocorrem em setores de população de baixa renda, tendo como material o zinco, o alumínio (SOUZA, 2010) ou podendo ser uma laje.

Para essas classes foi adaptada a chave de interpretação elaborada por Pinho (2006), devido às especificidades da área de estudo, conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Chave de interpretação das classes de cobertura.

Classe	Composição RGB 321	Composição RGB 432	Localização/ Contexto	Forma/Tamanho e Textura
Vegetação arbórea/arbustiva			Localizada dentro de quadras e suas copas cobrem parcialmente ou totalmente algumas ruas.	Possui textura rugosa, com variação no tamanho dos elementos texturais, dependendo do tipo de árvore.
Vegetação herbácea			Localizada dentro de quadras.	Textura pouco rugosa (áreas de gramínea mais densa) a lisa (gramínea menos densa).
Telhado Cerâmica			Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras.	Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular.
Telhado Escuro			Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras.	Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular.
Telhado Claro			Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras.	Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular.
Telhado Brilhante			Ocorre como cobertura de edificações, localiza-se dentro das quadras, podendo ser galpões.	Tamanhos variáveis, porém com forma preferencialmente retangular.
Asfalto			Ocorre em ruas pavimentadas e em estacionamentos.	Forma retangular (estacionamentos) e alongada (ruas).

continua

continuação

Classe	Composição RGB 321	Composição RGB 432	Localização/ Contexto	Forma/Tamanho e Textura
Sombra			Ocorre próxima a edificações, árvores e pontes.	Textura lisa, forma e tamanhos variáveis.
Água			Vegetação rasteira nas bordas, áreas ocupadas por rios, lagos, tanques e o reservatório Guarapiranga.	Tamanho variável, textura lisa.
Solo Exposto			Localizado dentro de quadras em novos loteamentos, terrenos inutilizados ou em ruas não pavimentadas.	Forma, textura e tamanhos variados.

Fonte: Adaptado de Pinho (2006).

3.2.3 Segmentação

Primeiramente foram realizados testes de segmentação na imagem IKONOS com as bandas multiespectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) de 1m x 1m de resolução espacial, para verificar os parâmetros de segmentação mais adequados para os alvos ou classes de interesse.

A segmentação consiste em um processo de separação da imagem em segmentos que agrupam pixels com valores similares (de brilho, textura, cor, etc.). O objetivo dessa segmentação é que cada segmento respeite e represente o contorno da feição no “mundo real”.

O programa ENVI EX possui um algoritmo “*edge-based*” para realizar essa segmentação cujo parâmetro é o “*scale*” e seu limiar varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o limiar escolhido, mais generalizados são os segmentos e menor a quantidade dos segmentos.

> O parâmetro scale level é utilizado a partir de uma função densidade de probabilidade normalizada (*Cumulative Distribution Function* - CDF) dos valores da imagem gradiente, determinando o percentual de valores mais baixos que serão descartados (CAMPOS et al., 2013, p. 8038).

Outro processo que pode ser utilizado opcionalmente na segmentação é o "*merging segments*", o qual agrega segmentos pequenos em áreas maiores e similares. Esse processo funciona do mesmo modo que o "*scale*", o seu limiar varia de 0 a 100, quanto maior o parâmetro escolhido mais generalizados são os segmentos e menor a quantidade dos segmentos. A utilização do parâmetro "*scale*" e "*merge*" são exemplificados na Figura 28.

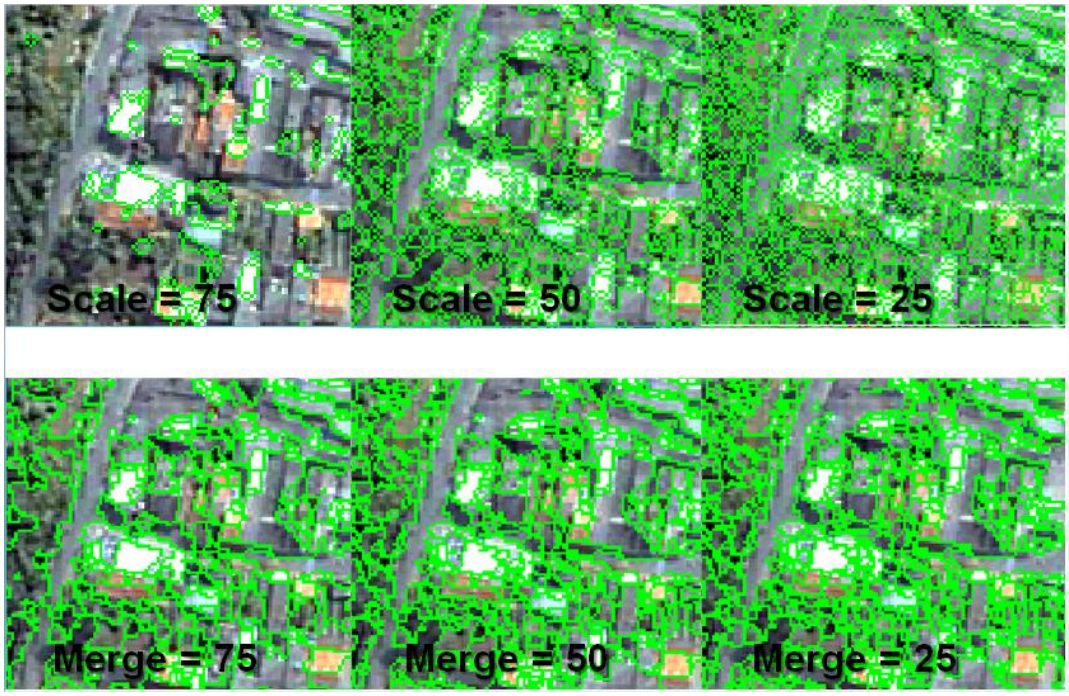


Figura 28 - Exemplo da utilização de diferentes parâmetros de "*scale*" e "*merge*".

Ao final do teste, verificou-se que para gerar objetos das classes de interesse o melhor parâmetro para a segmentação da imagem no programa ENVI EX foi o de 35 para "*scale*" e 35 para "*merge*", mesmo tendo gerado um tamanho pequeno de segmentos.

3.2.4 Customização de Atributos

Além dos 22 atributos presentes no programa, tanto espectrais, espaciais e de textura, foram customizados mais 25 atributos por meio de razão de bandas (por exemplo, razão da banda 3 sobre a banda 1 e NDVI), utilização de arquivos vetoriais (base de ruas), análise de principais componentes (*Principal Components Analysis* - PCA), indicador de solo e de sombra e geração de HSI (*Hue* = matiz, *Saturation* = saturação e *Intensity* = intensidade).

A análise dos principais componentes é uma transformação matemática utilizada para reduzir a correlação existente entre as bandas dos sensores multiespectrais, onde são geradas novas bandas, chamadas de componentes principais = CP, não correlacionadas (CRÓSTA, 1992). As três primeiras componentes principais geradas apresentaram maior relevância para a possível utilização na classificação.

Os indicadores de solo e sombra foram implementados por Nobrega et al. (2006) e utilizados em Nobrega, O´Hara e Quintanilha (2006) e Nobrega (2007). O indicador de sombra (ISOMB) utiliza a diferença de brilho entre a banda do azul e o CP1 (ISOMB= µAZUL – µCP1) e o indicador de solo exposto (ISOLO) utiliza a combinação entre o CP3 e a banda do azul (ISOLO= µCP3 * µAZUL / -100000).

Para Crósta (1992) e Fonseca (2000) o sistema HSI apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB e se aproxima mais do sistema visual. Esses atributos significam:

> **Matiz** de um objeto é a medida de comprimento de onda médio da luz que ele reflete ou emite, definindo portanto a cor do objeto. **Intensidade** é a medida da energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo portanto responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho. **Saturação**, ou pureza, expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio no qual a energia é refletida ou transmitida; um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda, que irá produzir tons-pastéis (apagados) (CRÓSTA, 1992, p. 64, grifo nosso).

Outros estudos como de Pinho (2006) e Alves e Vergara (2005) optaram por trabalhar com o modelo de representação de cores HSI ao invés de RGB, pela aproximação da percepção humana das cores.

O cálculo da razão de bandas teve como objetivo realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, onde o resultado é um raster em que os extremos, branco ou preto da distribuição de níveis de cinza, representam as maiores diferenças de reflectância entre as duas bandas. Nesse processamento:

> A divisão é feita pixel-a-pixel entre duas bandas e, quando o DN do denominador da divisão é maior do que o numerador, o resultado é menor do que 1, dando um resultado que será obviamente representado por um pixel escuro, ao contrário, quando o numerador for maior que o denominador, a divisão será maior do que 1, dando um pixel claro no resultado (CRÓSTA, 1992, p. 88).

Outra divisão realizada foi a geração do NDVI (*Normalized Diference Vegetation Index*), - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (equação 1) cujo cálculo envolve as bandas do vermelho e infravermelho próximo:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

Onde:
NIR=infravermelho próximo
R= vermelho (1)

O método de classificação utilizado foi OBIA, por meio de um conjunto de regras para cada feição, ou seja, cada classe. A construção dessas regras baseia-se no conhecimento humano para interpretar determinada feição, podendo ser a resposta espectral, forma, tamanho, textura, contexto, entre outras características do alvo de interesse.

Para auxiliar a classificação da classe “asfalto” e diminuir a confusão com a classe “telhado escuro”, o arquivo vetorial de base de ruas foi primeiramente transformado em raster (com 1 metro de resolução espacial), e inserido no programa como arquivo auxiliar, sendo gerado para essa banda pixel com valor de 0 ou 1.

3.2.5 Definição das Regras

Para cada classe foram analisados os melhores atributos e seus limiares para que fosse possível diferenciar a feição e classificá-la automaticamente na classe correta. Para isso, é importante o conhecimento das características do alvo de interesse, seu

comportamento espectral nas bandas do espectro eletromagnético, características espaciais e geométricas, textura, localização, entre outras.

Para testar os atributos e limiares para a classificação de cada classe, foram realizados os testes em uma área menor de 0,16 km^2 que possuía todas as classes, otimizando o tempo de processamento e análise. Posteriormente, as regras definidas para essa área menor foram aplicadas na área de estudo.

Primeiramente foram analisadas as características da imagem do satélite IKONOS. A imagem contém bandas: azul (0.45 - 0.52 µm[21]), verde (0.52 - 0.60 µm), vermelho (0.63 - 0.69 µm) e infravermelho próximo (0.76 - 0.90 µm).

Com essa informação, para cada classe de cobertura foi analisada a respectiva assinatura espectral e a possibilidade de inserção de dados auxiliares e outros atributos que poderiam auxiliar na definição de regras para a realização da classificação baseada em objetos.

O programa ENVI EX possui uma funcionalidade, observada na Figura 29, de espacialização de seus atributos em níveis de cinza, dessa forma, essa ferramenta permite ao usuário verificar a relevância da aplicação de determinado atributo como uma regra de classificação do alvo de interesse.

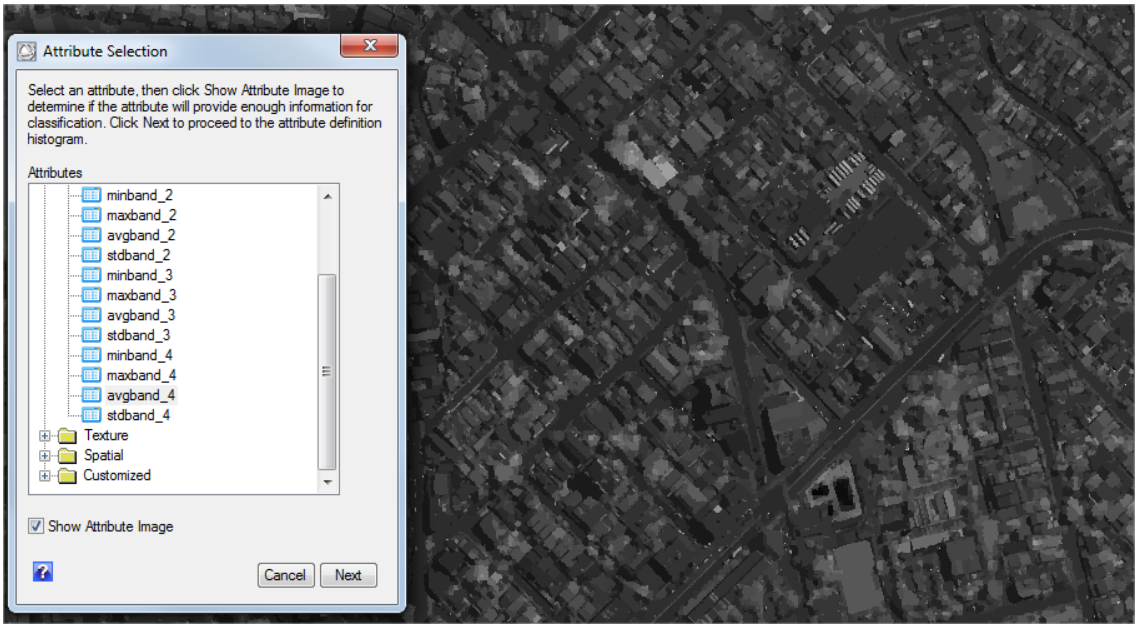


Figura 29 - Exemplo de ferramenta do ENVI EX para espacializar os atributos na imagem.

[21] O comprimento de onda é expresso em submúltiplos do metro, "normalmente em nanômetro (1 nanômetro é igual a um milésimo de milionésimo de 1 m, equivalendo 10^{-9} m) ou micrometros (1 µm= 10^{-6} m)" (SOUZA, 2010, p. 117).

Após a constatação das características de cada classe, leitura e análise de estudos similares e com a verificação do comportamento do alvo de interesse com a ferramenta de espacialização dos atributos, são apresentados a seguir a análise do comportamento espectral de cada classe e os atributos escolhidos. Os atributos e limiares definidos e utilizados nas regras de classificação para cada classe no programa ENVI EX constam no apêndice A.

A classe "**água**", segundo Novo (2011), em seu estado líquido apresenta baixa reflectância entre 0,38 µm e 0,70 µm (região do visível), absorvendo toda radiação a partir de 0,7 µm.

Souza (2010) aponta que a maior reflectância da água pura é na região visível (0,4 - 0,5 µm), ou seja, na banda do azul do satélite IKONOS, sendo que há maior absorção de energia conforme aumento do comprimento de onda.

Para classificar o elemento piscina, Pinho, Kux e Almeida (2005), Pinho (2006) e Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) utilizaram a razão da banda 3/1(vermelho/azul). Já Souza (2010) e Souza e Rodrigues (2011) utilizaram a razão da banda 1 (azul) para classe piscina e Ribeiro (2010) utilizou essa razão para classificar tanto córrego como piscina.

Araújo (2006) para classificar piscinas utilizou a razão da banda 1 (azul) e NDVI e Novack (2009) utilizou a razão da banda 2 (verde) para a mesma classe.

Dessa forma, para a classe "água" nesta pesquisa foram utilizadas a média da razão da banda 1 (azul) e da banda 2 (verde), além de valores baixos de NDVI e a média da razão da banda vermelho com a azul (3/1).

A classe **"sombra"** tem alta absorção de radiação e por isso se destaca principalmente pelo baixo brilho em todas as bandas, sendo esse último o atributo mais utilizado para classificar "sombra', como nos estudos de Pinho, Feitosa e Kux (2005), Araújo (2006), Souza (2010) e Souza e Rodrigues (2011).

