



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

MODELO DE CONHECIMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO NO
CONTEXTO METROPOLITANO.
ESTUDO DE CASO: REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO,
RODOANEL MÁRIO COVAS – TRECHO OESTE.

Bárbara Maria Giacom Ribeiro

Proposta de Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Hermann Johann Heinrich Kux
e pela Dra. Leila Maria Garcia Fonseca.

INPE
São José dos Campos
2009

RESUMO

O mapeamento de cobertura e uso do solo urbano através de imagens de sensoriamento remoto tem sido largamente explorado, principalmente com a disponibilidade de imagens de alta resolução e de técnicas de processamento orientadas a objeto. Muitos dos trabalhos em estudos urbanos têm usado o sistema de processamento comercial Definiens, o que limita a difusão e uso das metodologias empregadas pela comunidade de sensoriamento remoto devido seu alto custo. Levando em conta este fato, o presente trabalho propõe a elaboração de um modelo de classificação do uso do solo no contexto metropolitano usando o *software* livre InterIMAGE, um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento. A metodologia proposta será aplicada em duas áreas junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, na Região Metropolitana de São Paulo. Desta forma, pretende-se extrapolar o contexto intra-urbano ao se selecionar uma área de estudo de características mais complexas, se comparadas às áreas homogêneas analisadas nos estudos já realizados. A principal contribuição desta pesquisa será demonstrar a aplicabilidade do *software* livre InterIMAGE na extração de informações atualizadas sobre as categorias de uso do solo urbano, informação que pode subsidiar no controle do parcelamento, uso e ocupação do solo pelos municípios, além de servir como base para outros tipos de pesquisa, sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, direcionamento de investimentos, melhoria da mobilidade intra-urbana e metropolitana, entre outros.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABELAS	4
1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivos	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 Classificação do uso do solo urbano	9
2.2 Imagens de Alta Resolução	11
2.3 Análise Orientada a Objeto	12
2.4 Sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento	14
2.5 InterIMAGE	15
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Área de Estudo	23
3.1.1 Áreas-Teste	24
3.2 Dados de Entrada	27
3.3 Metodologia	28
3.3.1 Preparação dos Dados	29
3.3.2 Elaboração do Modelo de Conhecimento	30
3.3.3 Aplicação do produto obtido: Verificação do Atendimento à Legislação	31
3.3 Cronograma	33
4 RESULTADOS ESPERADOS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Rede semântica desenvolvida no InterIMAGE.....	18
Figura 2.2 – Exemplo da rede semântica.....	19
Figura 2.3 – Rede semântica elaborado no InterIMAGE para o Experimento de Pinho et al. (2009).	22
Figura 3.1 – Localização do Rodoanel Mário Covas na RMSP.....	25
Figura 3.2 – Localização da área de estudo ao longo do Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas na RMSP.	26
Figura 3.3 – Sub-áreas de estudo 1 e 2, respectivamente.	27
Figura 3.4 – Diagrama de blocos dos passos metodológicos.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Sub-áreas de estudo.....	25
Tabela 3.2 – Resoluções do sensor QuickBird II.....	27

1 INTRODUÇÃO

O rápido aumento populacional constitui um dos maiores problemas para o planejamento e controle do crescimento urbano. Segundo Santos (2004), a tendência do mundo atual é uma aceleração cada vez maior dos processos de transformação da paisagem. Conseqüentemente, a necessidade de compreender melhor a dinâmica deste processo de transformação tem colocado, nas últimas décadas, a discussão do ambiente urbano como objeto de estudo constante em diversas áreas do conhecimento humano.

O avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e a maior disponibilidade de sistemas sensores expandiram o leque de aplicações de imagens digitais, devido, principalmente, à significativa melhoria nas resoluções espacial, temporal e radiométrica dos sistemas (EHLERS, 2007).

Estes avanços justificam a crescente utilização desses produtos em estudos urbanos, e as potencialidades do sensoriamento remoto têm sido demonstradas e confirmadas nas mais diferentes aplicações, conforme pode ser observado em Pinho et al. (2009), Durieux et al. (2008), Hofmann et al. (2008), Blaschke e Kux (2007), entre outros. O detalhamento propiciado pela resolução de um metro ou inferior, possibilita a análise e o mapeamento do uso do solo em um nível nunca realizado anteriormente com imagens orbitais (BLASCHKE e KUX, 2007).

De clara importância para o planejamento e monitoramento urbano, o mapeamento em grandes escalas pode ser contemplado pelas imagens de sensoriamento remoto, que isoladamente facilitam a atualização de bases cadastrais e, quando associadas a outras fontes de dados, como mapas temáticos, por exemplo, possibilitam, principalmente em áreas urbanas, o monitoramento da dinâmica espaço-temporal, a detecção de áreas de ocupações irregulares, o estabelecimento de novas áreas para construções, estudos de impermeabilização do solo, dentre outros (KUX e ARAÚJO, 2008; ANTUNES e CORTESE, 2007). As imagens de alta resolução e seus produtos derivados tornam-se cada vez mais necessárias aos gestores urbanos, como suporte

para tomada de decisões técnicas (MELO, 2003).

Atualmente, há um grande número de estudos dedicados à identificação de alvos urbanos com imagens orbitais de alta resolução usando diferentes técnicas de classificação. Dentre estes procedimentos, destacam-se os classificadores por *pixel*, como o MAXVER (PAES, 2003); por distância mínima e redes neurais (HEROLD et al. 2002; BENEDIKTSSON et al., 2003); classificadores texturais (SOUZA et al., 2003; DE KOK et al., 2003) e classificadores orientados a objeto (HOFMANN, 2001a, 2001b, 2001c; PINHO, 2005; ALMEIDA et al., 2007; HOFMANN et al., 2008).

Um dos problemas no mapeamento do uso do solo em ambientes urbanos, por meio do sensoriamento remoto, é a ausência de relações diretas entre as categorias de uso do solo e a reflectância espectral detectada, sendo esta relacionada à cobertura do solo. Para Jensen e Cowen (1999), a cobertura da terra (*land cover*) refere-se aos aspectos físicos da superfície de uma dada parcela do solo, por exemplo, grama, concreto, água, etc. Uso do solo (*land use*) refere-se à atividade humana, ao modo como o solo está sendo utilizado, ou seja, à atividade do homem sobre o solo. O uso do solo é um conceito abstrato, uma mistura de fatores culturais e econômicos, a maioria dos quais não pode ser diretamente determinada através do sensoriamento remoto (BARNSELY et al., 2001).

Hay e Castilla (2006) apontam que a abordagem orientada a objeto para este tipo de estudo possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens porque os objetos a serem analisados não são *pixels* isolados, mas grupos de *pixels* (regiões). O aumento no número de variáveis consideradas na classificação permite a descrição de cada região usando parâmetros que vão além das informações espectrais, possibilitando que as regiões sejam caracterizados por diferentes atributos de forma (área, altura, largura, densidade, altura da borda, entre outros), textura, relações de vizinhança, entre outros, e assim melhorar o processo de classificação.

Os trabalhos de Herold et al. (2002) e Andrade et al. (2003) mostram que a análise de imagens orientada a objeto produz melhores resultados quando comparada com

técnicas baseadas apenas em informação espectral. Segundo Hoffmann e Van der Vegt (2001), a classificação de objetos urbanos deve incorporar informações espaciais, como forma e relações topológicas, para que seja possível a distinção entre os alvos.

Dada a importância do mapeamento dos diferentes usos do solo intra-urbano, enquanto informações úteis aos planejadores, tornam-se cada vez mais necessárias melhorias nesse processo, tais como àquelas obtidas através da classificação orientada a objeto (GONÇALVES et al., 2003).

Uma questão que dificulta o mapeamento do uso do solo é o fato das cidades não possuírem distribuição regular de usos ao longo de seu tecido urbano, possuindo áreas com maior ou menor heterogeneidade de objetos, coberturas (diferentes materiais) e categorias de usos do solo. Dentre os fatores condicionantes da heterogeneidade da ocupação do solo urbano estão as mudanças nas leis de zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo ao longo dos anos e o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas.

Outro fator limitante é a disponibilidade, de forma fácil e a baixos custos, de metodologias para manipulação de imagens de alta resolução em áreas urbanas para a comunidade de sensoriamento remoto. Geralmente, os pesquisadores fazem uso do sistema comercial Definiens Developer (DEFINIENS, 2007), que possui ferramentas de processamento orientadas a objeto; todavia, este sistema é caro. Recentemente, pesquisadores do INPE e PUC-RJ estão desenvolvendo um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento, de uso e distribuição livre e gratuita, conhecido por InterIMAGE (COSTA et al., 2008).