Pinho (2006) além do baixo brilho, utilizou o atributo com valor da média da banda do infravermelho próximo e Ribeiro (2010) utilizou entre outros atributos a média da banda 1 (azul) e 4 (infravermelho).

Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) utilizaram a razão da banda do verde com azul (2/1) para classificar sombra. Nobrega et al. (2006), Nobrega, O´Hara e Quintanilha (2006) e Nobrega (2007) utilizaram o indicador de sombra.

Nesse experimento, para classificação da classe “sombra” foram utilizados os atributos de média da banda do infravermelho próximo, indicador de sombra customizado a partir de Nobrega et al. (2006), a média da razão da banda do verde com a banda do azul (2/1) e a média da banda 1 (azul).

Para a classe **“asfalto”,** Novo (2011) demonstra suas características espectrais com reflectância baixa até 0,4 µm e crescente a partir disso. Desse modo, o asfalto tem reflectância maior na banda do vermelho e infravermelho próximo do satélite IKONOS. Outra opção de criação de regras para definição da classe “asfalto” é a utilização de um arquivo auxiliar com o sistema viário ou atributos espaciais de forma linear e retilínea.

A utilização da camada de sistema viário no processo de segmentação e classificação contribuiu para a diminuição da confusão da classe asfalto com telhado escuro nos estudos de Neubert e Meinel (2005), Araújo (2006), Kux, Novack e Fonseca (2009), Ribeiro (2010) e Ribeiro, Fonseca e Kux (2011).

Pinho (2006) e Carvalho (2011) utilizaram como regra da classe asfalto o valor de NDVI e Ribeiro (2010) utilizou o atributo de média da banda do vermelho, sendo ambos os estudos utilizando OBIA.

No ENVI EX utilizando a ferramenta de espacialização de atributos foi possível observar que o alvo asfalto aparece bem delimitado no atributo CP1, conforme Figura 30.

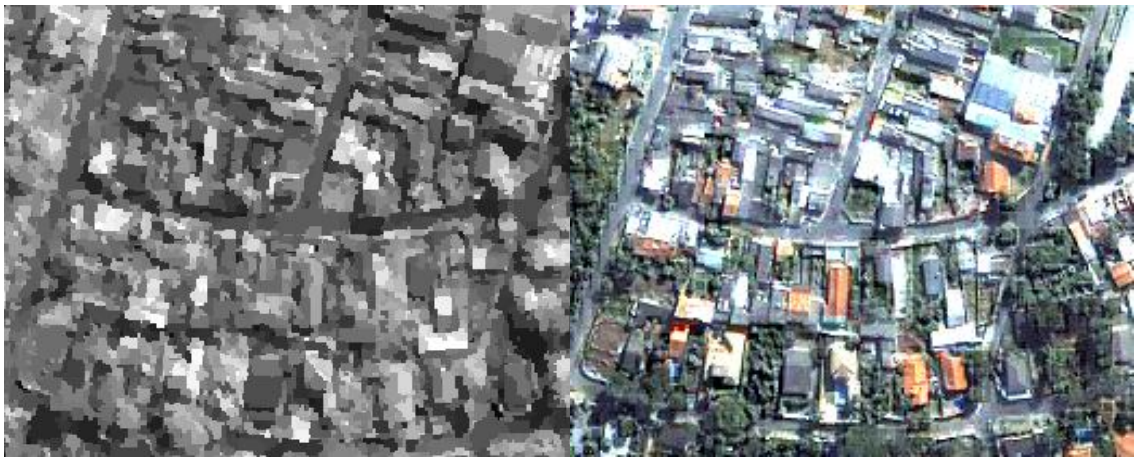


Figura 30 - Exemplo da reflectância dos objetos de asfato no componente principal 1.

Nesse experimento, os atributos escolhidos para definição da classe “asfalto” foram: NDVI, a componente principal 1 (CP1) e a sobreposição do raster de base de ruas, este último para diminuir a confusão com a classe telhado escuro.

Na classe **“telhado escuro”,** Novo (2011) explica que devido à presença de concreto na composição do mesmo, seu comportamento é muito parecido com o asfalto, mas apresenta absorção em 0,38, entre 0,6 e 0,8 e em 1,1 µm, além de sua forma retangular. O atributo de contexto de não sobreposição ao arquivo auxiliar com o sistema viário foi utilizado por Pinho (2006), que partiu do princípio de que só haveria edificações com cobertura de concreto/amianto escuro dentro das quadras, e que os objetos da classe asfalto estariam restritos às ruas.

Na classificação de telhado escuro, Pinho (2006) e Carvalho (2011) utilizaram como regra valores de NDVI, Ribeiro (2010) utilizou o limiar da média da banda do azul e Novack (2009) utilizou o menor valor da banda do azul.

O indicador de solo de Nobrega et al. (2006) e o CP1 foram escolhidos a partir da visualização da ferramenta de espacialização de atributos do ENVI EX.

Dessa forma, os atributos escolhidos para a classe “telhado escuro” foram: o valor de NDVI, bem como a média e o mínimo da banda do azul, o indicador de solo, a CP1 e a não sobreposição do segmento ao raster da base de ruas, este último para diminuir a confusão com a classe asfalto.

Para a classe **“telhado claro”** foi observada uma maior reflectância na região visível (0,4 - 0,5 µm), ou seja, na banda do azul. Pinho, Feitosa e Kux (2005) e Souza

(2010) comentaram sobre o comportamento da classe telhado claro que apresenta alta resposta espectral (brilho) nos canais do visível.

A média da banda do azul foi utilizada como atributo por Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) para classificar telhado claro. Como pode ser observado na Figura 31, a ferramenta de espacialização de atributos do ENVI EX demonstra que os telhados claros possuem alta reflectância no CP1.

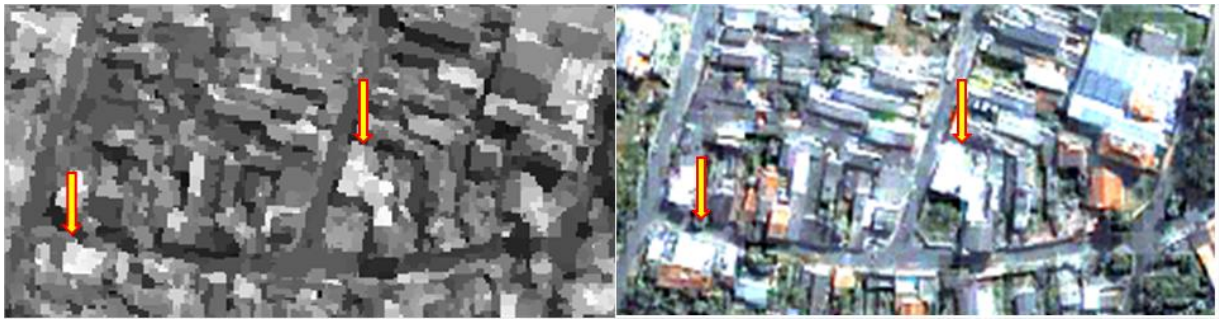


Figura 31 - Exemplo de alta reflectância dos telhados claros no componente principal 1.

Para a classificação da classe “telhado claro” foram escolhidos os atributos de mínimo da banda do azul e média do CP1

Para a classe **“telhado brilhante”**, por ter um comportamento semelhante ao telhado claro, foram utilizados os mesmos atributos: mínimo da banda do azul e média de CP1, mas com limiares diferentes, como pode ser observado no apêndice A.

Para as classes de vegetação, tanto **“herbácea”** como **“arbustiva”** é importante salientar que seu comportamento espectral varia de acordo com o ciclo vegetativo, tipo de cultura, ângulo de visada, dossel, entre outros.

De acordo com Souza (2010) e Novo (2011) na porção do visível (0,4 – 0,7µm) a reflectância é baixa devido à alta absorção da radiação pelos pigmentos da planta e de 0,7 a 1,3µm a reflectância é alta, devido à estrutura do mesófilo da planta. Araújo (2006) afirma sobre o comportamento espectral da vegetação, que possui alta reflectância na banda do vermelho e infravermelho próximo.

O alto valor de NDVI também é uma das características da vegetação, sendo um dos índices mais comumente utilizados. Pinho, Feitosa e Kux (2005), Antunes e Sturm (2005), Pinho, Kux e Almeida (2005), Neubert e Meinel (2005), Araújo (2006), Pinho (2006), Nobrega (2007), Ribeiro, Fonseca e Kux (2011), Souza (2010) e Souza e Rodrigues (2011) utilizaram no desenvolvimento de seus experimentos os

altos valores de NDVI como regra na classificação baseada em objetos da classe vegetação.

Outro atributo muito utilizado é a média da banda do verde para classificar vegetação arbórea e rasteira, como observado nos estudos de Pinho (2009), Ribeiro (2009), Novack (2009), Souza (2010) e Souza e Rodrigues (2011).

Para a definição de ambas as classes de vegetação foram utilizados, com limiares diferenciados, os atributos do NDVI e a média da banda do verde.

A classe "**telhado cerâmica**" apresenta alta reflectância na banda do vermelho e maior absorção nas bandas do azul e do verde, além de sua forma retangular. Araújo (2006) observou o comportamento do telhado de cerâmica e utilizou como regra da classificação baseada em objetos, sua alta reflectância na banda do vermelho. Pinho, Ummus e Novack (2009) em estudo sobre o espectro de 8 tipos de telhas, concluíram que o telhado de cerâmica padrão possui os maiores valores de reflectância a partir do infravermelho próximo.

Pinho, Kux e Almeida (2005), Pinho (2006), Kux, Novack e Fonseca (2009), Ribeiro (2010), Souza (2010) e Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) utilizaram a média da razão da banda do vermelho com a banda do azul (3/1) para classificar telhados de cerâmica.

Para definição da classe "telhado cerâmica", foram utilizados os atributos de média da razão da banda do vermelho com a banda do azul (3/1), CP3 e NDVI (atributo band ratio do ENVI EX).

Esse conjunto de regras, presentes no apêndice A, foi utilizado na classificação automática da imagem, gerando posteriormente no programa ENVI EX os arquivos vetoriais com o resultado da classificação, apresentada na Figura 32. A classe solo exposto presente na figura foi editada manualmente.

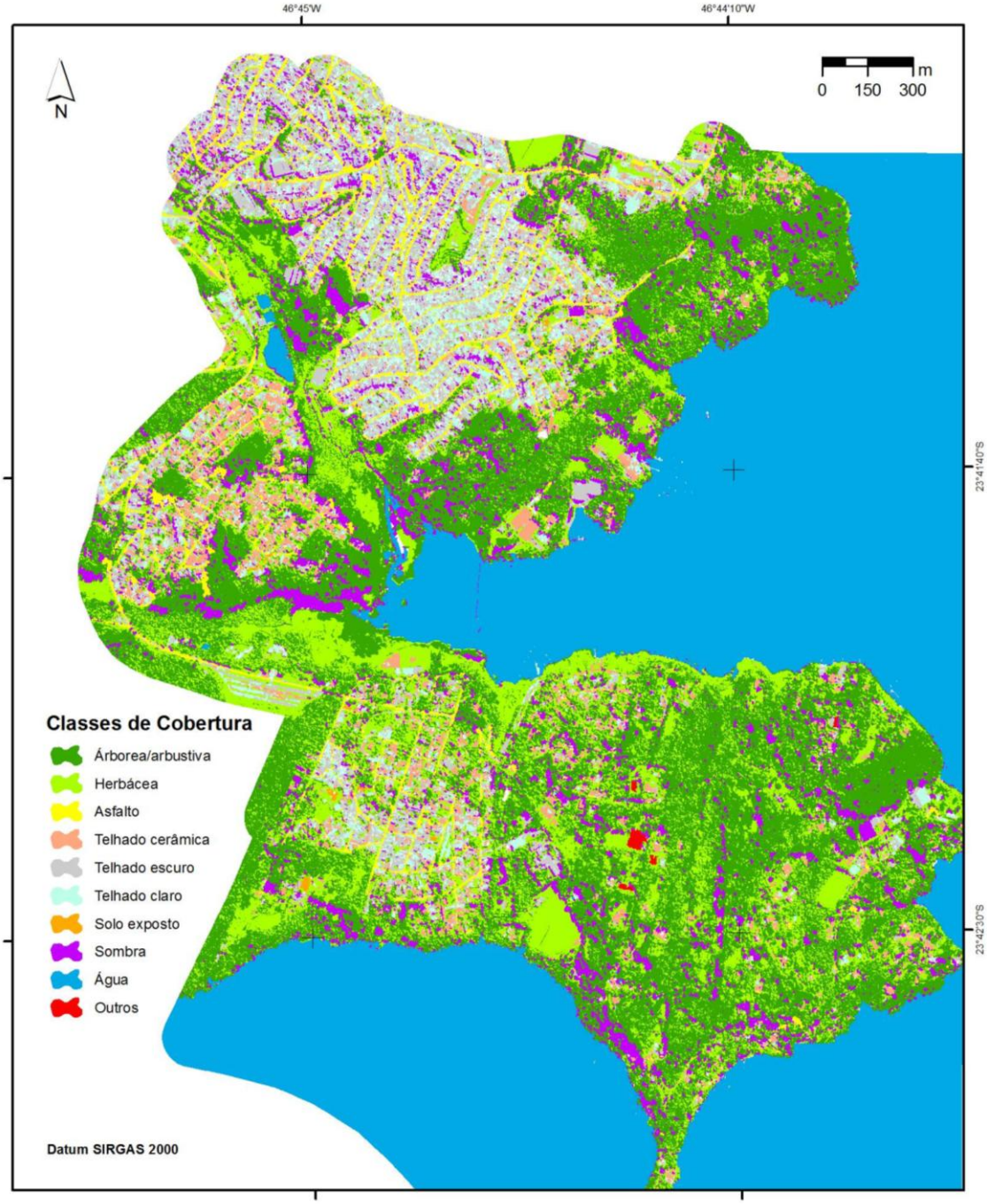


Figura 32 - Classificação da cobertura da terra da área teste.

3.2.6 Sistematização dos Dados do Censo

Outro processamento utilizado nesta pesquisa baseou-se nos princípios da cartografia dasimétrica, onde, com informações auxiliares, foi realizado um

refinamento dos setores censitários buscando a real localização de determinada informação.

Quando os mapas eram produzidos manualmente o processo de criação de mapas dasimétricos era tedioso, mas o avanço dos SIG com ferramentas de análise espacial trouxe agilidade para o uso dessa técnica (SLOCUM et al., 2004).

O termo “dazimetrichesky” é originado da junção das palavras russas “medida” e “densidade” (DUTENKEFER, 2010). O método dasimétrico é definido como um processo de desagregação da informação espacial em menores unidades de análise, que com o ajuda de um dado auxiliar mostra a localização da população ou de outro fenômeno (BARROZO et al., 2011)

No caso dos dados censitários, por exemplo, para medir a densidade demográfica de um setor, o refinamento feito para cálculo da área residencial excluiu áreas não residenciais (cursos d’água, parques, galpões, etc.).

Assim, o cálculo da densidade não é feito considerando toda a área do polígono original do setor censitário, mas apenas as áreas que estão efetivamente ocupadas (MORATO; KAWAKUBO; PÉREZ MACHADO, 2011), como exemplificado na Figura 33.