Com o intuito de dar continuidade aos estudos acerca do mapeamento de uso do solo urbano utilizando sensoriamento remoto, o trabalho proposto busca classificar imagens QuickBird para o mapeamento do uso do solo no contexto metropolitano, utilizando o *software* livre InterIMAGE. Desta forma, extrapola-se o contexto intra-urbano ao se selecionar uma área de estudo de características mais complexas, em termos de diversidade de categorias de uso do solo, se comparadas às áreas

homogêneas analisadas nos estudos já realizados.

1.1 Objetivos

Diante dos fatos mencionados anteriormente, este trabalho propõe desenvolver um modelo de conhecimento para o mapeamento de uso do solo urbano, no contexto metropolitano, utilizando imagens orbitais de alta resolução espacial (QuickBird) e o *software* livre InterIMAGE.

Esta pesquisa buscará também discutir a classificação de uso do solo em áreas urbanas, estendendo os estudos de Hofmann et al. (2008), Almeida et al. (2007), Araújo (2006), Pinho (2005), Novack (2009a), e como forma de contribuição para o Grupo de Estudos Urbanos (GEU – DSR – INPE). Ao utilizar o modelo de classificação de Novack (2009a), desenvolvido a partir de Pinho (2005), será verificada a validade do modelo quanto à sua aplicação em um contexto urbano mais complexo, e serão apontadas as adaptações necessárias para realização da classificação do uso do solo na área de estudo em questão.

No que tange às áreas do planejamento urbano e regional, esta pesquisa pretende verificar se a ocupação atual no entorno do trecho existente do Rodoanel (Trecho Oeste) condiz com o planejado. Busca-se determinar se foram atendidos os objetivos iniciais (década de 1990), como por exemplo, a implantação de áreas verdes ao longo das pistas; e se o uso do solo das áreas lindeiras encontra-se regular, obedecendo às diretrizes dos Zoneamentos segundo os Planos Diretores dos municípios em que se insere: São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Cotia e Embu.

A principal contribuição desta pesquisa será subsidiar o controle do parcelamento, uso e ocupação do solo pelos municípios com informações atualizadas sobre as categorias de uso do solo urbano, além de servir como base para outros tipos de pesquisa, sob o ponto de vista do desenvolvimento sustentável, mobilidade, entre outros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Classificação do Uso do Solo Urbano

Segundo Novo (2007) há uma distinção entre cobertura e uso da terra. Enquanto o primeiro termo refere-se ao tipo de revestimento da terra, o segundo remete à sua utilização cultural. Para Jensen e Cowen (1999), o uso do solo refere-se ao modo como a terra é utilizada e a cobertura diz respeito aos materiais encontrados sobre a superfície.

O mapeamento de cobertura e uso do solo urbano através de imagens de sensoriamento remoto tem sido largamente explorado, utilizando, a princípio, dados com resolução espacial menos refinada do que o empregado atualmente. Niero (1978) utilizou dados do satélite LANDSAT 1 para classificação do uso do solo intra-urbano de São José dos Campos, aplicando o classificador de amostra baseado na distância Bhattacharyya, tendo analisado as classes residencial unifamiliar, residencial multifamiliar, comercial, industrial, institucional, agrícola e desocupada.

Utilizando dados dos satélites SPOT, Lo (1995) desenvolveu estimativa de unidades residenciais, classificando automaticamente as imagens em classes residencial-alta-densidade, residencial-baixa-densidade, espaços vazios, industriais, áreas governamentais, áreas de recreação. As maiores precisões obtidas foram de 86%. Por sua vez, Gong e Howarth (1992) desenvolveram uma metodologia baseada em classificação contextual para analisar a franja rural-urbana da área metropolitana da cidade de Toronto, usando imagens multiespectrais SPOT. Das classes de uso do solo analisadas, oito relacionam-se ao uso do solo urbano: residencial unifamiliar antiga, residencial unifamiliar recente, industrial/comercial/institucional, construções abandonadas, campos de golfe, parques, solo exposto, áreas em construção (presença de fundações).

A partir do lançamento dos satélites Ikonos II (1999), QuickBird II (2001), OrbView III (2003), CBERS (2007), GeoEye (2008), a grande complexidade espacial do fenômeno urbano deixa de limitar o uso de sensoriamento remoto orbital para estudo desse

ambiente (SOUZA et al., 2003). Os produtos digitais permitem, cada vez mais, discriminar os alvos na superfície terrestre, anunciando uma revolução nos estudos intra-urbanos, considerando a potencialidade destes produtos para a identificação dos elementos que compõem os espaços urbanos (GONÇALVES et al., 2005).

Pinho et al. (2009) desenvolveu um modelo de classificação de bairros urbanos a partir de imagens do sensor QuickBird utilizando o *software* InterIMAGE. A estratégia usada para a classificação dos bairros é a mesma utilizada por Almeida et al. (2007) e por Souza et al. (2007), que utilizam os relacionamentos de classes de cobertura com regiões homogêneas (no caso destes experimentos, zonas residenciais) para caracterizar estas regiões. O trabalho demonstra que a estratégia de interpretação do InterIMAGE é adequada a este tipo de aplicação, tendo sido considerado bom o resultado da classificação.

No mapeamento do uso do solo em ambientes urbanos utilizando técnicas de sensoriamento remoto, a questão fundamental reside na ausência de relações relativamente diretas entre as categorias de uso do solo e a reflectância espectral registrada pelos sensores, pois esta informação relaciona-se à cobertura do solo – ou seja, aos materiais (naturais e artificiais) presentes na cena.

O uso do solo, por sua vez, é um conceito abstrato, que consiste numa mistura de fatores culturais e econômicos, a maioria dos quais não pode ser diretamente determinada através do sensoriamento remoto (BARNESLEY et al., 2001). O uso do solo é determinado por uma série de “regras” específicas segundo o Plano Diretor que o criou, podendo ser distinto, portanto, de um município para outro.

A identificação e espacialização das diferentes categorias de uso do solo urbano são de fundamental importância ao planejamento, auxiliando o diagnóstico das cidades. Segundo o Estatuto das Cidades - Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que regulamenta os artigos da Constituição relativos à política urbana, é dever do município disciplinar o parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo que o cumprimento desta atribuição depende da manutenção de uma base de dados atualizada.

As cidades, por sua vez, não possuem distribuição regular de usos ao longo de seu tecido urbano, possuindo áreas com maior ou menor heterogeneidade de objetos, coberturas (diferentes materiais) e categorias de usos do solo. Dentre os fatores condicionantes da heterogeneidade da ocupação do solo urbano, podem-se citar as mudanças nas leis de zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo ao longo dos anos, o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas, entre outros.

2.2 Imagens de Alta Resolução

Em estudos para identificação de feições urbanas, Jensen e Cowen (1999) consideram que a resolução espacial é mais importante que a espectral, e a resolução espectral (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) existente atualmente nos sensores de resolução espacial muito alta é suficiente para tais pesquisas.

A resolução espacial “muito alta” do sensor QuickBird II possibilita a identificação de uma série de objetos no espaço urbano que outrora eram distinguíveis somente a partir de fotografias aéreas adquiridas por sensores aerotransportados em baixa altitude (EHLERS, 2007). Entretanto, este sensor também possui alta resolução radiométrica, apresentando imagens com 2048 níveis de cinza, o que equivale a 11 *bits* de resolução. Esta característica, associada à alta resolução espacial, permite aumentar consideravelmente o poder de distinção entre alvos.

No entanto, a resolução espacial muito alta também introduz novos problemas para a extração automática e semi-automática de informações a partir destas imagens. O principal deles é que os objetos de interesse no ambiente intra-urbano (edifícios, casas, quadras esportivas, piscinas, etc.) são maiores do que os *pixels* da imagem, resultando numa grande variabilidade interna do número digital (ND) dos *pixels* dentro de uma mesma classe (PINHO, 2005).

Desta forma, a extração de informações desses dados de alta resolução espacial em estudos urbanos demanda, desta forma, a utilização de procedimentos semi-automáticos de classificação das imagens, que permitam a inserção do conhecimento

do intérprete para construir as regras de classificação (PINHO, 2005). A partir dos elementos utilizados na fotointerpretação, como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto, estes sistemas baseados em conhecimento configuram-se como uma alternativa promissora para a distinção de alvos urbanos (BAUER e STEINNOCHER, 2001; MEINEL et al., 2001).

2.3 Análise Orientada a Objeto

Segundo Blaschke e Kux (2007), uma grande revolução no processamento digital de dados de sensoriamento remoto vem ocorrendo, principalmente devido ao aumento das resoluções espaciais, que exigem um novo tipo de processamento além da observação dos *pixels* de forma unitária. Ao invés de classificar os *pixels* individualmente quanto às suas características espectrais, os novos procedimentos consideram a delimitação de objetos com características espectrais (ou radiométricas) homogêneas como base para o processamento posterior. A classificação passa a considerar informações extraídas desses objetos, como resposta espectral média, variância, dimensões, forma e textura.