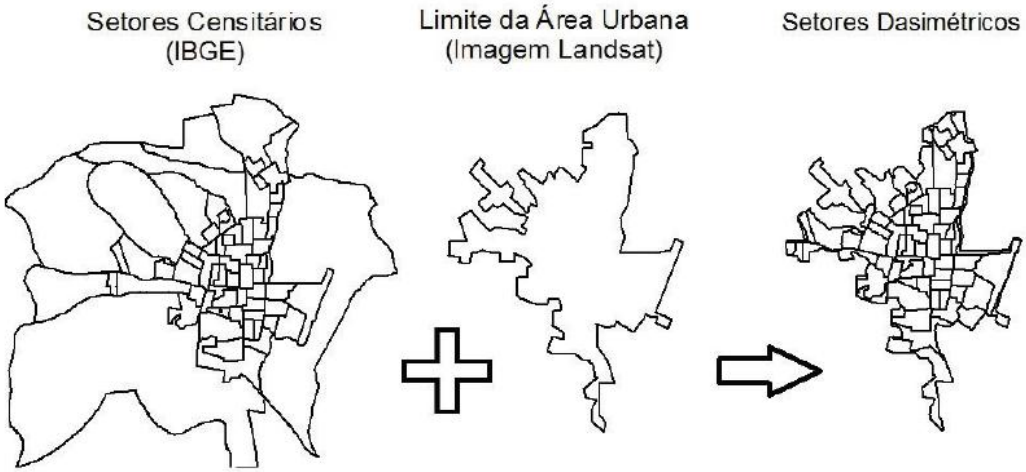


Figura 33 - Operação realizada para obtenção da área efetivamente urbanizada dos setores censitários. Fonte: Morato, Kawakubo e Pérez Machado (2011, p. 1603).

Exemplificando a utilização dessa técnica na área de estudo, a Figura 34 contém o limite oficial do setor censitário do IBGE e o limite do novo setor dasimétrico. Para o cálculo da densidade demográfica foi considerada apenas a área residencial do

setor, já que a partir de trabalho de campo foi constatado que o imóvel no centro do setor corresponde a uma igreja.

Figura 34 - Exemplo do novo limite do setor censitário após aplicação da dasimetria.

Utilizando técnicas de dasimetria foi desconsiderada a parte do reservatório presente nos setores censitários, para que essa área significativa não prejudicasse o resultado do cálculo a densidade demográfica dos setores.

Após concluída a verificação visual da qualidade da classificação, com a ferramenta “Tabulate Area” do programa ArcGIS foi calculada a porcentagem de cobertura de sombra, asfalto, telhados (escuro, claro e de cerâmica) vegetação (arbórea/arbustiva e herbácea), água e solo exposto para cada setor censitário e realizada a edição e estruturação desse resultado em uma planilha, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de área (em %) de cada classe de cobertura por setor censitário

Código do Setor	Sombra	Asfalto	T.Escuro	T.Claro	T.Cerâm.	Árborea	Herbácea	Água	Solo
355030843000106	16,9%	15,6%	43,3%	9,3%	4,0%	5,3%	5,6%	0,1%	0,0%
355030846000110	9,3%	15,8%	39,7%	16,5%	8,5%	3,1%	6,9%	0,1%	0,0%
355030846000111	6,0%	9,6%	48,6%	27,9%	6,6%	0,3%	0,7%	0,4%	0,0%
355030846000112	1,6%	14,2%	40,9%	27,1%	5,7%	2,9%	7,6%	0,1%	0,0%
355030846000113	8,1%	13,1%	45,2%	22,5%	4,7%	1,6%	4,7%	0,1%	0,0%
355030846000114	17,6%	22,6%	42,9%	12,5%	2,0%	0,6%	1,2%	0,6%	0,0%
355030846000115	6,2%	27,3%	39,7%	16,6%	3,5%	2,2%	4,6%	0,0%	0,0%
355030846000116	8,5%	14,1%	50,3%	17,6%	3,3%	2,0%	4,2%	0,1%	0,0%
355030846000117	13,4%	19,3%	44,3%	12,4%	2,9%	3,1%	4,2%	0,5%	0,0%
355030846000118	11,8%	12,9%	43,1%	16,0%	4,6%	7,0%	4,2%	0,4%	0,0%
355030846000119	16,9%	20,6%	33,6%	12,5%	3,2%	7,9%	4,9%	0,3%	0,0%
355030846000120	14,0%	19,6%	43,9%	14,3%	3,6%	2,6%	2,0%	0,0%	0,0%
355030846000156	7,8%	10,4%	27,3%	15,1%	9,0%	13,1%	17,2%	0,1%	0,0%
355030846000157	6,9%	13,2%	30,4%	17,3%	11,7%	6,9%	13,5%	0,1%	0,3%
355030846000158	4,2%	11,5%	42,5%	27,4%	6,8%	1,5%	5,9%	0,2%	0,0%
355030846000159	1,7%	11,7%	43,0%	37,6%	2,7%	0,7%	2,3%	0,3%	0,0%
355030846000160	10,6%	15,8%	43,0%	21,5%	4,4%	1,6%	3,0%	0,2%	0,0%
355030846000161	6,7%	14,5%	49,7%	20,6%	6,1%	0,5%	1,7%	0,2%	0,0%
355030846000162	11,5%	16,8%	41,9%	13,5%	9,6%	2,4%	4,2%	0,2%	0,0%
355030846000206	9,7%	14,5%	40,5%	21,0%	6,5%	2,3%	5,4%	0,1%	0,0%
355030846000207	9,1%	8,2%	14,3%	8,1%	27,5%	12,9%	19,9%	0,0%	0,0%
355030846000241	12,4%	1,0%	2,1%	1,2%	6,0%	45,7%	31,3%	0,2%	0,0%
355030846000242	11,4%	2,5%	6,8%	3,4%	10,0%	31,9%	33,8%	0,1%	0,0%
355030846000243	9,2%	7,6%	17,6%	9,8%	12,2%	15,3%	28,2%	0,1%	0,3%
355030846000244	7,1%	6,1%	15,3%	10,3%	7,6%	18,5%	35,2%	0,1%	1,1%
355030846000245	15,2%	11,4%	17,1%	6,8%	16,5%	16,5%	16,4%	0,1%	0,6%
355030846000314	5,8%	20,6%	37,5%	29,2%	5,7%	0,4%	0,6%	0,3%	0,0%
355030846000315	12,9%	16,3%	50,7%	14,4%	2,4%	0,7%	2,6%	0,1%	0,0%
355030846000316	14,8%	33,5%	41,6%	8,3%	1,3%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%
355030846000324	9,3%	14,6%	38,5%	27,5%	5,3%	1,3%	3,5%	0,0%	0,0%
355030846000333	13,3%	14,7%	48,0%	20,1%	2,3%	0,4%	1,2%	0,1%	0,0%
355030846000360	14,7%	15,8%	47,1%	16,6%	2,8%	0,5%	0,7%	1,8%	0,0%
355030846000376	6,5%	8,9%	56,6%	20,3%	6,3%	1,1%	0,1%	0,1%	0,0%
355030846000377	17,7%	18,1%	48,7%	11,7%	0,9%	0,7%	1,6%	0,6%	0,0%

As variáveis do censo de 2010 escolhidas para verificar a correlação com os dados de cobertura foram:

- Número de domicílios particulares permanentes: quantidade de locais estruturalmente separados e independentes que se destinam a servir de habitação a

uma ou mais pessoas, ou que estejam sendo utilizados como tal na data de referência (noite de 30 de julho para 1º de agosto de 2010) (IBGE, 2011b);

- População em domicílios particulares permanentes: moradores em domicílios, ou seja, pessoa que tinha o domicílio como local de residência habitual e que, na data de referência, estava presente ou ausente por período que não tenha sido superior a 12 meses (IBGE, 2011b);

- Média do número de moradores em domicílios particulares permanentes: resultado da divisão de população pelo número de domicílios;

- Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água pela rede geral (IBGE, 2011b);

- Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água por poço ou nascente na propriedade onde estava construído (IBGE, 2011b);

- Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial, com canalização das águas servidas e dos dejetos provenientes do banheiro ou sanitário ligada a um sistema de coleta que os conduza a um desaguadouro geral da área, região ou município, mesmo que o sistema não disponha de estação de tratamento da matéria esgotada (IBGE, 2011b);

- Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário do tipo fossa séptica: quando a canalização do banheiro ou sanitário estava ligada a uma fossa séptica, ou seja, a matéria era esgotada para uma fossa próxima, onde passava por um processo de tratamento ou decantação, sendo, ou não, a parte líquida conduzida em seguida para um desaguadouro geral da área, região ou município (IBGE, 2011b);

- Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário do tipo fossa rudimentar (fossa negra, poço, buraco, etc.) (IBGE, 2011b);

- Domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário do tipo vala ou corpo d’ água: quando o banheiro ou sanitário estava ligado diretamente a uma vala a céu aberto ou diretamente a um rio ou lago (IBGE, 2011b);

- Número de banheiros nos domicílios particulares permanentes de uso exclusivo dos moradores;
- Domicílios particulares permanentes com lixo coletado diretamente por serviço de limpeza ou colocado em caçamba de serviço de limpeza (IBGE, 2011b);
- Domicílios particulares permanentes com energia elétrica (IBGE, 2011b);
- Domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia distribuidora e sem medidor para registro do consumo de energia (IBGE, 2011b);
- Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade: considerou-se como alfabetizada a pessoa capaz de ler e escrever um bilhete simples no idioma que conhecesse (IBGE, 2011b);
- Rendimento nominal mensal: a soma do rendimento nominal mensal de trabalho com o proveniente de outras fontes da pessoa de 10 anos ou mais de idade, responsável pelo domicílio particular permanente (IBGE, 2011a);
- Rendimento total do domicílio: a soma dos rendimentos mensais dos moradores da unidade domiciliar, sem contabilizar os moradores com menos de 10 anos de idade ou empregados (IBGE, 2011a).

Com o programa ArcGIS foi calculada a área de cada um dos 34 setores censitários editados com os conceitos da cartografia dasimétrica, que juntamente com a variável do Censo de população em domicílios particulares permanentes, resultou na densidade demográfica de cada setor.

Essas variáveis escolhidas do Censo de 2010 foram processadas e organizadas em uma planilha, conforme apêndice B.

3.2.7 Correlação dos Dados

A planilha completa com os dados processados das variáveis demográficas (apêndice B) e a porcentagem de cada classe de cobertura da terra (Tabela 3) foi inserida no programa SPSS, para o cálculo da correlação entre todas as variáveis da planilha, ou seja, as características socioeconômicas de população (provenientes do

Censo) com as classes de cobertura da terra (provenientes da classificação da imagem) de todos os setores censitários.

Quando o número de amostras é inferior a 30, qualquer descuido na observação da distribuição normal da população pode comprometer a validade do coeficiente da correlação (LEVIN, 1987), por isso nesse experimento foram escolhidos 34 setores censitários.

O coeficiente utilizado foi o de Pearson, onde a correlação é a medida da associação linear entre duas variáveis (X, Y) que resulta em um coeficiente de correlação de -1 a 1, que descreve a relação entre as variáveis.

A correlação entre X e Y pode ser classificada quanto a sua força e sentido. A força da correlação aumenta à medida que os pontos, em um diagrama de dispersão, se agrupam em uma linha reta imaginária. Quanto ao sentido, pode ser classificada em positiva, quando a variável X e Y possuem reciprocamente escores altos ou baixos (mais próximos de 1 ou -1, respectivamente) ou negativa, quando, por exemplo, a variável X possui escore alto (mais próximo de 1) e a variável Y possui escore baixo (mais próximo de -1) (LEVIN, 1987).

4. Resultados

4.1 (Re)produção do Espaço Urbano

Para compreender a ocupação da APRM Guarapiranga foi necessário retomar a história da própria produção da Região Metropolitana de São Paulo, os processos econômicos, políticos e sociais que influenciaram na estruturação e expansão urbana da metrópole.

A partir do método de análise utilizado nesta pesquisa, das categorias analíticas de Milton Santos (2008), o espaço foi fragmentado em partes para a análise da organização do espaço urbano da bacia. Buscou-se compreender a forma a partir da cobertura da terra, discutir a função predominantemente residencial na bacia e como essas diferentes áreas residenciais se articulam, remontando o processo de produção do espaço urbano.

A luz do método foi possível analisar e discutir as diferentes formas de ocupação da bacia e entender a pressão da expansão urbana e o déficit habitacional na área que contrapõem aos objetivos das políticas de preservação e proteção desse manancial, que visa a manutenção do abastecimento público.

O padrão de urbanização consolidou-se no Município de São Paulo a partir da década de 1940, quando tornou-se o centro industrial do país, com a expansão de indústrias pesadas em substituição às manufaturas têxteis e de alimentos (associada à implantação da produção de automóveis) e ainda, quando o Município recebeu grande fluxo de migrantes.

A atuação da especulação imobiliária na (re)produção do espaço urbano motivou uma disputa por localização dos usos e suas vantagens, sem priorizar a localização das residências em terrenos mais favoráveis para a ocupação, do ponto de vista geológico/geotécnico e ambiental, ação determinante na estruturação das cidades.

Os eixos viários funcionaram como indutores de ocupação da área de mananciais, o crescimento populacional no sentido sul-sudoeste do Município de São Paulo ocorreu ao longo das estradas do M´Boi Mirim (SP-214), de Itapecerica (SP-228), de

Parelheiros e dos trilhos da antiga ferrovia Paulista S/A, originada na Estrada de Ferro Sorocabana (MEYER; GROSTEIN; BIDERMAN, 2004).

Dessa forma, a ocupação urbana na cidade de São Paulo, no princípio se concentrou em uma área com as mais diversas formas de relevo da bacia sedimentar de São Paulo, mas de amplitude altimétrica absoluta relativamente fraca (AB'SÁBER, 2007), em terrenos mais favoráveis para ocupação. Posteriormente, a mancha urbana expandiu para a periferia em terrenos de topografia desfavorável para habitações, em áreas com relevos com constituição geomorfológica diferenciados, com amorreamento progressivo das encostas.

A provisão pública de investimento também tem um papel fundamental nesta estruturação, pois beneficiou as áreas centrais com infraestrutura, diferentemente da periferia, onde a rápida ocupação não foi acompanhada pela oferta de serviços básicos.

A legislação de proteção de mananciais na década de 1970 tentou controlar a ocupação dos mananciais da RMSP, proibindo a implantação de infraestrutura de rede de esgoto e água em áreas próximas dos reservatórios.

Porém mesmo com a proibição de ocupar terrenos em determinadas áreas de forma legal, muitas moradias foram implantadas clandestinamente nestas áreas, sem infraestrutura sanitária, despejando o esgoto no reservatório.

Ações da própria população e/ou do poder público buscam melhorar a infraestrutura nos bairros. Em alguns casos, as obras realizadas geram um aumento no custo de vida local, obrigando as pessoas que não têm condições de pagar por essas melhorias a irem morar cada vez mais longe, expandindo a periferia das cidades e gerando novas periferias localizadas em áreas rurais ou em áreas de preservação, como as áreas de proteção de mananciais.

Foi possível perceber como o território da bacia foi se urbanizando e gerando simultaneamente padrões de ocupação tão divergentes do ponto de vista de infraestrutura básica e de padrão construtivo das residências.

Nas periferias da RMSP existe uma predominância de grupos com menor poder aquisitivo, comprovando intensos processos de segregação, mas é necessário constatar que a periferia é mais complexa do que usualmente se afirma (MARQUES; TORRES, 2004). Até mesmo a comum associação entre pobreza e periferia deve

ser relativizada, devido ao crescimento de condomínios de luxo nas áreas periféricas da metrópole (CALDEIRA, 2000).