Objetos são conceitos, abstrações definidas em um determinado domínio de uma aplicação (RUMBAUGH et al., 2006). Na análise orientada a objetos, um problema ou aplicação é representado por uma coleção de objetos que possuem características próprias e interagem entre si. Desta forma, no domínio do espaço intra-urbano, na aplicação de classificação de cobertura do solo, “telha cerâmica” é um objeto.

Outra característica importante dos objetos é que possuem identidade, sendo distinguíveis pela sua própria existência e não pelas propriedades que possuem. Deste modo, ainda que dois objetos “edifício” possuam características idênticas, eles permanecem únicos, consistindo em dois elementos independentes (PINHO et al., 2007).

Em outra instância, a classificação passa a ser influenciada não apenas pelas características dos objetos outrora definidas, mas também pelo contexto. As

informações contextuais descrevem como um objeto de interesse pode ser afetado pelos objetos vizinhos, associando-se informações do ambiente ao elemento.

Na maior parte dos casos, a análise de imagens limita-se a extrair as estruturas relevantes de interesse em uma imagem e à sua contagem e medição. Desta forma, a qualidade da segmentação nas primeiras etapas do processo influencia diretamente no desempenho da metodologia. A segmentação acurada de unidades relevantes, no entanto, consiste, muitas vezes, em uma tarefa desafiadora. O uso de métodos de segmentação em múltiplas resoluções melhora o desempenho da segmentação e consequentemente os resultados da classificação.

Normalmente, os métodos não-supervisionados de segmentação falham completamente, e aqueles supervisionados baseados em *pixels* não apresentam bom desempenho em diversos campos de aplicação. Felizmente, a classificação orientada a objeto para análise de imagens tem alcançado um progresso significativo nos últimos anos (BAATZ, 2006).

As abordagens orientadas a objeto são iniciadas com objetos primitivos, que serão processados através de muitos passos iterativos, até que os objetos de interesse sejam criados. Neste processo, dois tipos de conhecimentos interagem entre si de maneira complementar: o conhecimento processual e o descritivo. Somente quando ambos os tipos de conhecimento se reúnem torna-se possível o processamento específico de diferentes classes de objetos.

As abordagens orientadas a objeto são intrinsecamente baseadas no conhecimento. Durante o processamento, o conhecimento deve estar disponível de modo explícito e estruturado, o que pode ser conseguido por meio da criação manual desse conhecimento, utilizando uma linguagem de programação. Uma alternativa consiste na seleção de amostras dos objetos de interesse por meio de processos de treinamento. Uma funcionalidade adequada de aprendizagem torna-se, então, capaz de transformar esses conhecimentos implícitos em conhecimento explícito, que é então usado para executar todos os passos necessários para uma boa segmentação (BAATZ, 2006).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos mundialmente para mapeamento de uso de solo, usando a abordagem orientada o objeto, conforme descrito anteriormente. Dentre os trabalhos de maior relevância para esta pesquisa, realizados com áreas urbanas brasileiras, pode-se citar Hofmann et al. (2008), Almeida et al. (2007), Souza et al. (2007), Araújo (2006), Pinho (2005), Novack (2009a).

No caso deste trabalho, a base de conhecimentos provém, principalmente, da pesquisa de Novack (2009a) que elaborou uma estratégia de interpretação automática das cenas QuickBird para delimitação espacial e análise multitemporal da favela Paraisópolis (São Paulo – SP), explorando os operadores que foram desenvolvidos especificamente para o sistema InterIMAGE no decorrer do ano de 2008, apresentando, assim, as potencialidades da rede semântica do novo sistema.

2.4 Sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento

Os sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento modelam, em ambiente computacional, o conhecimento do intérprete e emulam sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e diferentes formatos na avaliação de imagens de sensoriamento remoto (FEITOSA et al., 2005). Estes sistemas integram, em linhas gerais, algoritmos de segmentação, estruturação de classes na forma de redes semânticas, classificação baseada em regras e a possibilidade de integração de imagens multissensores e dados vetoriais (PINHO, 2005).

Nos sistemas baseados em conhecimento, a classificação leva em conta informações extraídas dos objetos, tais como a resposta espectral média, variância, dimensões, forma, textura, contexto, além da identidade única de cada objeto, produzindo resultados mais precisos, especialmente em se tratando de cenas de áreas urbanas, onde a complexidade e heterogeneidade dos alvos tornam a abordagem *pixel-a-pixel* inviável, tanto pelos resultados imprecisos, como pelo tempo de processamento. A gama de descritores da abordagem orientada a objeto, aliada à capacidade de classificação hierárquica pela herança de atributos e à possibilidade de uso de regras de decisão *fuzzy* (DEFINIENS, 2007) faz com que o sistema possa apreender a interpretar

cenar complexas a partir da inserção, por parte do analista, da lógica de interpretação de um intérprete humano.

A respeito dos sistemas de interpretação de imagens baseados em conhecimento, Pinho (2005) faz uma consideração importante. Como o funcionamento destes sistemas baseia-se na introdução do conhecimento do analista a respeito da cena, sendo uma formalização da “visão” de um determinado indivíduo sobre uma cena específica, o resultado da classificação passa a ser um reflexo do conhecimento (informações coletadas *a priori* sobre a área a ser classificada) e da capacidade de compreensão do analista (fortemente influenciada por sua formação profissional e experiência) a respeito de uma determinada cena¹.

Estes sistemas armazenam o conhecimento específico da aplicação de modo explícito e de modo independente da estratégia geral de solução de problemas (PAHL, 2008). No caso do sistema InterIMAGE, que será descrito a seguir, esta representação do conhecimento de modo explícito é feita através da rede semântica.

2.5 InterIMAGE

No âmbito de desenvolvimento dos métodos de análises do ambiente urbano em sensoriamento remoto, insere-se o projeto do *software* livre InterIMAGE, resultado da cooperação entre a Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR e Divisão de Processamento de Imagens - DPI, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, o Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC-DEE/PUC-RJ), e a Universidade

¹ Antunes (2003) comprovou que o resultado da classificação é influenciado pelo analista que a estrutura. O autor faz uma comparação dos resultados de duas classificações de uma mesma cena (utilizando a abordagem baseada em conhecimento), onde cada uma delas é realizada por um analista. O autor concluiu que as diferenças variam desde a definição das classes de interesse até como o conhecimento é estruturado.

Leibniz de Hannover (Alemanha). O novo aplicativo para a interpretação de imagens baseado em conhecimento, que é de domínio público e possui código aberto, consiste basicamente na adaptação para o TerraLib (DPI-INPE, TecGraf-PUCRJ, FUNCATE) do *software* aplicativo livre GeoAIDA (TNT – Instituto para Tecnologia da Informação, Universidade de Hannover; BÜCKNER et al., 2001), do qual herdou a estrutura de conhecimento, o *design* e os mecanismos de controle (COSTA et al., 2007).

O *software* GeoAIDA consiste num desenvolvimento do AIDA (*Automatic Image Data Analyser*) (LIEDTKE et al., 1997), que utiliza redes semânticas para a representação explícita do conhecimento prévio dos objetos presentes na imagem, as quais detêm propriedades e relações dos diferentes nós, facultando o uso de operadores holísticos em todos os níveis da rede semântica, aumentando assim o grau de liberdade relativo à sua hierarquia de níveis (BÜCKNER et al., 2001; LIEDTKE et al., 2001). Desta forma, é possível extrair regiões de imagem de maneira abstrata sem a necessidade de executar o reconhecimento detalhado dos componentes destas regiões. Este sistema é capaz de incorporar os operadores holísticos aos nós da rede, tratando a imagem de forma estrutural nos casos em que estes operadores sejam impossibilitados de atuar. O sistema é flexível à classificação de imagens multissensores, por sua capacidade de controle holístico e simultânea análise estrutural. A principal vantagem destes métodos é a redução do tempo gasto na interpretação do conhecimento, que envolve pesada carga computacional.

Em termos de estratégia de interpretação, o InterIMAGE possui uma arquitetura mais flexível do que o aplicativo Definiens Developer (DEFINIENS, 2007). A combinação de uma análise comandada por modelo seguida de uma análise comandada por dados, como realizado pelo InterIMAGE, apresenta o potencial da melhoria da eficiência computacional, em comparação com Definiens Developer, que segue uma estratégia puramente comandada por dados. Assim, o InterIMAGE oferece a modelagem de conhecimento, recurso não disponível no Definiens Developer. Desta forma, o InterIMAGE extrapola os horizontes do Definiens Developer ao desempenhar classificação orientada a objeto e baseada em conhecimento, permitindo a

implementação de habilidades multitemporais e funções automáticas de extração de conhecimentos (COSTA et al., 2007).

Recentemente, a versão Windows do sistema foi criada e uma versão mais completa do InterIMAGE encontra-se em desenvolvimento (com recursos da FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos). A melhoria do sistema prevê a criação de diversos operadores para extração de objetos, geração de interface para a edição de regras *fuzzy*, criação de operadores com capacidade multitemporal, dentre outros avanços (COSTA et al., 2007).

Os operadores do InterIMAGE são implementados usando a biblioteca TerraLib. Segundo Novack (2008), atualmente alguns dos algoritmos implementados no módulo de processamento de imagens da TerraLib e usados na construção de operadores são: filtros morfológicos, detectores de bordas, segmentação por crescimento de regiões, estatística por polígono, aritmética de imagens, extrator de textura, transformação no espaço de cores IHS – RGB, etc.

Segundo Pinho et al. (2009), o sistema suporta, atualmente, qualquer algoritmo de processamento de imagens que esteja integrado à biblioteca TerraLib como operador *top-down*. E como operador *bottom-up* está disponível apenas o *bottom-up* Genérico, operador de desempate de hipóteses baseado em regras de descrição escritas em linguagem de pilha polonesa reversa². O usuário, contudo, não necessitará dominar a linguagem polonesa reversa, podendo contar com uma interface gráfica de uso interativo, o que permitirá a descrição de regras de decisão (NOVACK, 2009b).

² Segundo Pinho et al. (2009), encontra-se em curso o encapsulamento desta linguagem e criação de uma interface de construção de regras de decisão mais amigável para os usuários finais nas próximas versões do InterIMAGE.

A seguir, os principais conceitos e a estratégia de análise do sistema InterIMAGE serão descritos com mais detalhes.

Rede Semântica

Uma rede semântica é uma forma de representação do conhecimento definida como um grafo direcionado, no qual os vértices (ou “nós”) representam objetos, conceitos, idéias, acontecimentos ou fatos; e as arestas (ou “arcos”) representam relações semânticas entre os nós (PAHL, 2008). A rede semântica é uma forma de representação gráfica do conhecimento utilizado para a interpretação de uma imagem e fornecem uma estrutura de relação entre os objetos de uma cena (PAHL, 2008).

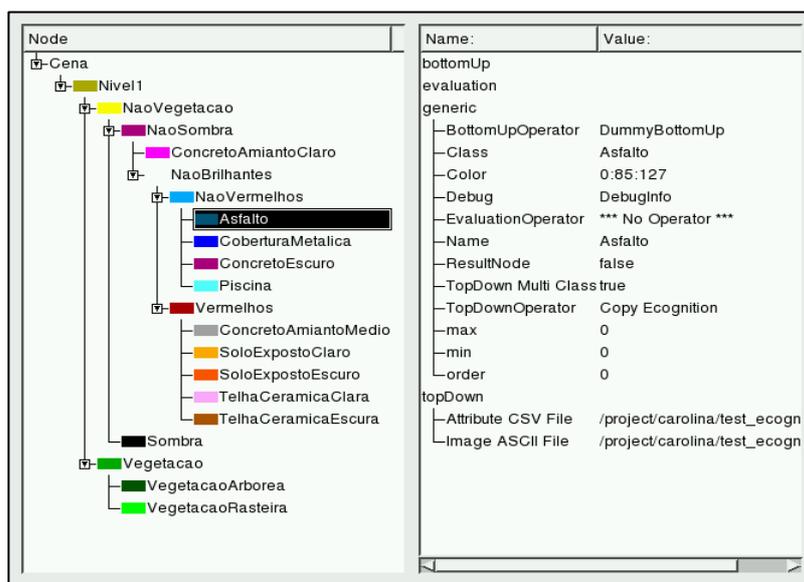


Figura 2.1 – Rede semântica desenvolvida no InterIMAGE (utilizando operador *top-down* do eCognition).

Fonte: Costa, 2008.

Segundo Costa et al. (2008), na maior parte dos sistemas que utilizam redes semânticas para a representação do conhecimento, somente os “nós-folha” da rede podem ser associados a operadores de processamento de imagens. Um operador é programa executável responsável por efetuar a análise de uma região definida de uma imagem e repassar o resultado para os nós a ele conectados (COSTA et al., 2008). Essa abordagem pode resultar numa excessiva carga computacional, uma vez que todos os objetos da imagem devem ser necessariamente avaliados por todos os operadores.

No InterIMAGE, para reduzir este problema, operadores “holísticos” (LIEDTKE et al., 1997), que permitem que a conexão de dados possa ocorrer em qualquer nó da rede semântica, podem ser usados. Trata-se de operadores de classificação que se destinam a identificar objetos correspondentes aos conceitos representados pelos nós da rede semântica, buscando identificar objetos específicos independentemente da identificação de seus componentes estruturais (de nível semântico mais baixo), associados aos nós descendentes da rede semântica (COSTA et al., 2008).

A tarefa básica dos operadores holísticos no InterIMAGE consiste em realizar uma classificação preliminar da imagem em grupos de regiões, e assim definir quais das etapas subseqüentes do processo de interpretação serão aplicadas a cada grupo. Desta forma, nem todas as etapas seguintes serão aplicadas a todos os objetos da imagem, o que contribui para uma melhor eficiência computacional. Por meio da interpretação estrutural das regiões, as regiões produzidas, ou hipóteses de regiões, serão processadas por operadores anexados em cada nó do nível inferior correspondente na rede semântica, validando ou descartando os resultados do operador holístico.

Os nós sem operadores holísticos necessariamente devem ser reconhecidos estruturalmente a partir dos seus sub-nós. Na rede semântica do InterIMAGE, pode haver nós em que ao menos um de seus sub-nós deve ser validado (este é o caso do nó ‘region’ na rede semântica da Figura 2.2). Esta semântica é definida por regras de decisão conectadas a cada nó da rede semântica (COSTA et al., 2007; PAHL, 2008).

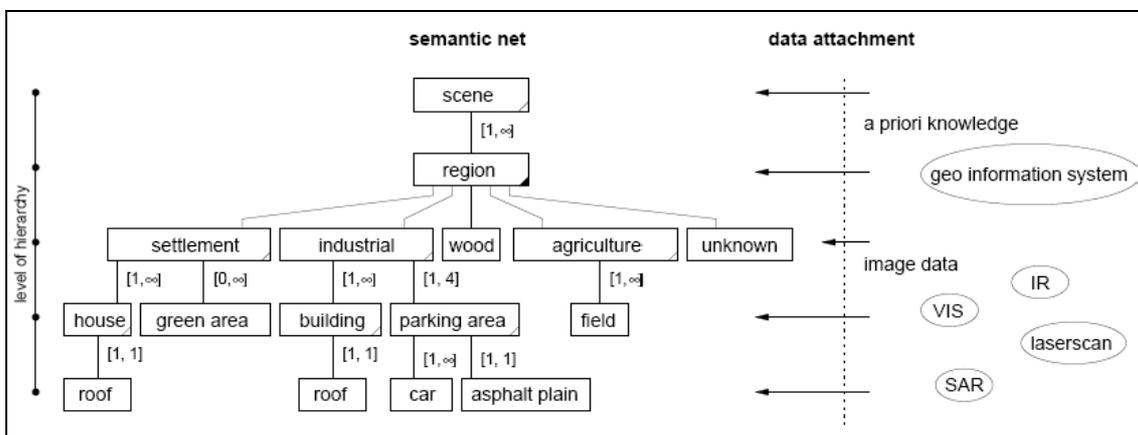


Figura 2.2 – Exemplo da rede semântica.

Fonte: Bückner et al., 2001.

No InterIMAGE, a representação do conhecimento é separada do processo de análise devido aos operadores holísticos poderem segmentar a imagem em qualquer nível da rede semântica, o que permite que os dados para a análise sejam independentes da rede. Os operadores também podem processar diferentes tipos de dados para cada nó da rede semântica, sendo possível, por exemplo, que dados de um SIG e dados de diferentes sensores sejam integrados na análise (COSTA et al., 2007; PAHL, 2008).

Operadores

A cada nó da rede semântica está vinculado um operador, um programa executável responsável por efetuar a análise de uma região definida de uma imagem e repassar o resultado para os nós a ele conectados. Um operador pode ser implementado na forma de um programa externo trazendo flexibilidade ao sistema além de possibilitar colaboração de terceiros para a criação de novos operadores que podem ser independentes entre si e independentes do restante do sistema (COSTA et al., 2008).

Os operadores têm a função de extração de objetos que se espera encontrar na cena analisada, por meio de segmentação da imagem. São realizadas operações de limiares (*thresholds*) e operações baseadas em textura ou no modelo e podendo utilizar diferentes tipos de imagens e vetores co-registrados.