Nesta nova configuração, constituem-se dois tipos de segregação: a “auto-segregação”, referindo-se à segregação da classe dominante, e a “segregação imposta”, dos grupos sociais cujas opções de como e onde morar são pequenas ou nulas (CORRÊA, 2004). Nesse processo, as áreas centrais caracterizam-se pela desvalorização dos imóveis residenciais, ainda que providos de infraestrutura.

As alternativas que se colocam para a otimização do uso dessa área central podem implicar em outro conflito, entre a destinação desses imóveis à população menos favorecida das periferias ou à revitalização das áreas centrais por projetos urbanísticos específicos, que alavancariam, também, o valor dos imóveis, destinando-se a um público com maior poder de compra.

Seria um desafio modelar a realidade encontrada na RMSP, a distribuição dos indivíduos e seu reflexo na morfologia das cidades, utilizando os modelos clássicos da estrutura urbana da escola de Chicago. Para Corrêa (2004) esses padrões espaciais devem ser vistos como possibilidades teóricas, já que na realidade urbana a existência de um modelo não exclui o outro, podendo os modelos, conviver entre si na configuração do mesmo espaço urbano.

É importante ressaltar que nas periferias, como na área de estudo dessa pesquisa, os espaços são heterogêneos e possuem acesso a equipamentos públicos e necessidades diferenciadas (MARQUES; TORRES, 2005). O conhecimento dessas demandas é essencial para o planejamento e gestão da bacia.

4.2 Método de Classificação da Imagem

A classificação da imagem do satélite IKONOS utilizando a metodologia de classificação baseada em objetos mostrou-se interessante por demandar a necessidade de buscar o conhecimento teórico sobre os alvos de interesse, seu comportamento espectral e das características da imagem do satélite IKONOS. O tempo de leitura e revisão bibliográfica foi significativo.

Para encontrar o limiar da segmentação utilizado nesta classificação foram realizados diversos testes. Antunes e Duarte (2012) revelam que o procedimento de segmentação deve ser interativo e empírico, já que depende da aplicação e das características do satélite e ainda da aproximação dos objetos com as feições da superfície que se quer classificar.

Foram testados parâmetros de segmentação onde, por exemplo, o segmento coincidisse com o contorno do telhado, para que fosse possível utilizar atributos de forma (por exemplo, retangular) ou área (por exemplo, maior que 10) nas regras de classificação. No entanto, quando a segmentação era muito generalizada, um mesmo segmento englobava os elementos asfalto e telhado de cimento amianto.

Com o objetivo de não manter em um objeto elementos que apesar de serem semelhantes espectralmente são semanticamente diferentes, optou-se por ter vários segmentos em um mesmo objeto.

Essa escolha inviabilizou a utilização de atributos baseados em textura, forma e tamanho, ao mesmo tempo em que aumentou a necessidade de buscar arquivos auxiliares que considerassem os atributos de cor, localização e contexto, como a geração de principais componentes, HSI, razão de bandas e a utilização do vetor do sistema viário.

Para a construção das regras da classificação foi necessária a leitura de pesquisas realizadas utilizando OBIA, apreender sobre o comportamento espectral das classes e descobrir novos possíveis "*input*" (dados de entrada), como razão de bandas, vetores auxiliares, entre outros que poderiam servir de atributos para a classificação.

Entre os "*inputs*" podemos destacar a importância do uso do sistema viário para solucionar a confusão tão comum do asfalto com a classe telhado escuro/cimento amianto.

Pinho, Feitosa e Kux (2005), Kux, Novack e Fonseca (2009), Ribeiro (2010) e Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) também utilizaram a base de ruas para diminuir a confusão na classificação e segmentação entre as classes pavimentação e concreto/amianto escuro e obtiveram sucesso.

Nesse ponto, cabe destacar que é fundamental que os limites do sistema viário estejam atualizados e com o mesmo posicionamento das ruas da imagem, caso contrário é necessário editar o arquivo antes de utilizá-lo.

Ainda, como pode ser observado no apêndice A, os atributos customizados para utilização no programa ENVI EX nesta pesquisa, foram muito utilizados nas regras. Como por exemplo, os componentes principais foram utilizados nas regras de telhado claro, escuro, de cerâmica e na classe asfalto.

Os indicadores de solo e sombra implementados por Nobrega et al. (2006) e utilizados em Nobrega, O´Hara e Quintanilha (2006) e Nobrega (2007) foram úteis nesta pesquisa. O indicador de sombra foi utilizado para classificar sombra e o indicador de solo para classificar a classe telhado escuro, esse último com o intuito de construir uma regra que eliminasse qualquer classe com reflectância similar ao telhado de cerâmica ou ao solo exposto.

As razões de bandas, o NDVI, uma banda dividida por outra ou a razão de determinada banda dividida pela soma de todas as bandas também se mostraram eficientes para a classificação dos alvos de interesse. Com exceção da classe de telhados claros, todas as outras classes utilizaram algum tipo de razão de banda, sendo o NDVI o mais utilizado, demonstrando o potencial na utilização desse índice, não apenas para classificar vegetação, mas também outros tipos de cobertura da terra.

Portanto, em uma classificação baseada em objetos, além de trabalhar com o valor do nível de cinza do segmento, é viável realizar operações aritméticas com as bandas, gerando novos atributos para serem utilizados nas regras. Principalmente em áreas com heterogeneidade de ocupação do espaço urbano, como a área de estudo dessa pesquisa, que apresenta diferentes tipos de cobertura.

A criação da chave de interpretação (Tabela 2) ajudou na definição das classes, na diminuição de subjetividade no momento de avaliar a classificação, além de ser uma importante fonte de consulta para estudos futuros que queiram aplicar a metodologia desenvolvida nesta pesquisa.

A análise digital de imagens da alta resolução demanda computador com espaço em disco e alta capacidade de processamento. A realização de testes iniciais da classificação em uma área menor representou significativo ganho de tempo e processamento.

A utilização da abordagem por regiões ou objetos eliminou o efeito sal e pimenta, comum nas classificações com abordagem pixel a pixel, o que também havia sido

observado na pesquisa realizada por Pinho, Feitosa e Kux (2005), não sendo necessária a realização de procedimento de pós-classificação para eliminar pontos isolados que foram classificados diferentemente de sua vizinhança (FONSECA, 2000).

Referente ao resultado da classificação, podemos afirmar que as classes sombra, arbustiva e herbácea, cimento amianto e asfalto tiveram ótimos resultados na análise visual da imagem comparada com a classificação gerada.

Na tentativa de desenvolver procedimentos automáticos para coleta de informações do espaço urbano, para algumas classes foram necessárias algumas correções manuais conforme explicitado a seguir, para garantir a melhoria na qualidade da classificação e da posterior medida da correlação entre os dados de cobertura da terra e dados do Censo.

Comumente abordada na literatura, na tentativa de resolver a confusão entre o telhado de cerâmica e o solo exposto, foram realizados diversos testes de criação de regras que separassem as duas classes, mas sem sucesso.

Ribeiro, Fonseca e Kux (2011) afirmam que as classes telhado de cerâmica e solo exposto não apresentam boa separabilidade nas classificações de cobertura do solo urbano que utilizam somente imagens orbitais de alta resolução espacial.

Em uma das tentativas buscou-se a separação dessas classes pelo valor de NDVI, já que muitos alvos de solo exposto costumam apresentar gramíneas, o que também não obteve êxito. Isso ocorre porque as telhas cerâmicas também podem possuir valores mais baixos de NDVI, devido à presença de briófitas (um tipo de musgo), como observado nos estudos de Araújo (2006), Pinho (2006), Souza (2010) e Souza e Rodrigues (2011), bem como apresentar confusão com a classe solo exposto devido à predominância de argila na composição das telhas cerâmicas.

Outro agravante na classificação dos telhados de cerâmica são os diferentes estados de conservação do telhado, exemplificado na Figura 35.

Figura 35 - Exemplos de telhado de cerâmica com diferentes estados de conservação. Fonte: Salim (2013).

Devido a pequena quantidade de solo exposto na área de estudo, optou-se por classificar toda a área como telhado cerâmica e posteriormente corrigir manualmente os segmentos de solo exposto (terrenos ou ruas), para garantir a qualidade da classificação para a medição da correlação com os dados do Censo.

Além dessa correção manual, também foi necessário editar manualmente 3 lagos classificados erroneamente como sombra. Foram feitas alterações nos limiares dos atributos, mas as diferentes composições de matéria orgânica presentes em lagos de pesqueiro (Figura 36) e do reservatório (Figura 37) podem ter ocasionado a confusão citada.

Para Novo (2011), o aumento da concentração de matéria orgânica dissolvida na água reduz a reflectância no azul, uma das principais bandas utilizadas na classificação da água.

Figura 36 - Imagem do Pesqueiro Riviera, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Figura 37 - Imagem do reservatório Guarapiranga, visto do Parque Municipal da Guarapiranga, Município de São Paulo. Fonte: Salim (2013).

As quadras esportivas presentes na área de estudo também foram eliminadas manualmente da classificação, pois foram classificadas como telhado de cerâmica, telhado brilhante ou telhado de amianto, dependendo do material/cor da quadra, e poderiam prejudicar a etapa da verificação da correlação.

As classes telhado claro e telhado brilhante por apresentarem heterogeneidade na inclinação e geometria das telhas, apresentaram bastante confusão entre si,

problema também observado nas pesquisas realizadas por Ribeiro, Fonseca e Kux (2011), Novack (2009), Souza (2010). Carvalho (2011), em sua pesquisa, teve baixos índices de exatidão na classificação devido aos diferentes estados de conservação dos telhados metálicos. Para não comprometer a etapa de medição da correlação dos dados, optou-se por reunir as classes telhado claro e brilhante na classe telhado claro.

Apesar das confusões apresentadas na classificação, foi possível avaliar e explorar as informações que podem ser extraídas de forma automática (OBIA) das imagens do satélite IKONOS para caracterização residencial do espaço intra-urbano.

Vale ressaltar que, como apresentado, houve necessidade de utilizar a interpretação visual nas correções manuais, trabalhando dessa forma com uma abordagem híbrida, recurso utilizado na pesquisa de Souza (2010).

4.3 Sistematização dos Dados do Censo

Não há dúvidas que o Censo Demográfico do IBGE fornece valiosas informações sobre a população brasileira. A cada decênio podemos perceber o aumento das variáveis de características da população e dos domicílios que fazem parte da pesquisa, contribuindo cada vez mais para um retrato da sociedade brasileira, do ponto de vista do momento da aplicação e, também das tendências que podem estar se estabelecendo.

A malha de setor censitário nos permite espacializar essas características em uma unidade de análise intra-urbana, permitindo seu cruzamento com outras informações a partir da análise espacial. Dependendo da informação trabalhada, como no caso dessa pesquisa a densidade demográfica, torna-se necessário o processamento e edição dos limites de alguns setores, como foi realizado utilizando técnicas de dasimetria.

Morato (2008) em sua tese sobre a qualidade ambiental do Município de São Paulo observou grandes áreas de vegetação na região Sul e Norte de São Paulo que não

se tratavam propriamente de arborização urbana, mas pesque-pagues ou mata ciliar de mananciais.

Com a dasimetria procurou-se resolver esse impasse, eliminando porções do reservatório Guarapiranga e grandes equipamentos pertencentes ao setor, que causariam ruídos no cálculo da densidade demográfica. Dessa forma, a utilização dessa técnica fez com que a informação de densidade demográfica (habitante/hectare) refletisse de forma mais precisa a realidade do setor, bem como a quantidade das classes de cobertura do setor, contribuindo para o resultado da pesquisa.

Um processamento inicial necessário foi a edição da malha dos setores censitários que, mesmo após ter sido projetado no mesmo *datum* da imagem, SIRGAS 2000, apresentou deslocamentos em diversos sentidos.

4.4 Correlação dos Dados

Os resultados da medida de correlação realizada entre os dados de cobertura da terra e variáveis do Censo estão sistematizadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Matriz de correlação gerada.

Variável do Censo	Sombra	Asfalto	Telhado Escuro	Telhado Claro	Telhado Cerâmica	Arbórea Arbustiva	Herbácea	Água	Solo exposto
Densidade Habitacional	-,056	0,44	,023	,039	,108	-,217	-,146	-,276	-,018
Densidade Demográfica	,046	0,436	0,578	0,406	-0,437	-0,57	-0,622	0,7	-,300
Água - Rede geral	-,068	0,389	0,402	,313	-,102	-0,554	-0,402	,030	,040
Água - Poço	,101	-0,36	-0,344	-,305	,039	0,516	0,353	,010	-,086
Esgoto - Rede geral	,085	,228	0,555	,159	-0,512	-0,442	-0,355	,142	-,017
Esgoto - Fossa séptica	,084	-0,39	-0,64	-0,447	**0,818**	0,532	0,484	-,178	,101
Esgoto - Fossa rudimentar	,076	-0,41	-0,652	-0,467	,142	**0,8**	0,607	-,141	,047
Esgoto - Vala	-,091	-,060	-,039	,091	,068	-,011	,037	-,143	-,063
1 Banheiro	,054	0,603	**0,827**	0,491	**-0,748**	**-0,765**	**-0,77**	0,34	-,246
2 Banheiros	-,222	-0,41	-0,546	-,211	0,671	0,386	0,536	-0,42	,316
3 Banheiros	,079	-0,61	**-0,849**	-0,578	**0,732**	**0,819**	**0,763**	-,226	,183
Lixo coletado	-,035	,144	,271	,158	-,284	-,210	-,214	,134	-,182
Lixo coletado por serviço	-,108	-,180	,029	,062	,121	,031	-,023	,173	-,282
Lixo em caçamba	,106	,185	-,017	-,055	-,132	-,040	,014	-,167	,274
Energia elétrica	-,143	-,277	,177	,108	-,168	-,030	,029	,045	-,235
Energia elétrica s/ medidor	,098	,337	-,073	-,208	-,166	,009	,084	-,089	,333
Pessoas alfabetizadas	,150	-,018	-,306	-,158	,201	,197	,185	-,047	-,021
Renda Mensal do Domicílio	,012	-0,62	**-0,828**	-0,538	**0,72**	**0,821**	**0,745**	-,262	,121
Renda do Responsável	,021	-0,63	**-0,816**	-0,557	0,619	**0,848**	**0,771**	-,257	,085

*As correlações significativas, entre 1 a 0.7 e entre -1 a -0.7, estão destacadas.

É importante frisar que o coeficiente da correlação expressa unicamente o grau de relação estatística entre duas variáveis, mas não indica o porquê dessa relação, sendo trabalho do geógrafo encontrar a explicação, a causa do fenômeno (GERARDI, 1981).

As classes utilizadas no cálculo da correlação foram: sombra, telhado amianto, telhado cerâmica, telhado claro (laje e telhado brilhante), e cobertura herbácea e arbórea/arbustiva.

Apesar de ter sido calculado a correlação, algumas classes de cobertura da terra resultantes da classificação da imagem IKONOS não foram utilizadas na poterior análise de correlação. Como no caso da classe asfalto, os setores onde havia arborização urbana significativa, a classe vegetação sobrepôs o asfalto, aparentando que não haveria asfalto nestas áreas, como por exemplo, na Figura 38.

Figura 38 - Imagem de rua arborizada na Riviera Paulista, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Para a medida da correlação também foram retiradas as classes solo exposto e água por terem sido alteradas manualmente e não estarem presentes significativamente em todos os setores, como pode ser observado na Tabela 3.