O problema de diferentes operadores poderem gerar interpretações diferentes para uma mesma região da cena é resolvido por conhecimentos adicionais inseridos nos nós da rede semântica para analisar a competição entre as diferentes interpretações. Os operadores podem ser acionados na etapa *Top-down* ou *Bottom-up* (COSTA et al., 2007; CASTEJÓN, 2006).

Etapas *Top-down* e *Bottom-up*

O processo de interpretação de uma imagem pode ser dividido em duas etapas: na primeira, a rede semântica, pré-definida pelo usuário, é passada ao sistema juntamente com as imagens, e a partir daí várias hipóteses são formadas sobre a

existência de objetos na cena; na segunda etapa, todas as hipóteses são testadas e a descrição simbólica do conteúdo da cena é gerada e apresentada em uma interface gráfica de usuário (COSTA et al., 2007).

No InterIMAGE, as etapas deste processo de interpretação de imagens chamam-se *top-down* (“do cima para baixo”) e *bottom-up* (“de baixo para cima”). A etapa *top-down* percorre a estrutura hierárquica da rede semântica e dispara os operadores holísticos de cada nó, formando assim uma rede de hipóteses cujos nós são sub-regiões da imagem candidatas ao conceito (classe) de nó. Esta etapa é baseada no modelo (rede semântica) (PINHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2008; COSTA et al., 2007).

O agrupamento das hipóteses e a validação ou refutação das sub-regiões geradas na etapa *top-down* é tarefa dos operadores *bottom-up*, baseados em dados (hipóteses de regiões para os conceitos). A rede de instanciações final é resultante da análise *bottom-up*: ao alcançarem o topo da rede semântica, os operadores *bottom-up* geram imagens rotuladas para os diferentes níveis da rede semântica (PINHO et al., 2009; COSTA et al., 2007).

A etapa *top-down* gera medidas de consistência para as hipóteses que serão consideradas na etapa *bottom-up*, que decidirá qual interpretação será dada a regiões que possuem interpretações alternativas (OLIVEIRA et al., 2008; COSTA et al., 2007; PAHL, 2008).

A Figura 2.3 mostra a rede semântica elaborada para o experimento de Pinho et al. (2009). Cada caixa representa um nó, na rede, um conceito, e no âmbito do estudo, uma classe. Em vermelho estão as regras que foram convertidas em operadores *top-down*, e em azul, as que foram convertidas em regras do operador *Bottom-up* Genérico.

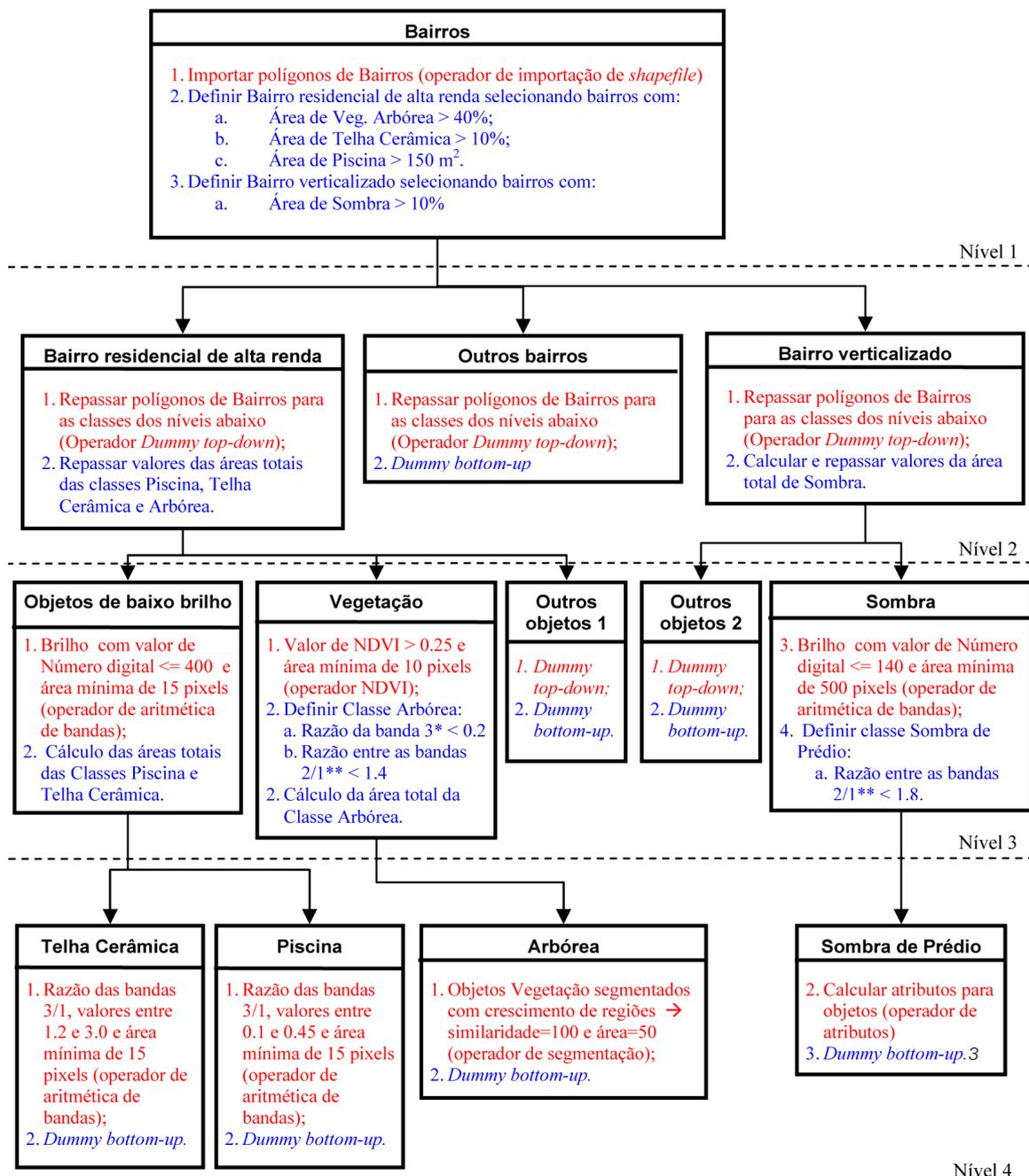


Figura 2.3 – Rede semântica elaborada no InterIMAGE para o Experimento de Pinho et al. (2009).

Fonte: Pinho et al., 2009.

³ Segundo Pinho et al. (2009), o operador *Dummy top-down* é um operador que não cria novas hipóteses, apenas repassa as hipóteses que recebeu das classes acima para as classes abaixo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A Região Metropolitana de São Paulo tem apresentado desequilíbrio de seu crescimento demográfico da metrópole, segundo o Levantamento Censitário de 2000, realizado pelo IBGE. Enquanto as zonas centrais dos principais municípios da região, incluindo São Paulo, Guarulhos, ABC e Osasco, perderam população residente no período entre os anos de 1991 e 2000, existem áreas localizadas principalmente nas franjas urbanas que cresceram a taxas extremamente elevadas no mesmo período. A fração mais consolidada da metrópole cai de 6,7 milhões para 6,0 milhões de habitantes, enquanto que as demais áreas crescem de 7,7 milhões para 10,3 milhões

De uma forma geral, a partir de 1980, é possível identificar um acentuado crescimento do número de empreendimentos de grande porte em todo o país, construídos para comportar uma grande diversidade de atividades e serviços. Esses empreendimentos atraem um grande número de usuários e, conseqüentemente, de viagens, gerando mudanças no ambiente urbano. Os impactos relacionados a tais empreendimentos apresentam-se de maneira bastante ampla no ambiente urbano, alterando principalmente os padrões, as ocupações e a valorização do solo, sobretudo na área de influência direta do empreendimento. O mapeamento, identificação e posterior análise dessas alterações são de extrema relevância para o planejamento urbano e de transportes, podendo subsidiar os órgãos competentes no processo de tomada de decisão sobre a gestão do território.

Atualmente, encontra-se em execução o segundo trecho do Rodoanel Mário Covas (SP-21), uma rodovia de acesso restrito que contornará a Região Metropolitana de São Paulo, num distanciamento de 20 a 40 km do centro da capital paulista. A sua extensão total será de 183 km, interligando os grandes corredores de acesso à metrópole: as rodovias-tronco Régis Bittencourt, Raposo Tavares, Castello Branco, Anhangüera, Bandeirantes, Fernão Dias, Dutra, Ayrton Senna, Anchieta e Imigrantes (Figura 3.1) (SET e FESPSP, 2005).