A partir da matriz de correlação gerada, foram analisados os coeficientes de correlação, sendo que para essa pesquisa foram considerados relevantes os coeficientes que apresentassem o escore da correlação entre as variáveis X (censo do IBGE) e Y (classes de cobertura da terra) entre -1 a -0.7 e entre 0.7 a 1.

As variáveis do censo de abastecimento de água demonstram que quase a totalidade da área de estudo possui abastecimento por rede geral, sendo que o setor que possui menor taxa de abastecimento apresenta um total de aproximadamente 95% de cobertura da rede.

Já para a variável de domicílios com energia elétrica de companhia distribuidora, 31 setores apresentaram 100% de cobertura desse serviço e apenas 3 setores possuem 99% dos domicílios conectados à rede de energia elétrica.

O mesmo acontece com a coleta de lixo[22] por serviço de limpeza, onde apenas 2 setores censitários apresentaram 99% dos domicílios com coleta, sendo o restante com 100%. Dessa forma, essas variáveis do censo não apresentaram correlação com as classes de cobertura, já que ocorrem na totalidade dos setores.

Para Cunha e Oliveira (2001) os serviços de água e luz estão praticamente universalizados no estado de São Paulo, ao contrário da coleta de esgoto. Outro ponto importante é que nas informações sobre o serviço de esgoto nos levantamentos censitários existe uma tendência em superestimar a real cobertura desse serviço por problemas na interpretação da pergunta e desconhecimento do morador (CUNHA; OLIVEIRA, 2001).

A variável de esgoto apresenta-se de forma heterogênea na área de estudo. Algumas favelas da área de estudo foram urbanizadas por meio de ações do Programa Mananciais, como é o caso do Jardim Souza e do Alto da Riviera IX (SANTORO; FERRARA; WHATELY, 2009) e por isso apresentam rede de esgoto, o que não é verdade nas outras favelas da bacia.

Outra característica da área de estudo é a presença de fossas sépticas e fossas negras. A presença das fossas sépticas e rudimentares na área de estudo está concentrada nas áreas de chácaras, onde não existe serviço da Sabesp, deixando para os moradores a opção de sistemas de esgoto autônomos.

[22] De acordo com o estudo da Abrelpe (2012), em 2011 no estado de São Paulo, cada habitante gerou em média 1,404 kg/dia de resíduos sólidos urbanos.

Uma constatação disso foi que a classe telhado de cerâmica teve correlação positiva com a fossa séptica (escore: 0,818). A classe cobertura arbórea/arbustiva também apresentou correlação positiva com a variável de esgotamento sanitário do tipo fossa rudimentar (escore: 0,8).

Para Morato (2004, 2008) na questão de esgotamento sanitário são consagradas tanto a rede geral, quanto a disposição de fossas sépticas como disposições adequadas. Já as fossas rudimentares (como a fossa negra) e o despejo em cursos d´água são inadequados por representarem sérios riscos de contaminação.

Segundo a revisão bibliográfica feita por Nucci (2001), muitos autores consideram um número ideal de densidade demográfica variando de 100 a 500 hab/ha (habitantes/hectare) e, em sua pesquisa realizada no distrito de Santa Cecília, considerou como atributo negativo da qualidade ambiental, áreas com densidade demográfica acima de 400 hab/ha.

Os experimentos realizados por Salim e Luchiari (2011) obtiveram correlação positiva entre a densidade demográfica com a classe cimento amianto (escore: 0,832) e correlação negativa entre a densidade demográfica com a classe área verde (escore: -0,715). No experimento realizado por Salim e Luchiari (2013) ocorreu correlação positiva da densidade demográfica com a classe cimento amianto (escore: 0,791). Na medida de correlação na área de estudo não houve correlação significativa entre cobertura da terra e densidade demográfica.

Mesmo assim, cabe destacar a amplitude da densidade demográfica entre os setores da área de estudo, sendo que a menor densidade é de 9 hab/ha na Riviera Paulista, Figura 39, e a maior é de 1.123 hab/ha nas proximidades do Jardim Souza, Figura 40.

Figura 39 - Imagem da Riviera Paulista, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

Figura 40 - Imagem do Jardim Souza, distrito Jardim São Luís. Fonte: Salim (2013).

A alta densidade demográfica do Jardim Souza pode ser percebida pela Figura 40, onde novas casas são construídas sobre a laje, prática muito comum nesta região.

Nos estudos realizados por Salim e Luchiari (2013) a variável de pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade apresentou correlação positiva com a classe telhados escuros (escore: 0,752), correlação que não foi significativa nesse experimento.

Quanto à classe telhado escuro, neste experimento esse tipo de cobertura apresentou-se altamente correlacionada com a diminuição de renda do domicílio (escore: -0,828) e com a diminuição da renda do responsável pelo domicílio (escore: -0,816).

Para demonstrar a utilização dos diagramas de dispersão para analisar a correlação entre 2 variáveis, é apresentado na Figura 41 o diagrama de dispersão da variável do IBGE renda do domicílio e da classe de cobertura da terra telhado escuro. É possível observar a presença de alguns dados chamados de "*outliers*", que não são condizentes com a massa de dados, mas a partir da reta inserida no gráfico, a correlação entre as variáveis é visualmente forte e negativa. Como já comentado, a medida da correlação linear dessas variáveis apresentou escore de -0,828.

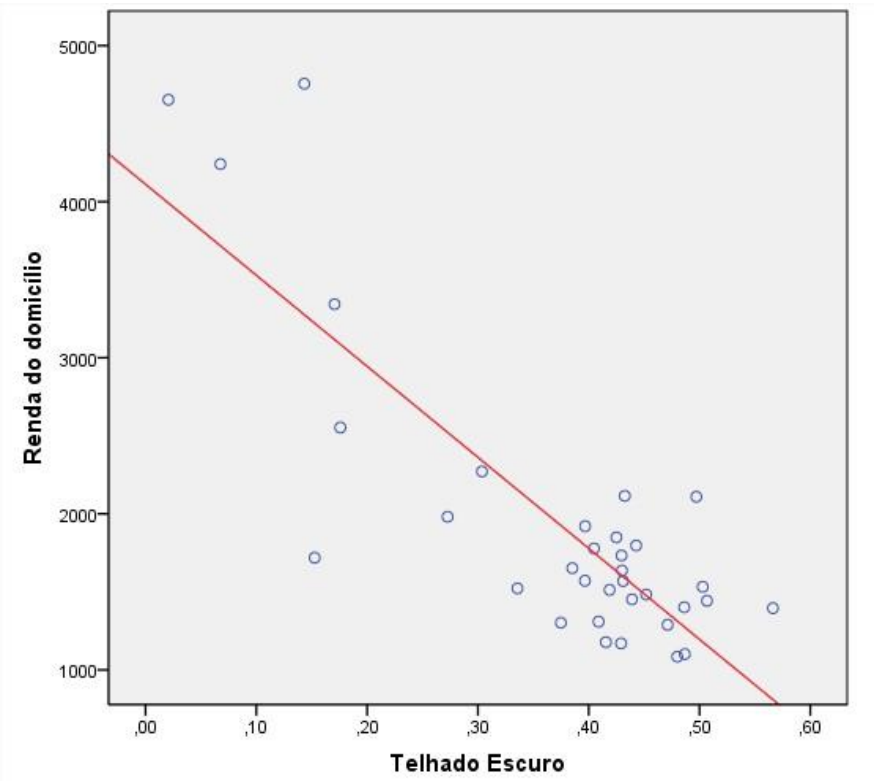


Figura 41 - Diagrama de dispersão das variáveis: renda do domicílio e telhado escuro.

Na área de estudo o valor médio da soma do rendimento mensal dos moradores do domicílio, em 26 setores não ultrapassou R$2.000,00, sendo o menor valor de R$ 1084,45 e o maior R$ 4.653,52.

Em 24 setores da área de estudo, o valor médio do rendimento nominal mensal do responsável pelo domicílio não ultrapassou R$1.000,00, sendo o menor valor de R$ 543,41, quase o valor do salário mínimo de julho de 2010, que era de R$ 510,00, e o maior valor de rendimento do responsável de R$ 2.834,60.

A correlação apresentada demonstra que nos setores a renda dos domicílios diminui com o aumento da quantidade de telhados escuros, ou seja, telhados de cimento amianto, cujo custo é um dos menores no mercado para a cobertura de residências.

A comparação do custo de diferentes tipos de telhados e estruturas foi realizado por Lee (2000), que constatou que o telhado mais utilizado e de menor custo é o de cimento amianto, porém em sua composição existem fibras com potencial cancerígeno.

A lei nº 12.684/2007 proibiu o uso, no Estado de São Paulo, de produtos, de materiais ou artefatos que contenham quaisquer tipos de amianto ou asbesto ou outros minerais que, acidentalmente, tenham fibras de amianto em sua composição.

De acordo com o Instituto Nacional de Câncer do Ministério da Saúde[23] (INCA), o Brasil está entre os cinco maiores produtores, consumidores e exportadores mundiais de amianto crisotila ou amianto branco. O material foi intensivamente utilizado na indústria pela sua abundância e baixo custo de exploração, tendo seu uso proibido em 52 países.

Apesar da possibilidade de risco à saúde em domicílios com esse tipo de cobertura, muitas delas, como no caso da área de estudo, foram colocadas antes da proibição estadual e os moradores podem não possuir renda suficiente para fazer a troca do telhado de suas casas.

Outros estudos utilizaram o tipo de telhado para aferir sobre o padrão construtivo e a classe social da população. Rossini-Penteado, Ferreira e Giberti (2007) realizaram o mapeamento do uso e ocupação do solo urbano de Ubatuba – São Paulo, escala 1:10.000, aplicado na quantificação da vulnerabilidade e dano do elemento em risco.

[23]http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?ID=15 Acesso em: 14 jun. 2012.

Nas classes com diferentes atributos de padrão das edificações, consideraram como “alto”, o padrão que possuía predomínio de cobertura de cerâmica, “médio” o padrão que possuía tanto cobertura de telha de cerâmica como laje, amianto, zinco e “baixo” o padrão que possuía o predomínio de cobertura de amianto ou zinco.

Para Carvalho (2011) a classe “uso residencial horizontal – baixo padrão” era descrita como considerável presença de telhados com concreto médio e escuro e poucos telhados de cerâmica e ausência de vegetação. Já a classe “uso residencial horizontal – médio e alto padrão” foi descrita com a presença considerável de telhados de cerâmica e de vegetação arbórea e rasteira.

Quanto ao telhado de cerâmica, no geral sua implantação é mais cara, porque as telhas exigem uma estrutura mais robusta e mão de obra para montagem da estrutura e colocação. Já o telhado de cimento amianto de 4 mm, as telhas são de baixíssimo custo e de baixo peso, podendo ter estrutura apoiada sobre laje, exigindo estruturas menos robustas e demandando pouca mão de obra (LEE, 2000).

As correlações da classe telhado de cerâmica também corroboram essa relação com a renda. Foi apresentada correlação positiva do telhado de cerâmica com a renda dos domicílios particulares permanentes (escore: 0,720), ou seja, existe relação entre os setores que possuem grandes quantidades de telhados de cerâmica e uma maior renda do domicílio.

Na utilização da variável do IBGE de renda, Cunha e Oliveira (2001) apontaram a debilidade de utilização de dados de renda, por não se tratar de um valor *per capita*, não permitindo medir o real valor de consumo da família.

Morato (2004) atenta que a informação de rendimento familiar não considera o tamanho da família, podendo significar diferentes níveis de consumo e bem-estar. No entanto, por ser uma das poucas variáveis de renda disponíveis para essa pesquisa, com detalhamento para o nível intra-urbano, optou-se por utilizar essa variável.

A classe de cobertura herbácea também apresentou correlação positiva com a variável de renda do responsável pelo domicílio (escore: 0,771) e com a renda do domicílio particular permanente (escore: 0,745), onde setores que possuem grandes quantidades de áreas gramadas possuem maior renda.

O mesmo ocorreu para a classe de cobertura arbórea/arbustiva que apresentou correlação positiva com a variável de renda do responsável pelo domicílio (escore: 0,848) e com a renda do domicílio particular permanente (escore: 0,821), onde setores que possuem grandes quantidades de áreas arborizadas possuem maior renda.

Com intuito de exemplificar um diagrama de dispersão com correlação forte e positiva, a Figura 42 demonstra a relação entre as variáveis do IBGE de renda do domicílio particular permanente e a classe de cobertura da terra arbórea/arbustiva, que na medição de correlação linear de Pearson, apresentaram escore de 0,821.

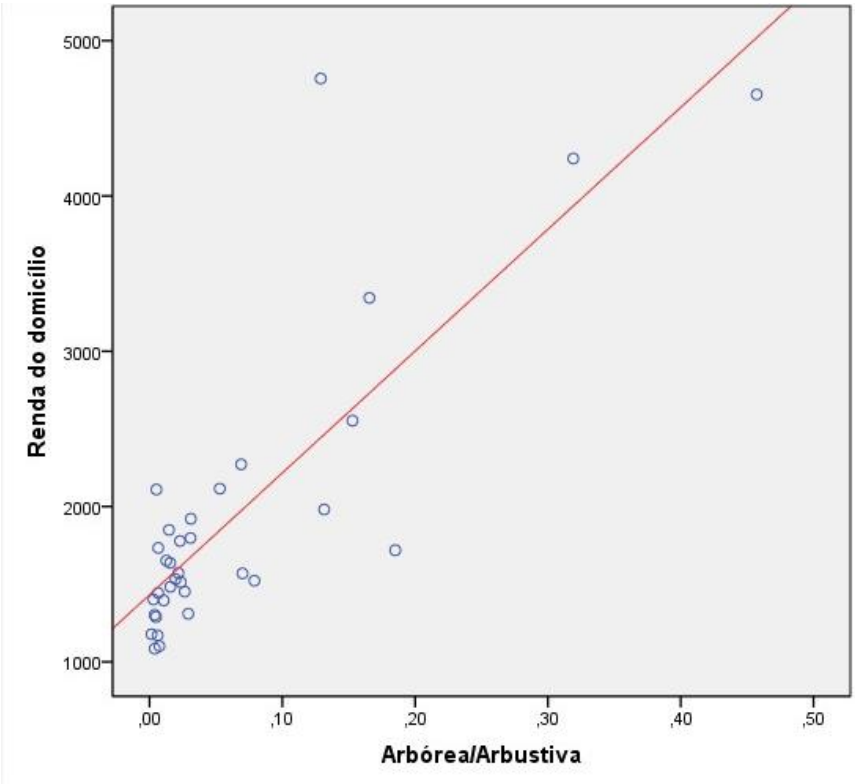


Figura 42 - Diagrama de dispersão das variáveis: renda do domicílio e Arbórea/Arbustiva.

O resultado de correlação da cobertura vegetal com a renda é significativo, já que existe um consenso de que a presença de vegetação na cidade está relacionada com a melhoria de condições ambientais e diminuição de problemas respiratórios, refletindo na sensação de bem-estar que a proximidade com estas áreas desperta nas pessoas.

Ceccato, Foresti e Kurkdjian, (1993) consideram a vegetação como o principal indicador de qualidade ambiental entre os elementos naturais, por ela atuar como elemento de equilíbrio indispensável ao ambiente urbano.

Além da vegetação ser considerada importante para a qualidade de vida das pessoas e para a qualidade ambiental das cidades, também possui relação com a renda.