O Trecho Oeste do empreendimento inicia-se na Estrada Velha de Campinas, na zona norte de São Paulo, e segue até a Rodovia Régis Bittencourt, no município de Embu, cortando as rodovias Bandeirantes, Anhangüera, Castelo Branco e Raposo Tavares. Mais especificamente, este trecho possui o objetivo de desviar o tráfego de veículos na porção final da Marginal Tietê e Marginal Pinheiros, facilitando o deslocamento entre as rodovias mencionadas. Também se buscou aliviar o trânsito em outras avenidas que cruzam a região Oeste da Capital, tais como a Corifeu de Azevedo Marques e a Francisco Morato (SET e FESPSP, 2005).

Além de ter sido planejado como uma rodovia de acesso restrito, previu-se também, no contexto mais amplo do Rodoanel, envolver todo o traçado por largas faixas não-ocupadas ou preenchidas por áreas verdes, principalmente nas proximidades de áreas residenciais, visando evitar a ocupação das áreas lindeiras. Não obstante, a simples presença do *projeto* do Rodoanel tem provocado um intenso movimento de especulação imobiliária nessas regiões (STM, 2005).

Apesar de o projeto apresentar diretrizes operacionais para a redução dos diversos modos de impacto que serão gerados, muitos estudos têm sido realizados contestando a qualidade do projeto, incluindo questões quanto à sua localização, forma mais adequada, largura das vias, impactos que serão gerados no meio ambiente e nas suas comunidades periféricas, etc. A ausência de mecanismos para garantir que o projeto do Rodoanel não se descaracterize ao longo dos anos e, conseqüentemente, estimule o adensamento populacional e a especulação imobiliária no seu entorno é uma das principais preocupações daqueles que criticam o empreendimento (LABHAB, 2005).

3.1.1 Áreas-Teste

A área de estudo situa-se na região Noroeste da Região Metropolitana de São Paulo (Figura 3.1) e está localizada entre os meridianos 46°49'46"O e 46°47'52"O e os paralelos 23°31'16"S e 23°34'50"S. Esta área de estudo está dividida em duas áreas-teste, conforme ilustrado pela Figura 3.2. A Tabela 3.1 mostra as coordenadas e as dimensões de cada área-teste.

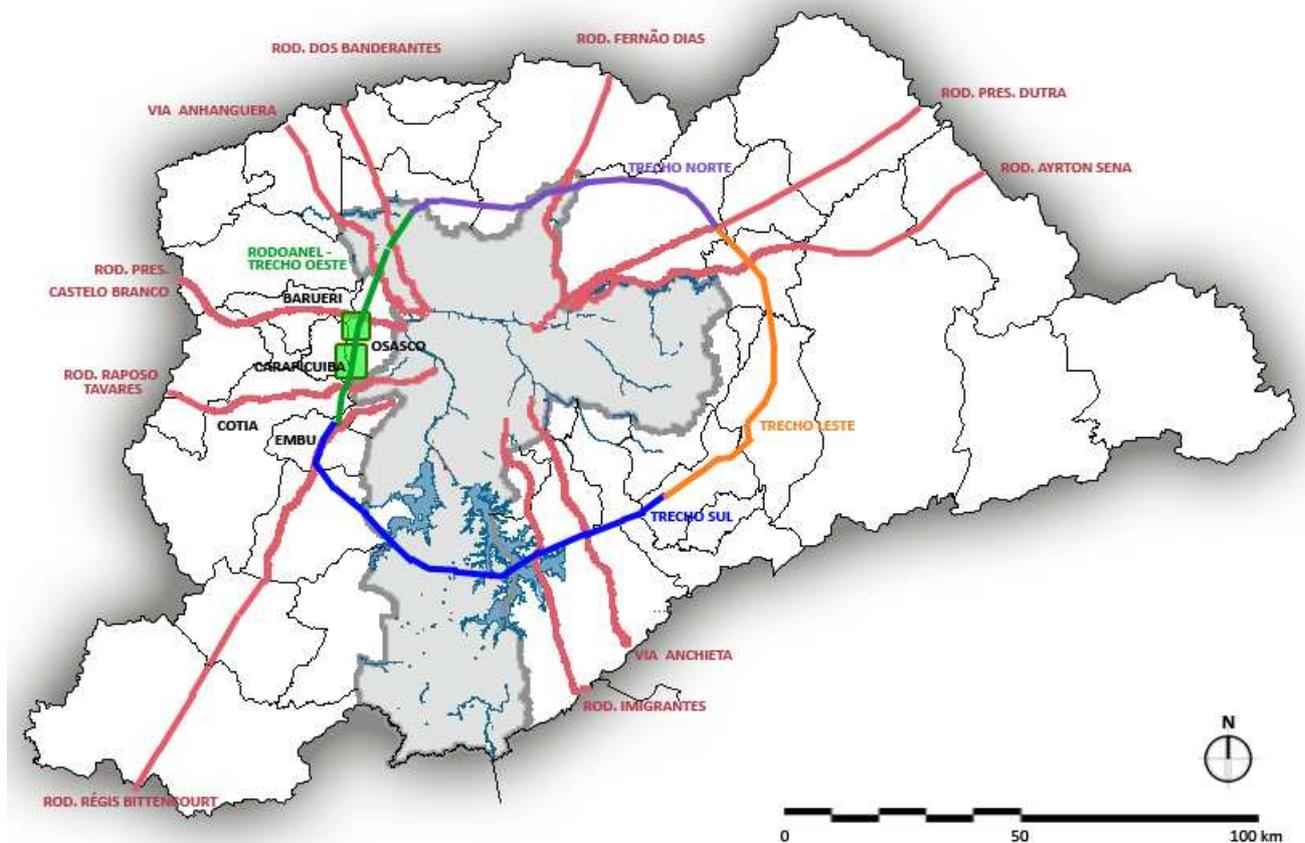


Figura 3.1 – Situação do Rodoanel Mário Covas na Região Metropolitana de São Paulo. Em verde, o Trecho Oeste (concluído); em azul, Trecho Sul (em construção). Os quadrados verdes (à esquerda) mostram as três áreas-teste.

Fonte: adaptado de InfoLocal – SEMPLA, 2002.

As áreas-teste a serem estudadas foram delimitadas considerando-se a grande quantidade de alvos urbanos presentes em tais áreas, como piscinas, vegetação rasteira e arbórea, diferentes tipos de telhados (diferentes materiais de cobertura), edifícios com gabaritos de altura diversos, galpões industriais, etc., o que constitui um desafio no que tange à construção de uma rede hierárquica e à geração de operadores que contemplem estes diferentes tipos de usos e coberturas do solo.

Tabela 3.1 – Sub-áreas de estudo

	RETÂNGULO ENVOLVENTE	ÁREA
ÁREA 1	Superior esquerdo: 23° 31' 16" S 46° 49' 46" O	7,21 km ² [2,91 x 2,48 km]
	Inferior direito: 23° 32' 38" S 46° 48' 01" O	
ÁREA 2	Superior esquerdo: 23° 33' 26" S 46° 49' 14" O	8,51 km ² [3,34 x 2,55 km]
	Inferior direito: 23° 34' 50" S 46° 47' 52" O	

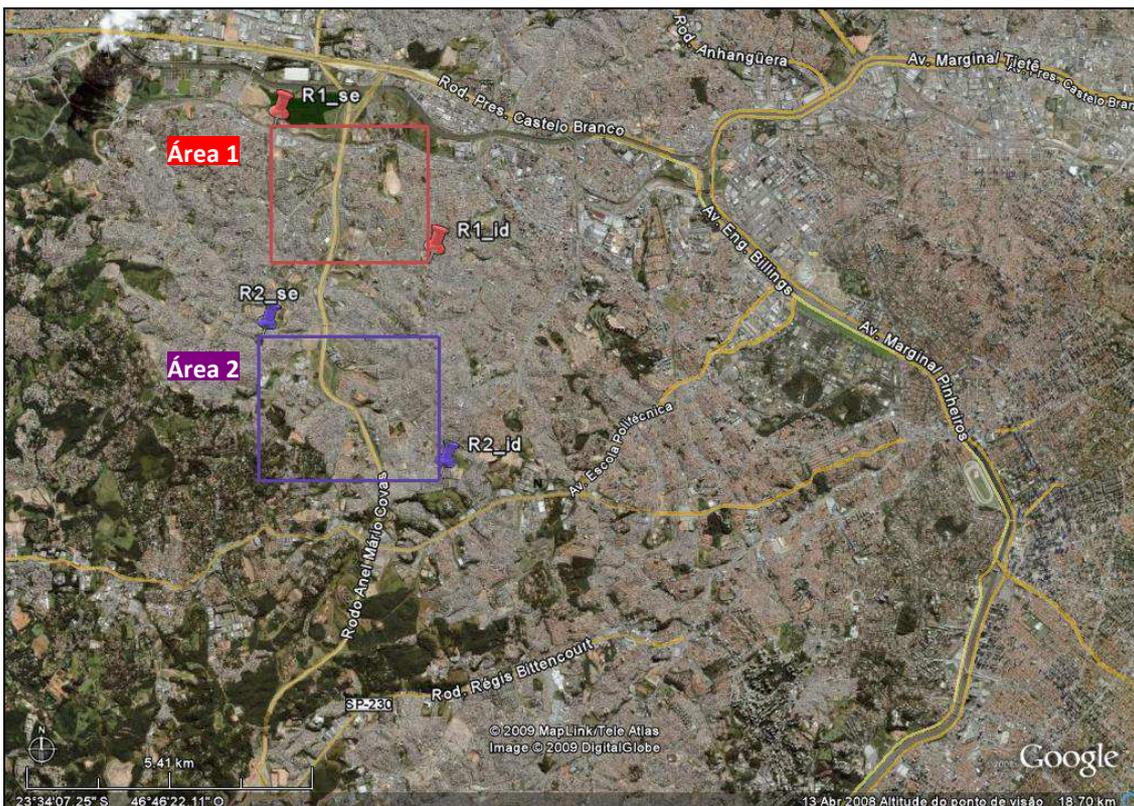


Figura 3.2 – Localização da área de estudo ao longo do Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas na RMSP.

Fonte: adaptado de Google Earth. Imagem: QuickBird II, de 13-04-2008 (DIGITALGLOBE, 2009).

A escolha preliminar das áreas-teste foi devido à heterogeneidade do uso do solo, onde é possível encontrar áreas residenciais (vertical e horizontal; de alto, médio e baixo padrões), comerciais, institucionais, de lazer, industriais (principalmente, galpões), além das áreas verdes (desocupadas e/ou protegidas).

Na Área-teste 1, são mais marcantes as ocupações espontâneas e os conjuntos residenciais verticais (COHAB), além de galpões industriais e de armazenamento, áreas comerciais e equipamentos institucionais. Na Área-teste 2, estão localizados os conjuntos residenciais de médio padrão horizontais (Conjunto dos Metalúrgicos) e verticais, condomínios residenciais de alto padrão (Granja Viana), áreas residenciais horizontais de baixo padrão e pequenas áreas comerciais.

Na Figura 3.3 são mostradas as sub-áreas com maior resolução espacial:



Figura 3.3 – Sub-áreas de estudo 1 e 2, respectivamente.

Fonte: adaptado de Google Earth. Imagem: QuickBird II, de 13-04-2008 (DIGITALGLOBE, 2009).

3.2 Dados de entrada

- 1) Cenas do sensor QuickBird II (2008), contendo uma banda pancromática com resolução espacial de 0,61 m e quatro bandas no modo multiespectral (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo) com resolução espacial de 2,44 m. A resolução radiométrica das bandas é de 11 bits. A Tabela 3.2 apresenta as características do sensor.

Tabela 3.2 - Resoluções do sensor QuickBird II

Resolução Espacial (Nominal)	Modo Pancromático: 0,61 m (nadir) – 0,72 m (25° off-nadir)
	Modo Multiespectral: 2,44 m (nadir) – 2,88 m (25° off-nadir)
Resolução Radiométrica	11 bits (2048 níveis de cinza)
Resolução Espectral	Modo Pancromático: 0,45 – 0,90 μm
	Modo Multiespectral (4 bandas): <ul style="list-style-type: none"> • B 1 - Azul: 0,45 - 0,52 μm • B 3 - Vermelho: 0,63 - 0,69 μm • B 2 - Verde: 0,52 - 0,60 μm • B 4 - Infravermelho próximo: 0,76 - 0,90 μm

Fonte: adaptado de DIGITALGLOBE, 2008.

- 2) Modelo Numérico de Terreno a ser obtido junto à DERSA (confeccionados em 1998, com escala de 1:10.000).
- 3) Banco de Dados da Região Metropolitana de São Paulo (base: INFOLOCAL - SEMPLA – DEINFO, 2002), com inserção dos Zoneamentos dos Planos Diretores dos municípios de São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Cotia e Embu.

3.3 Metodologia

Os passos metodológicos a serem seguidos estão resumidos no diagrama de blocos da Figura 3.4. A descrição sucinta de cada passo segue nos itens subseqüentes.

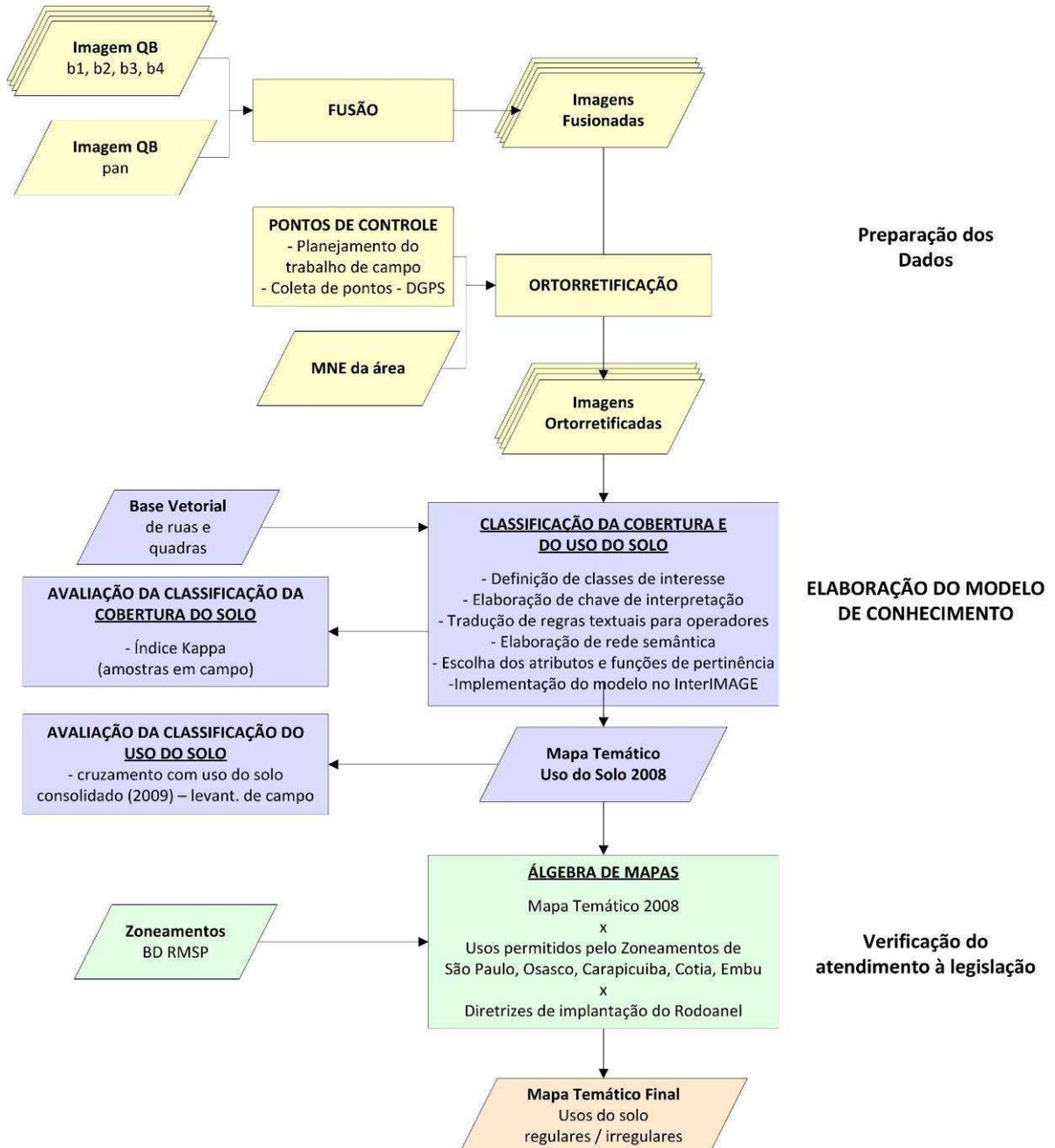


Figura 3.4 – Diagrama de blocos dos passos metodológicos.

3.3.1 Preparação dos Dados

A fase de preparação dos dados refere-se à restauração da imagem na qual são aplicadas operações para a correção de imperfeições geométricas, radiométricas e/ou ruídos que aparecem no processo de aquisição da imagem.