Lo e Faber[24] (1998 apud JENSEN, 2011) observaram que a quantidade de área verde (extraída de dados do LANDSAT TM) encontrava-se altamente correlacionada com a qualidade de vida. Ainda, sugerem que nas cidades a vegetação é um bem precioso e dispendioso e só os habitantes com melhor poder aquisitivo podem se dar ao luxo de manter jardins e árvores em sua moradia.

Luchiari (2001) por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um SIG identificou a cobertura vegetal no setor norte do município de Campinas. Seus resultados demonstram um estreito relacionamento entre densidade de cobertura vegetal e a renda familiar da população residente. Apesar de raras exceções, existe uma associação entre qualidade de vida, nível socioeconômico, nível de renda da população presente no ambiente urbano e a cobertura vegetal do local em que elas residem (LUCHIARI, 2001).

Souza (2010) em sua pesquisa verificou a relação entre quantidade de vegetação rasteira e classe social da população que habitava o local, onde as áreas habitadas pela população menos favorecida foram aquelas onde as quadras residenciais apresentaram menores porcentagens de vegetação rasteira e vice-versa.

A última variável do Censo que apresentou correlação com as classes de cobertura da terra foi a de número de banheiros por domicílio. Os setores que possuíam maior quantidade de domicílios com 1 banheiro apresentaram correlação positiva com a classe telhado amianto (escore: 0,827) e correlação negativa com as classes telhado cerâmica (escore: -0,748), cobertura herbácea (escore: -0,770) e cobertura arbórea/arbustiva (escore: -0,765).

Para a variável de 3 banheiros por domicílio, o sentido da correlação foi invertido apresentando correlação negativa com a classe telhado amianto (escore: -0,849) e correlação positiva com as classes telhado cerâmica (escore: 0,732), cobertura herbácea (escore: 0,763) e cobertura arbórea/arbustiva (escore: 0,819).

[24] LO, C. P.; FABER, B. J. Integration of Landsat Thematic Mapper and Census Data for Quality of Life Assessment. Remote Sensing of Environment,1998. n.62 (2), p.143-157.

Verificamos dessa forma que o número de banheiros por domicílio é menor em setores que apresentam maior quantidade de telhados escuros. Nos setores que possuem maior quantidade de cobertura vegetal e telhados de cerâmica, o número de banheiros por domicílio é maior.

5. Considerações Finais

Os trabalhos de campo foram de suma importância nesta pesquisa, para um melhor entendimento sobre a dinâmica da ocupação da bacia, obter informações sobre o meio físico e sanar dúvidas que apareceram durante a análise da imagem de satélite.

Um exemplo disso foi a percepção na primeira ida a campo das residências que possuem mais de 1 andar, onde novos cômodos são construídas sobre a laje. Essa característica não é visível nas imagens de satélite, mas é refletida na contabilização de população do Censo e no cálculo de densidade demográfica.

A metodologia de classificação da imagem IKONOS desenvolvida nesta pesquisa apresentou resultados satisfatórios para o mapeamento da cobertura da terra da APRM-G, abrangendo toda a heterogeneidade de coberturas. A técnica pode ser utilizada para gerar informações que irão compor o Sistema Gerencial de Informações (SGI) do manancial, como monitoramento das características e da evolução do uso e ocupação do solo.

O procedimento automático realizado nesta pesquisa, a análise de imagens baseada em objetos, mostrou-se eficiente para a coleta de informações do espaço urbano. As regras, apêndice A, utilizadas nesta classificação podem ser utilizadas em outras pesquisas com o mesmo satélite, podendo ser necessária a alteração dos limiares dos atributos escolhidos para cada classe.

O algoritmo de segmentação do programa ENVI EX não prevê de forma automática o trabalho com vários níveis de segmentação. Consequentemente, optou-se por trabalhar com apenas um nível de segmentação para todas as classes e o segmento gerado não condizia com o limite do objeto de interesse, tendo sido formados diversos segmentos pequenos compondo o objeto.

Vale destacar a importância da etapa de segmentação para utilização de todo o potencial da OBIA. Recomenda-se que o limite do segmento seja próximo ao limite do alvo de interesse, permitindo explorar os recursos do OBIA com a utilização de atributos de textura e espaciais na classificação, e não apenas espectrais.

Com o intuito de melhorar os resultados da classificação de imagens de alta resolução, sugere-se que seja utilizado, quando disponível, Modelo Digital de Superfície (MDS). Mendez e Poz (2011) utilizaram dados de varredura a laser e consideraram viável para a diminuição de confusão na classificação.

Assim, confusões entre classes que possuem comportamento espectral semelhante, como grama e árvore, solo exposto e telhado de cerâmica, telhado escuro e asfalto poderiam ser sanadas com a utilização de dados de altimetria.

Uma técnica promissora para classificação de imagens é a mineração de dados, do inglês *Data Mining*, onde algoritmos de árvore de decisão permitem a automatização dos procedimentos de seleção de atributos e definição de limiares para classificar cada alvo, podendo otimizar o tempo do analista para a construção das regras.

A utilização de outros satélites de alta resolução que possuam maior resolução espectral pode gerar um resultado interessante na classificação. Ribeiro (2010) e Novack, Ribeiro e Kux (2011) verificaram que o uso de outras bandas do WorldView, melhorou a classificação, diferenciando as classes telhado de cerâmica e solo exposto.

No Mapa de Exclusão/Inclusão Social da cidade de São Paulo realizado por Sposati (1996), a área de estudo (distrito Jardim São Luís) apresentou índices mínimos de inclusão social no ano de 1991. Ao trabalharmos com informações desagregadas, por setor censitário, e utilizando dados do mapa de cobertura da terra foi possível perceber as diferenças internas na qualidade de vida da população que vive no distrito, além de conseguir identificar no território essa diferença, por meio de geotecnologias.

Mesmo sendo necessários pequenos ajustes nos limites dos setores para sua utilização nesta pesquisa, a possibilidade de utilizar tantas variáveis demográficas e o fácil manuseio das tabelas com os dados agregados de cada setor, reafirmaram o Censo do IBGE como uma fonte importantíssima de dados da população da área de estudo.

Dos resultados apresentados, as correlações significativas entre as classes de cobertura da terra, telhados escuro e de cerâmica e vegetação, e as variáveis do censo, bem como sua utilização como indicador carecem de novas pesquisas. Essa pesquisa apresentou o potencial de utilização de dados orbitais para inferir sobre a

população, visando a possibilidade de obter informações rápidas, precisas e desagregadas geograficamente.

A partir da metodologia desenvolvida nesta pesquisa podemos vislumbrar a possibilidade de utilizá-la para fornecimento de dados sobre o espaço urbano, obtidos de forma rápida e automática, podendo ser uma ferramenta para o planejamento urbano e gestão territorial.

Os produtos de sensoriamento remoto aparecem como uma importante fonte complementar de dados. Por exemplo, a classe de cobertura de vegetação comumente é utilizada como indicador de qualidade de vida e qualidade ambiental, no entanto, não é comum a utilização das classes de cobertura de telhado na construção de indicador da população.

A ocupação da bacia do reservatório Guarapiranga apresentou-se como heterogênea e complexa, com sua população tendo, na maior parte, demandas no acesso à educação, saneamento básico, cultura, saúde e integração social. Essas diferentes demandas implicam em novos desafios.

O que se observou é que, com o aumento da população de São Paulo e da demanda por habitação, a classe menos favorecida buscou alternativas aos preços elevados de terrenos e imóveis construídos na capital, sendo levados a localizações mais periféricas e/ou a outro município da região metropolitana, em áreas de loteamentos clandestinos, como na bacia do Guarapiranga.

É evidente a importância desse manancial para o abastecimento público da RMSP, bem como a complexidade da ocupação da APRM-G, que apesar da legislação restritiva desde a década de 1970, possui seu território ocupado por diferentes usos com diferentes impactos à bacia, um verdadeiro desafio para a efetividade na aplicação da lei e para a preservação e gestão do manancial.

Essa multiplicidade de usos e impactos presentes na bacia do reservatório Guarapiranga, acaba por exigir uma multiplicidade de ações e estratégicas para a recuperação e proteção do manancial. E é esse desafio que está posto para as políticas públicas que incidem na área e para os agentes que as aplicam.

A situação atual do reservatório Guarapiranga e seus afluentes caracteriza-se pela deterioração progressiva da qualidade das águas, em função do crescente aumento

do despejo de esgotos e da poluição difusa, que resulta em grandes aportes de nutrientes (principalmente nitrogênio e fósforo) e de coliformes totais.

A existência e implementação dos Planos Municipais de Saneamento Básico na bacia poderão contribuir e muito para a reversão do quadro de degradação de suas águas. Dessa forma, será atendida a prioridade de utilização da água para o abastecimento público, todavia, não se pode deixar de contemplar outras funções como preservação e proteção da fauna e flora, irrigação, recreação, lazer e navegação.

Na busca de contribuir para suprir as lacunas existentes, investigou-se formas diferenciadas de trabalhar com os dados, extraindo novos tipos de informações. Almeja-se que essa metodologia subsidie o planejamento e o direcionamento de políticas públicas mais eficientes, garantindo uma vida mais digna para os moradores da bacia e a preservação e proteção do manancial.

Referências Bibliográficas

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2011**. São Paulo: Abrelpe, 2012. 184 p.

AB'SÁBER, A. N. Revisão dos conhecimentos sobre o horizonte sub-superficial de cascalhos inhumados do Brasil Oriental. **Boletim da Universidade do Paraná**, n.2, 1962. 32 p.

_____. **São Paulo: ensaios entreveros.** São Paulo: EDUSP, 2004. 518 p.

_____. **Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo**. Cotia, São Paulo: Ateliê Editorial, 2007. 349 p.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo**, 41, 1964. p.169-263.

ALVES, G. A. A mobilidade/imobilidade na produção do espaço urbano. In: CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. de; SPOSITO, M. E. B. (Org.). **A Produção do Espaço Urbano**. São Paulo: Contexto, 2011. p. 109-122.

ALVES, R. A. L.; VERGARA, O. R. Identificação de alvos urbanos em imagens Ikonos, aplicando classificação orientada a segmentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2007, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2573-2580.

ANTUNES, A. F. B.; CORTESE, S. C. Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de Análise Orientada A Objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 481-487. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br /sbsr@80/2006 /10.31.14.10/doc/481-487.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2010.

ANTUNES, A. F. B.; DUARTE A. Characterization of the growth of urban areas by means of Quickbird images through object oriented segmentation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS, 4. (GEOBIA), 2012, Rio de Janeiro. **Proceedings**... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 191-195. On-line. ISBN 978-85-17-00059-1. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2012/05.17.18.21/doc/056.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C.; CENTENO, J. A. S. Object Oriented Analysis and Semantic Network for High Resolution Image Classification. **Boletim Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 233-242, jul.-dez., 2003.

ANTUNES, A. F. B.; STURM, U. Segmentação orientada a objeto aplicado ao monitoramento de ocupações irregulares em áreas de proteção ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2019-2026.

ARAÚJO, E. H. G. **Análise multitemporal de cenas do satélite QuickBird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais. Estudo de caso: Belo Horizonte, MG**. 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/MTCm13@80/2006/07.24.19.43>. Acesso em: 01 mar. 2010.

BALAZINA, A. Plantas expõe poluição da represa Guarapiranga. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 15 ago. 2005. Cotidiano, p.C-3.

BARROZO, L. V.; MACHADO, R. P. P.; LUCHIARI, A.; QUEIROZ FILHO, A. P. Dasymetric mapping of socioeconomic data of the city of Sao Paulo. In: UGI 2011 Conferencia Geografica Regional, 2011, Santiago. **Anais**..., 2011.

BERNARDI, H. V. F., et al. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5595-5602.

BERTOLOTTI, F. **Os conteúdos sociais da crise ecológica: a reprodução do espaço urbano e a ocupação da Guarapiranga**. 2010. 268 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BIELAVSKY, M. **Para onde cresce a cidade: Dinâmica de expansão urbana e caracterização urbano-ambiental em área da bacia do Guarapiranga**. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.65, n. 1, jan. 2010.

BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S.: Processamento de Imagens num Ambiente Integrado SIG/Sensoriamento Remoto – Tendências e Consequências. In: BLASCHKE,T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – Novos Sistemas Sensores Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 11-18.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. **GeoBIT-GIS**, n. 6, p. 12-17, 2001.

BOTELHO, A. A. A cidade dispersa: uma nova escala de urbanização contemporânea. In: REIS, N. G. (Org.). **Sobre a dispersão urbana**. São Paulo: Via das Artes/FAUUSP, 2009. p. 275-291.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.

BRASIL. Lei nº 11.445, 05 de janeiro de 2007. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 12 jul. 2012.

BRASIL. Decreto nº 7.217, 21 de junho de 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7217.htm>. Acesso em: 12 jul. 2012.

CALDEIRA, T. P. R. **Cidade de Muros: Crime, Segregação e Cidadania em São Paulo**. São Paulo: Editora 34/Edusp, 2000. 399 p.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial e Geoprocessamento**.** In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (eds). **"Análise Espacial de Dados Geográficos"**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro /analise/cap1-intro.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

CÂMARA G. et al. Territórios digitais: as novas fronteiras do Brasil. Seminário Preparatório para a 3º Conferência Nacional de Ciência e Tecnologia. Brasília; MCT 2005. 17 p. Disponível em: <http://www.cgee.org.br/cncti3/Documentos/Seminarios artigos/Areasintnacional/DrGilberto%20Camara.doc>. Acesso em: 10 set. 2012.

CAMPOS, A. R. et al. Classificação orientada a objeto para mapeamento do uso e cobertura do solo do município de Rio Acima - MG: por crescimento de regiões e por extração de objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,

16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**... São José dos Campos: INPE , 2013. p. 8035-8042.

CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. de; SPOSITO, M. E. B. (Org.). **A Produção do Espaço Urbano**. São Paulo: Contexto, 2011. 240 p.

CARVALHO, M. V. A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. 2011. 201 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3ACT3BL>. Acesso em: 10 mai. 2012.

CASTELLS, M. **La Cuestion Urbana**. Espanha: Siglo Veintiuno editores, 1974. 430 p.

CECCATO, V. A.; FORESTI, C.; KURKDJIAN, M. L. N. O. Proposta metodológica para avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, Sistema de Informação Geográficas (SGI) e de um banco de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7. (SBSR), 1993, Curitiba, BR. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 1993. v. 1, p. 32-39. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.00.15>. Acesso em: 10 mai. 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

COBRAPE. **Atualização do Plano de Desenvolvimento e Proteção Ambiental Guarapiranga**. São Paulo: Cobrape, 2011. 206 p. (Relatório)

CORRÊA, R. L. **O Espaço urbano**. São Paulo: Editora Ática, 2004. 94 p.

_____. Sobre agentes sociais, escala e produção do espaço: um texto para discussão. In: CARLOS, A. F. A.; SOUZA, M. L. de; SPOSITO, M. E. B. (Org.). **A Produção do Espaço Urbano**. São Paulo: Contexto, 2011. p. 41-51.

CPRM. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Integração Geológica da Folha São Paulo**. Estado de São Paulo. [Nota Explicativa] / SACHS, L. L. B. (Org.) São Paulo: CPRM, 1999. 26p.+ Mapa 1:250.000. SF – 23-Y-D.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

CUNHA J. M.; OLIVEIRA, A. B. População e espaço intra-urbano em Campinas. In: HOGAN, D. J. et al. (Org.). **Migração e ambiente nas aglomerações urbanas**. Campinas: Nepo/Unicamp, 2001. p. 350-393.

DEFINIENS. **e-Cognition: User Guide 4**. Germany, 2004. 486 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (DAEE). **Base cartográfica digital, escala 1:50.000 - Projeto GISAT**. São Paulo: DAEE, [200-].

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (EDS) **"Análise Espacial de Dados Geográficos"**. Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap1-intro.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

DUTENKEFER, E. **Representações do espaço geográfico: mapas dasimétricos, anamorfoses e modelização gráfica**. 2010. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

EMPLASA. **A Grande São Paulo Hoje**. São Paulo: EMPLASA, 1982. 105 p.

_____. **Mapa de Uso do Solo da RMSP**. São Paulo: EMPLASA, 2002. Escala 1: 25.000.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 318 p.

FOLHA DE SÃO PAULO. Sabesp usa sulfato de para eliminar algas. **Folha de São Paulo**, São Paulo,13 nov. 1979. Local/Saúde, p.15.

_____. Inquérito vai investigar causas da poluição na represa Guarapiranga. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 15 jan. 1991. Cidades/Mortes, p.C-4.

FONSECA, L. M. G**. Processamento Digital de Imagens**. Curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais /Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, 2000. (Apostila)

FORTAREL, F. Os esgotos de São Paulo poluem até as reservas de abastecimento de água. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 10 fev. 1957. Primeiro Caderno, p. 8.

FRANÇA, E. **Guarapiranga – Recuperação urbana e ambiental no município de São Paulo**. São Paulo: M. Carrilho arquitetos, 2000. 255 p.

GENOVEZ, P. C. **Território e Desigualdades: análise espacial intraurbana no estudo da dinâmica de exclusão/inclusão social no espaço urbano em São José dos Campos – SP**. 2002. 201p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

GENOVEZ, P. C. et al. Indicadores territoriais de exclusão/inclusão social: Geoinformação como suporte ao planejamento de políticas sociais. In: ALMEIDA, C. M. de; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. p. 64 – 85.

GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. N. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: Difel, 1981. 161 p.

GHILARDI, A. P. et al. **Represa de Guarapiranga – SP**. Trabalho apresentado na disciplina Água em Ambientes Urbanos. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. 10 p.

GOMES, M. L.; MARCELINO, M. M.; ESPADA, M. **Proposta para um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável**. Direção Geral do Ambiente. Portugal: Direção de Serviços de Informação e Acreditação. 2000. 228 p. Disponível em: <http://www.iambiente.pt/sids/sids.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2012.

GONÇALVES, C. D. A. B.; SOUZA. I. M.; PEREIRA, M. N.; FREITAS, C. C. Análise do Ambiente Residencial Urbano Visando a Inferência Populacional a Partir do Uso de Dados de Sensoriamento Remoto Orbital de Alta Resolução. **Geografia**, Rio Claro, v. 31, n. 2, p.371-402, mai.- ago. 2006.

GONÇALVES, L.; FONSECA, A. M.; CAETANO, M. Exploração de imagens de alta resolução do satélite IKONOS. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 6., 2001, Lisboa. **Anais eletrônicos**...Lisboa, 2001.

p. 1-22. Disponível em <http://www.igeo.pt/servicos/DPCA/biblioteca/Publicacoes IGP/esig2001/papers/esig41.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2011.
HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v.5, n.4, 1975. p. 257-266.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. (Eds.). **Object- Based Image Analysis**. New York: Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 75-89.

HOFMANN, P. Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis – an example from Cape Town (South Africa). In: JÜRGENS, C. (Ed.). **Remote Sensing of Urban Areas/ Fernerkundung in urbanen Räumen**. Regensburger GeographischeSchriften, Regensburg. 2001. p. 107-118. Disponível em <http://www.ecognition.com/document/ detecting-informal-settlements-ikonos-image-data-using-methods-object-oriented-image-analys>. Acesso em: 04 out. 2011.

IBGE. **Base de Informações por Setor Censitário: Censo Demográfico 2000 – Resultados do Universo (São Paulo/SP)**. Rio de Janeiro: IBGE (CD), 2002.

_____. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011a.

_____. **Censo Demográfico 2010 – Resultados Preliminares do Universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011b.

INSTITUTO FLORESTAL. **Levantamento da vegetação natural e das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica de Guarapiranga**. São Paulo: Instituto Florestal, 2009. 23 p. (Relatório)

JANNUZZI, P. M. **Indicadores sociais no Brasil. Conceitos, fontes de dados e aplicações.** Campinas: Alínea, 2004.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphanio et al. São José dos Campos, São Paulo: Parêntese, 2011. 598 p.

KANJIR, U.; VELJANOVSKI, T.; KOVAČIČ, P. Using VHR satellite imagery to estimate populations in informal settlements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS, 4. (GEOBIA), 2012, Rio de

Janeiro. **Proceedings**... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 566-571. On-line. ISBN 978-85-17-00059-1. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3BT2APS>. Acesso em: 10 jun. 2012.

KEPPKE, R. S. **São Paulo: as desigualdades sociais e o descontrole de uso e ocupação de solo**. 2007. 344 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

KUBRUSLY, V. S. **Gestão Sócio-Ambiental Urbana e o Geoprocessamento como Apoio Estratégico para a Análise do Território: O Caso da Bacia Hidrográfica do Guarapiranga**. 2000. 147 p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

KUX, H. J. H et. al. Classificação da cobertura do solo urbano usando imagens ópticas de altíssima resolução e o sistema InterIMAGE baseado em conhecimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2011. p. 0822-0829.

KUX, H. J. H.; NOVACK, T.; FONSECA, L. M. G. Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 715-721.

KUX, H. J. H.; PINHEIRO, E. S. Dados do satélite QUICKBIRD para o mapeamento do uso e cobertura da terra numa seção da Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4509-4516.

LANGENBUCH, J. R. **A estruturação da grande São Paulo - Estudo de Geografia Urbana**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia, 1971. 527 p.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 424 p.

LEE, A. **O custo das alternativas de substituição do telhado de cimento amianto**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 12p. Disponível em: <http://www.crisotilabrasil.org.br/site/pesquisas/_pdf/O%20Custo%20das%20Alternativas.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011.

LEUKERT, K. Utilização de Dados de SIG para a Obtenção de Objetos. In: BLASCHKE,T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – Novos Sistemas Sensores Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 139-146.

LEVIN, J. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. Tradução Sérgio Francisco Costa. 2 ed. São Paulo: Harbra, 1987. 392 p.

LUCHIARI, A. Identificação da Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas por meio de Produtos de Sensoriamento Remoto e de um Sistema de informação Geográfica. **Revista de Departamento de Geografia**, n.14, p.47-58. 2001.

MARCONDES, M. J. de A. **Cidade e Natureza – Proteção dos mananciais e exclusão social**. São Paulo: Edusp, 1999. 238 p.

MARQUES, E. C.; TORRES, H. G. Pobreza e distribuição espacial de grupos sociais na metrópole de São Paulo. **Cadernos Adenauer**, São Paulo, v. 1, p. 35-50, 2004.

_____ (Org.). **São Paulo: segregação, pobreza urbana e desigualdade social**. São Paulo: Editora Senac, 2005. 329 p.

MARTINI, B. **Análise evolutiva da qualidade de vida urbana nos distritos ao sul do município de São Paulo através de práticas de geoprocessamento**. 2011. 129 p. São Paulo: DGEO/USP. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

MATEUS, R. S. **Modelo hidrológico da Bacia Hidrográfica da Represa de Guarapiranga, São Paulo (SP)**. 2006. 290 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas , Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo**. 2002. 146 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

MENDES, T. S. G; POZ, A. P. D. Classificação de imagens aéreas de alta-resolução utilizando Redes Neurais Artificiais e dados de varredura a laser. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7792-7799.

MEYER, R. M. P.; GROSTEIN, M. D.; BIDERMAN, C. **São Paulo Metrópole**. São Paulo: Edusp/ Imprensa Oficial, 2004. 290 p.

MEZZALIRA, S. 1962. Novas ocorrências de vegetais fósseis cenozóicos no Estado de São Paulo. O IGG, São Paulo, v. 15, 1962. p. 73-94.

MONBEIG, P. A divisão regional do Estado de São Paulo. In: Associação dos Geógrafos do Brasil, 1. **Anais**..., São Paulo: AGB, 1949. p. 19-30.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. São Paulo: USP/IG, 1973. 192 p.

MORATO, R. G. **Análise da qualidade de vida urbana no município de Embu/SP**. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

_____. **Análise Espacial e Desigualdade Ambiental no Município de São Paulo**. 2008. 131 p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; PÉREZ MACHADO, R. P. Mapa Dasimétrico de Densidade Demográfica da Área Urbana do Município de Alfenas (MG). **Anais** do Simpósio Internacional Caminhos Atuais da Cartografia na Geografia. USP: São Paulo, 2011. p. 1599-1609.

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

MYINT, S. W.; GOBER, P.; BRAZEL, A.; GROSSMAN-CLARKE, S.; WENG, Q. Per-pixel versus object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, 115(5), p. 1145-1161, 2011.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

NAHAS, M.I.P. Metodologia de construção de índices e indicadores sociais como instrumentos balizadores da gestão municipal da qualidade de vida urbana: uma síntese da experiência de Belo Horizonte. In: HOGAN,D. J. et al. **Migração e ambiente nas aglomerações Urbanas**. Campinas: NEPO, 2002. p. 464-487.

NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm**. CRC Press, Boca Raton, FL, 2007. 165 p.

NERY JR., J. M. **Um século de política para poucos: O zoneamento paulistano 1886 – 1986**. 2002. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

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: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – Novos Sistemas Sensores Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 115-124.

NOBREGA, R. A. A. **Detecção da malha viária na perifeira urbana de São Paulo utilizando imagens orbitais de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. 2007. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

NOBREGA, R. A. A.; O'HARA, C. G.; OLSON, G.; KIM, S.; VIJAYARAJ, V.; QUINTANILHA, J. A.; BARROS, M. T. L. Extracting and classifying bare soil erosion risk areas in an urban basin using object-oriented technologies, high resolution imagery and elevation data. In: GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND WATER RESOURCES IV – AWRA SPRING SPECIALTY CONFERENCE, 2006 Houston, Texas. **Proceedings…** Houston: American Water Research Association, 2006.

NOBREGA, R. A. A.; O´HARA, C. G.; QUINTANILHA, J. A. Detecting roads in informal settlements surrounding Sao Paulo city by using object-based classification. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS, 1., 2006, Salzburg. **Proceedings**… Salzburg: Salzburg University, 2006. v. 36, part. 4/C42.

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quick-Bird**. 2009. 214 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/08.31.21.23>. Acesso em: 01 mar. 2010.

NOVACK, T.; RIBEIRO, B. M. G.; KUX, H. J. H. Análise dos dados do satélite WorldView-2 para a discriminação de alvos urbanos semelhantes com base em algoritmos de seleção de atributos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7815-7821.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto princípios e aplicações**. 4. ed. São José dos Campos: Edgard Blucher Ltda, 2011. 387 p.

NOVO, E. M. L .M., PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. 68 p. (Apostila)

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano**. São Paulo: Humanitas/FAPESP, 2001. 236 p.

OHATA, A. T. **Aplicação de Técnicas de Classificação para Detecção e Mensuração da Expansão Urbana da Região Metropolitana de São Paulo entre 1991 e 2002**. 2004. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico; Rio de janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 64 p. + Mapa 1.500.000.

PARK, R. E. “The city: suggestions for the investigation of human behavior in the urban environment”. In: PARK, R. E.; BURGUESS, E. W. **The city**. Chicago: The University of Chicago Press, 1967. 239 p.

PÉREZ MACHADO, R. P. **Um Modelo Geoespacial de Uso do Solo e demografia. O caso do Município de São Paulo**. 2000. 226 p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PERROTTA, M. M. et al. Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000**. São Paulo: CPRM (Programa Geologia do Brasil). 2006, 1 CD-ROM.

PILZ, H.; STROBL, J. Análise de Impermeabilização com Base em Ortofotografias Aéreas Coloridas Digitais Através de Processamento de Imagens Orientadas a Objetos. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – Novos Sistemas Sensores Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 165-174.

PINHEIRO, E. S.; KUX, H. J. H. Imagens Quickbird Aplicadas ao Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados – Novos Sistemas Sensores Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 263-281.

PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos**. 2006. 180 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

PINHO, C. M. D.; FEITOSA, F. F.; KUX, H. Classificação automática de cobertura do solo urbano em imagem IKONOS: Comparação entre a abordagem pixel-a-pixel e orientada a objetos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4217-4224.

PINHO, C. M. D. et al. Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7885-7892.

PINHO, C. M. D.; KUX, H. J. H. ; ALMEIDA, C. M. Influência de Diferentes Padrões de Ocupação do Solo Urbano na Qualidade de Mapeamentos de Cobertura do Solo em Imagens de Alta Resolução Espacial: Estudo de Caso de São José dos Campos (SP).. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org.). **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: Novos Sistemas Sensores, Métodos Inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 198-208.

PINHO, C. M. D.; UMMUS, M. E.; NOVACK, T. Simulação do comportamento espectral de alvos urbanos em sensores multiespectrais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2009. p. 803-810.

PONÇANO, W. L. et al. (Coord.). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.Publicação 1183, Monografia 5, 1981. 130 p. + Mapa 1:1.000.000.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (PMSP). **Atlas Ambiental do Município de São Paulo**. Secretaria do Verde e Meio Ambiente, Secretaria de Planejamento Urbano. 2002.

RACINE J. -B. Le modèle urbain américain: les mots et les choses. **Annales de géographie**, Paris, França, v. 80, n. 440, p. 397-427, 1971.

RAMOS, F. R. **Análise espacial de estruturas intra-urbanas: o caso de São Paulo**. 2002. 196 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

RAMOS, F. R.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. Territórios digitais urbanos. In: ALMEIDA, C. M. et al. **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São Paulo: Oficina de Textos. 2007. p. 35-53

REGO, L. F. G. O uso de sistemas de informações geográficas para estudo do espaço geográfico. In: RUA, J. (Org.). **Paisagem, Espaço e Sustentabilidade – uma perspectiva multidimensional da geografia**. Rio de Janeiro: Editora PUC, 2007. p. 83-90.

REVESHTY, M. A.; RABER, A. R. The object-based approach for urban land use classification using high resolution satellite imagery (a case study Zanjan city). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS, 4. (GEOBIA), 2012, Rio de Janeiro. **Proceedings**... São José dos Campos: INPE, 2012. p. 678-682. On-line. ISBN 978-85-17-00059-1. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3BT2APS>. Acesso em: 10 jun. 2012.

RIBEIRO, B. M. G. Extração de superfícies impermeáveis a partir de imagens QuickBird aplicando classificação orientada a objeto. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2., 2009, Corumbá. **Anais**... São José dos Campos: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 259-269.

_____. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE**. 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-19@80/2010/08.03.12.52.20> Acesso em: 01 ago. 2011.

RIBEIRO, B. M. G.; FONSECA, L. M. G.; KUX, H. J. H. Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 0722-0729.

RIBEIRO, B. M. G.; KUX, H. J. H. Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7893-7900.

RIBEIRO, L. C. Q. Segregação residencial e políticas públicas: análise do espaço social da cidade na gestão do território. In: RASSI NETO, E.; BÓGUS, C. M. (Org.). **Saúde nos grandes aglomerados urbanos: uma visão integrada**. Brasília: OMS/OPAS/MS, 2003. p. 155 – 180.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989. 256 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

ROGGERO, M. A. **Um ensaio metodológico sobre a qualidade de vida no distrito de Cachoeirinha, zona norte da cidade de São Paulo**. 2009. 124p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROSSINI-PENTEADO, D. et al. Classificação orientada por regiões em imagem IKONOS para a identificação e análise da cobertura do solo urbano de Ubatuba (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**...São José dos Campos: INPE, 2007. p. 661-669

ROSSINI-PENTEADO, D.; FERREIRA, C. J.; GIBERTI, P. P. C. Quantificação da vulnerabilidade e dano aplicados ao mapeamento e análise de risco, escala 1:10.000, Ubatuba-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, Santos-SP. **Anais**... Santos: ABGE, 2007. (CD-ROM)

SALIM, A.; LUCHIARI, A. Caracterização do uso da terra em periferias urbanas pro meio de técnicas de geoprocessamento – reservatório do Guarapiranga. In: SIMPURB - SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 12., 2011, Belo Horizonte. **Anais**... Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://xiisimpurb2011.com.br/app/web/arq/trabalhos/f94d6492c110e664044490aea891f1ae.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2012.

SALIM, A.; LUCHIARI, A. Utilização de geotecnologias para inferências populacionais no espaço urbano do município de Guarulhos-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**... São José dos Campos: INPE , 2013. p. 0794-0801. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0191.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2013.

SANTORO, P. F. (Org); FERRARA, L. N.; WHATELY, M. **Mananciais: Diagnóstico e políticas habitacionais**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009. 127 p.

SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo: Edusp, 2008. 118 p.

_____. **Metrópole coorporativa fragmentada – o caso de São Paulo**. São Paulo: Edusp, 2009. 129 p.

SÃO PAULO (Estado). Comissão RLPM - “Revisão da Lei de Proteção aos Mananciais -RLPM”, elaborada pela Comissão especial criada pelo Decreto Estadual no 40.255, de 27/07/95, 1996. (Relatório Final)

_____. Decreto nº 51.686, de 22 de março de 2007. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2007/decreto%20n.51.686,%20de%2022.03.2007.htm>. Acesso em: 02 jan. 2010.

_____. Lei n° 1.061-B, de 28 de dezembro de 1906. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1906/lei%20n.1.061-B,%20de%2028. 12.1906.htm>. Acesso em: 20 out. 2011.

_____. Lei nº 898, de 18 de dezembro de 1975. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1975/lei%20n.898,%20de%2018.12.1975.htm>. Acesso em: 02 jan. 2010.

_____. Lei nº 1.172, de 17 de novembro de 1976. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1976/lei%20n.1.172,%20de%2017.11.1976.htm>. Acesso em: 02 jan. 2010.

_____. Lei nº 9.866, de 28 de novembro de 1997. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1997/lei%20n.9.866,%20de%2028.11.1997.htm>. Acesso em: 02 jan. 2010.

_____. Lei nº 12.233, de 16 de agosto de 2006. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei%20n.12.233,%20de%2016.01.2006.htm>. Acesso em: 02 jan. 2010.

_____. Lei nº 12.684, de 26 de julho de 2007. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2007/lei%20n.12.684,%20de%2026.07.2007.htm>. Acesso em: 12 jan. 2012.

_____. Lei Complementar nº 1.139, de 16 de Junho de 2011. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei%20complementar/2011/lei%20complementar%20n.1.139,%20de%2016.06.2011.htm>. Acesso em: 03 jan. 2012.

_____. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Educação Ambiental. Caderno Ambiental Guarapiranga. São Paulo: SMA/CEA, 2008.

SCARLATO, F. C. População e Urbanização Brasileira. In: ROSS, J. (Org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2009. p. 381-463.

SENA, N. F. **Geografias Urbanas Comparadas no Leste Mineiro: Caratinga, Manhuaçu e Viçosa**. 2006. 260 p. Tese (Doutorado em Geografia – Tratamento da Informação Espacial) – Pontifícia Universidade Católica, Minas Gerais, 2006.

SILVA, J. P. **Expansão urbana e evolução geomorfológica em remansos de reservatórios: análise comparativa de duas bacias hidrográficas em Guarapiranga, São Paulo**. 2005. 128p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SINGER, P. O Uso do solo urbano na economia capitalista. In: MARICATO, E. (Org). **A produção capitalista da casa (e da cidade) no Brasil industrial**. São Paulo: Editora Alfa-Omega. 2ªed, 1982.

SLOCUM, T. A.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, F. C.; HOWARD, H. H. **Thematic Cartography and Visualization**. 2 ed. Pearson/Prentice Hall, 2004. 518 p.

SOUZA, I. M. **Análise do espaço intra-urbano para estimativa populacional intercensitária utilizando dados orbitais de alta resolução espacial**. 2003. 104 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/12.24.09.50> . Acesso em: 05 jun. 2010.

_____. **Metodologia de Análise da Diferenciação Socioespacial com uso de Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial em São José dos Campos-SP**. 2010. 264 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SOUZA, I. M.; ALVES, C. D.; ALMEIDA, C. M.; PINHO, C. M. D. Caracterização Socioeconômica do Espaço Residencial Construído Utilizando Imagens de Alta Resolução Espacial e Análise Orientada a Objeto. **Geografia** (Londrina), v. 16, p. 119-142, 2007.

SOUZA, I. M. et al. Uso de imagens de alta resolução espacial e análise orientada a objeto para caracterização socioeconômica do espaço residencial construído. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 875-882.

SOUZA, I. M.; RODRIGUES, A. M. Uso de imagens de alta resolução especial para análise da diferenciação socioespacial em São José dos Campos-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 0838-0846.

SPOSATI, A. (Coord.). **Mapa da exclusão/ inclusão social da cidade de São Paulo**. São Paulo: EDUC, 1996. 126 p.

SPOSITO, M. E. B. Urbanização difusa e cidades dispersas: perspectivas espaço-temporais contemporâneas. In: REIS, N. G. (Org.). **Sobre a dispersão urbana**. São Paulo: Via das Artes/FAUUSP, 2009. p. 38-54.

TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Os Climas Urbanos. In: TARIFA, J. R.; AZEVEDO, T. R. **Os Climas na Cidade de São Paulo**. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária. Universidade de São Paulo: Laboratório Climatologia/FFLCH, 2001. p. 47-70.

TORRES, H. G. Medindo a segregação. In: Marques, E. C.; Torres, H. G. (Org.). **São Paulo: Segregação, pobreza e desigualdades sociais**. 1 ed. São Paulo: Editora do Senac, 2005, v. 1, p. 81-100.

VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 1998. 373 p.

WEBER, C.; HIRSH, J. Some urban measurement from SPOT data: urban life quality indices. **International Journal of Remote Sensing**. London, v. 13 n. 17, p. 3251-3261, 1992.

WHATELY, M.; CUNHA, P. M. **Guarapiranga 2005 - Como e por que São Paulo está perdendo este Manancial: resultados do diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Guarapiranga**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2006. 50 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Atributos e limiares da classificação no programa ENVI EX

#1 (1.000): If avgband_15 (média da razão da Banda Azul) [0.3000, 0.4000] AND avgband_19 (média da razão da Banda Verde) > 0.3000 AND avgband_10 (média do NDVI) < 0.0300 AND avgband_24 (média da banda Vermelho dividido pela Banda Azul) [0.4000, 0.5000], then object belongs to "agua".

#2 (1.000): If avgband_4 (média da Banda Infravermelho) [80.0000, 270.0000] AND avgband_39 (média do Indicador de Sombra) [130.0000, 205.0000] AND avgband_20 (média da banda Verde dividido pela Banda Azul) [0.4500, 0.9700] AND avgband_1 (média da Banda Azul) < 240.0000, then object belongs to "sombra".

#3 (1.000): If minband_33 (mínimo do Raster de Ruas) < 0.0000 AND avgband_10 (média do NDVI) < 0.3000 AND avgband_11 (média da Banda da Principal Componente 1) < 120.0000, then object belongs to "asfalto".

#4 (1.000): If minband_33 (mínimo do Raster de Ruas) > 0.1000 AND minband_1 (mínimo da Banda Azul) [140.0000, 290.0000] AND avgband_10 (média do NDVI) [-0.0300, 0.1500] AND avgband_38 (média do Indicador de Solo) [-0.4000, -0.1000] AND avgband_1 (média da Banda Azul) > 240.0000 AND avgband_11 (média da Banda da Principal Componente 1) < 120.0000, then object belongs to "escuro".

#5 (1.000): If minband_1 (mínimo da Banda Azul) > 270.0000 AND avgband_11 (média da Banda da Principal Componente 1) > 170.0000, then object belongs to "claro".

#6 (1.000): If minband_1 (mínimo da Banda Azul) > 280.0000 AND avgband_11 (média da Banda da Principal Componente 1) [50.0000, 170.0000], then object belongs to "brilhante".

#7 (1.000): If avgband_10 (média do NDVI) > 0.2000 AND avgband_2 (média da Banda Verde) [240.0000, 500.0000], then object belongs to "grama".

#8 (1.000): If avgband_10 (média do NDVI) > 0.3000 AND avgband_2 (média da Banda Verde) < 250.0000, then object belongs to "arvore".

#9 (1.000): If avgband_24 (média da banda Vermelho dividido pela Banda Azul) [0.9000, 1.9000] AND avgband_13 (média da Banda da Principal Componente 3) > 140.0000 AND bandratio (média do NDVI) [-0.1000, 0.2500], then object belongs to "ceramica".

APÊNDICE B - Variáveis do Censo processadas por setor.

Código do Setor	Dens. Habit.	Dens. Demog.	Água Rede Geral	Água Poço	Esgoto Rede Geral	Esgoto Fossa séptica	Esgoto Fossa rudimentar	Esgoto Vala	Esgoto Rio	1 Banheiro	2 Banheiros	3 Banheiros	Lixo coletado	Lixo coletado serviço	Lixo caçamba	Lixo queimado	Energia elétrica	Energia elétrica s/ medidor	Pessoas alfabetizadas	Renda Mensal Domicílio	Renda Resp.
355030843000106	3,27	165	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,69	0,23	0,06	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,93	2115,13	1244,41
355030846000110	3,01	274	0,99	0,006	0,90	0,076	0,017	0,012	0,00	0,69	0,24	0,05	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,006	0,85	1920,78	1133,84
355030846000111	3,56	557	1,00	0,000	0,99	0,000	0,008	0,000	0,00	0,79	0,19	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,051	0,89	1401,08	744,83
355030846000112	2,99	236	0,99	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,68	0,28	0,04	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,009	0,92	1309,20	770,30
355030846000113	3,09	309	1,00	0,000	1,00	0,003	0,000	0,000	0,00	0,80	0,18	0,02	1,00	1,00	0,003	0,000	1,00	0,011	0,92	1483,02	717,18
355030846000114	3,44	544	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,84	0,14	0,01	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,005	0,90	1169,86	718,77
355030846000115	3,82	289	1,00	0,000	0,99	0,000	0,000	0,000	0,00	0,78	0,21	0,01	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,89	1571,19	828,57
355030846000116	3,21	448	1,00	0,000	1,00	0,002	0,003	0,000	0,00	0,83	0,16	0,01	1,00	1,00	0,002	0,000	1,00	0,156	0,97	1532,16	793,15
355030846000117	3,16	191	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,79	0,17	0,04	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,94	1797,17	941,15
355030846000118	3,21	126	0,96	0,042	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,80	0,18	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,008	0,90	1569,33	730,22
355030846000119	3,3	134	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,91	0,07	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,95	1522,71	802,60
355030846000120	3,19	346	1,00	0,000	0,99	0,008	0,000	0,000	0,00	0,83	0,17	0,00	1,00	0,85	0,154	0,000	1,00	0,000	0,91	1451,98	800,85
355030846000156	3,32	126	1,00	0,000	0,68	0,018	0,141	0,159	0,00	0,63	0,30	0,05	0,99	0,99	0,000	0,006	1,00	0,042	0,95	1981,09	950,21
355030846000157	3,38	150	1,00	0,000	0,95	0,016	0,000	0,035	0,00	0,71	0,22	0,05	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,006	0,95	2271,52	908,55
355030846000158	3,38	193	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,82	0,15	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,97	1849,36	1007,48
355030846000159	2,99	285	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,75	0,23	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,93	1733,23	960,96
355030846000160	3,22	288	1,00	0,000	0,99	0,000	0,003	0,000	0,00	0,81	0,17	0,02	1,00	1,00	0,003	0,000	1,00	0,000	0,96	1637,13	826,66
355030846000161	3,16	312	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,003	0,00	0,78	0,18	0,03	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,93	2109,74	1148,04
355030846000162	3,48	197	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,81	0,16	0,01	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,94	1512,58	790,96
355030846000206	3,21	327	1,00	0,000	0,73	0,000	0,000	0,270	0,00	0,78	0,17	0,04	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,97	1778,08	884,69
355030846000207	3,46	65	1,00	0,000	0,39	0,606	0,003	0,000	0,00	0,29	0,35	0,23	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,96	4755,80	2629,62
355030846000241	3,02	9	0,98	0,019	0,46	0,250	0,278	0,000	0,00	0,36	0,19	0,21	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,056	0,95	4653,52	2834,63
355030846000242	3,08	20	0,96	0,031	0,76	0,174	0,062	0,000	0,00	0,45	0,24	0,16	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,93	4241,05	2748,00
355030846000243	3,3	61	1,00	0,003	0,90	0,003	0,101	0,000	0,00	0,54	0,28	0,11	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,008	0,94	2553,11	1518,86
355030846000244	3,24	75	1,00	0,000	0,99	0,003	0,012	0,000	0,00	0,72	0,22	0,04	1,00	0,93	0,072	0,000	1,00	0,500	0,90	1718,90	1037,67
355030846000245	3,17	49	0,99	0,000	0,61	0,338	0,047	0,000	0,00	0,39	0,39	0,16	1,00	0,99	0,004	0,000	0,99	0,017	0,96	3343,44	1462,01
355030846000314	3,63	704	1,00	0,000	0,08	0,006	0,018	0,000	0,90	0,99	0,00	0,01	1,00	0,98	0,024	0,000	0,99	0,018	0,92	1302,01	604,97
355030846000315	3,15	316	1,00	0,000	0,99	0,004	0,009	0,000	0,00	0,82	0,15	0,03	1,00	0,99	0,009	0,000	1,00	0,009	0,92	1442,87	821,55
355030846000316	3,59	495	1,00	0,000	0,94	0,000	0,059	0,000	0,00	0,86	0,13	0,01	1,00	0,96	0,043	0,000	0,99	0,957	0,96	1177,87	543,41
355030846000324	3,3	405	1,00	0,000	0,95	0,013	0,000	0,026	0,00	0,75	0,22	0,02	1,00	0,96	0,043	0,000	1,00	0,090	0,95	1651,60	655,69
355030846000333	3,5	323	1,00	0,000	0,99	0,000	0,007	0,007	0,00	0,84	0,13	0,03	1,00	0,99	0,007	0,000	1,00	0,125	0,91	1084,45	602,26
355030846000360	2,87	1123	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,88	0,10	0,02	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,005	0,93	1288,99	569,08
355030846000376	3,11	390	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,93	0,07	0,00	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,83	1395,91	652,05
355030846000377	3,06	278	1,00	0,000	1,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,98	0,02	0,00	1,00	1,00	0,000	0,000	1,00	0,000	0,95	1101,28	581,06