Segundo Mather (2005), Moran et al. (1990), para estudos relacionados com a discriminação entre alvos, as correções radiométrica e atmosférica são desnecessárias principalmente quando se trata de estudos urbanos. Testes realizados com imagens do sensor QuickBird indicaram que as imagens com e sem correção radiométrica apresentam valores de radiância muito semelhantes, quando não ocorrem distorções significativas após a aplicação da correção. Desta forma, esta etapa não constitui parte dos procedimentos de pré-processamento a serem desenvolvidos nesta pesquisa.

Em sensoriamento remoto, a fusão de imagens realizada no domínio espectral tem o objetivo de aumentar a resolução espacial das bandas multiespectrais inserindo a informação espacial mais detalhada da banda pancromática, o que resulta em um produto híbrido (SCHOWENGERDT, 2007). De acordo com Pinho et al. (2005), o método de fusão por Principais Componentes apresenta o melhor desempenho quanto à transferência de detalhes e conservação do conteúdo espectral em relação aos métodos IHS, Brovey, Gram-Schmidt e CN Spectral Sharpening. Mais detalhes sobre o método de fusão por Componentes Principais podem ser encontrados em Mather (2005).

O processo de ortorretificação consiste na correção das diversas distorções geométricas existentes em imagens de sensoriamento remoto causadas especialmente pela posição do satélite, pela superfície física da Terra (relevo e curvatura) e pela projeção cartográfica (SCHOWENGERDT, 2007). Esta etapa é totalmente dependente da realização de trabalho de campo, para coleta de pontos de controle (GCPs – *Ground Control Points*) utilizando equipamento adequado (DGPS - *Differential Global Positioning System*).

Para ortorretificar as imagens, será utilizada a ferramenta OrthoEngine do *software* Geomatica v10.1 (PCI GEOMATICS INC., 2008), com base numa modelagem matemática

rigorosa. Este modelo usa os coeficientes de um polinomial racional (*Rational Polynomial Coefficient* - RPC), contidos nos metadados das imagens, além de um modelo numérico de elevação. Segundo Araújo et al. (2008), o modelo rigoroso é o mais preciso e modela todas as distorções decorrentes do movimento da plataforma (posição, velocidade, atitude), do sensor (ângulos de visada, efeitos panorâmicos), da forma e da representação da superfície da Terra (elipsóide e topografia) e da projeção cartográfica.

3.3.2 Elaboração do Modelo de Conhecimento

A etapa de elaboração do modelo de conhecimento terá como base os procedimentos adotados por Pinho (2005) e Araújo (2006), que utilizaram somente o *software* eCognition (as novas versões do *software* chamam-se Definiens Developer); e Novack (2009a), que transferiu a interpretação da imagem da estrutura de conhecimento do Definiens Developer v7.0 para a estrutura de conhecimento e interpretação do InterIMAGE. Neste trabalho, para o desenvolvimento do modelo de conhecimento, somente será utilizado o *software* InterIMAGE.

A estratégia básica a ser adotada é classificar os tipos de uso do solo com base na ocorrência de determinadas classes de cobertura do solo. Desta forma, o primeiro passo será definir quais classes de cobertura serão chaves na caracterização de cada tipo de uso.

As etapas para elaboração do modelo de conhecimento podem ser divididas em:

1. Definição das classes de interesse, por meio de análise visual das imagens QuickBird, com auxílio de dados complementares e levantamento de campo;
2. Elaboração de chave de interpretação, buscando relações de cobertura e uso do solo;
3. Tradução de regras textuais para operadores;
4. Elaboração de rede semântica;

5. Escolha dos atributos e funções de pertinência (criação de regras e definição de operadores *top-down* e *bottom-up*);
6. Implementação do modelo no InterIMAGE.

A classificação da cobertura do solo requer a definição das respectivas classes com base em análise visual das imagens QuickBird. Exemplos de classes de cobertura do solo em estudos urbanos podem ser encontrados em Hofmann e Reinhardt (2000), Hofmann (2001a), Pinho (2005), Almeida et al. (2007), Souza et al. (2007), Pinho et al. (2009), Novack (2009a), Hu e Weng (2009).

Após a identificação das classes de cobertura, faz-se necessário avaliar o comportamento das mesmas e o relacionamento delas com as categorias de uso do solo. Após esta análise será possível montar um modelo preliminar de conhecimento para o experimento, em que serão definidas regras de decisão para classificação. Estas regras servirão de base para a elaboração da rede semântica no InterIMAGE.

Com o intuito de verificar a acurácia dos resultados obtidos na classificação da cobertura do solo, amostras aleatórias serão geradas e então conferidas em campo (com auxílio de DGPS). Para a validação desses resultados, será calculado o índice *Kappa* (CONGALTON e GREEN, 1999).

Para avaliação da classificação do uso do solo, será executado manualmente, com visita a campo, um mapa de uso do solo consolidado (situação atual – 2009). Por meio de álgebra de mapas, será possível determinar o quão eficaz foi a classificação do uso do solo realizada sobre a imagem com as classes de cobertura.

3.3.3 Aplicação do produto obtido: Verificação do Atendimento à Legislação

O zoneamento referente à área de estudo, que envolve os planos diretores dos municípios de São Paulo, Osasco, Carapicuíba, Cotia e Embu, será inserido em um banco de dados geográfico, bem como as diretrizes para a ocupação das áreas lindeiras ao Rodoanel – Trecho Oeste, contidas no seu Projeto de Implantação

aprovado.

O mapa temático obtido por meio da classificação do uso do solo será então cruzado com as restrições previstas na legislação, permitindo verificar quais áreas estão sendo utilizadas atualmente com usos do solo irregulares, em relação aos usos permitidos pelos planos diretores. Novamente, através de um procedimento de álgebra de mapas, será possível produzir o mapa temático final, mostrando áreas com ocupações regulares e irregulares, segundo a legislação vigente.

3.4 Cronograma

TABELA 3.3 – Cronograma inicial de trabalho

	2008			2009												2010		
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Revisão bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Aquisição de imagens (QB) e mapas (zoneamentos)					■	■	■											
Fusão das imagens (<i>ENVI v4.5</i>)						■	■											
Trabalho de campo							■	■		■			■					
Ortorretificação (<i>Geomatica v10.1</i>)								■										
Classificação da cobertura do solo e avaliação (<i>InterIMAGE</i>)									■	■								
Classificação do uso do solo e avaliação (<i>InterIMAGE</i>)											■	■		■				
Verificação do atendimento à legislação (<i>SPRING v5.0</i>)														■	■			
Redação da dissertação													■	■	■	■	■	■
Submissão de artigo – periódico Qualis A														■	■	■		

4 RESULTADOS ESPERADOS

O principal resultado esperado deste trabalho é a consolidação de um modelo de conhecimento para classificação do uso do solo no contexto metropolitano utilizando imagens de sistemas sensores de alta resolução espacial.

Espera-se também, por meio desta pesquisa, avaliar o desempenho e o potencial do sistema InterIMAGE no mapeamento detalhado de áreas urbanas complexas, como as usadas neste trabalho, enfatizando suas potencialidades e contribuindo para sua difusão, dada sua disponibilidade de acesso e utilização gratuita.

Em relação à área de estudo escolhida, junto ao Trecho Oeste do Rodoanel Mário Covas, almeja-se que sua característica periférica e, ao mesmo tempo, conectiva, venha também enriquecer a pesquisa, ao permitir a definição de um conjunto de classes de uso do solo detectáveis, por sistemas sensores de alta resolução espacial, não somente em espaços intra-urbanos, mas também neste contexto mais metropolitano, em áreas-teste localizadas nos limites de cinco dos municípios que constituem a Região Metropolitana de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. M. ; SOUZA, I. M. E. ; ALVES, C. D. ; PINHO, C. M. D. ; PEREIRA, M. N. ; FEITOSA, R. Q. *Multilevel Object-Oriented Classification of Quickbird Images for Urban Population Estimates*. In: 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2007), 2007, Seattle, Washington, EUA. **Proceedings...** Miami, Florida, EUA : University of Florida, 2007.
- ANDRADE, A. F.; BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S. *Classificação de imagens de alta resolução integrando variáveis espectrais e forma utilizando redes neurais artificiais*. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5-10 abr 2003, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 265-272. Disponível em: <http://people.ufpr.br/~centeno/publications/download/2003/andrea_f_SBSR.pdf>. Acesso em: 19 jan 2009.
- ANTUNES, A. F. B.; CORTESE, S. C. *Determinação de áreas de ocupação irregulares por meio de Análise Orientada A Objetos*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abr 2007, Florianópolis, Brasil. **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: 29 set 2008.
- ARAÚJO, E. H. G. **Análise multi-temporal de cenas do satélite Quickbird usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG)**. 2006. 159 p. INPE-13956-TDI/1062. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/MTC-m13%4080/2006/07.24.19.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 29 out 2007.
- ARAÚJO, E. H. G.; KUX, H. J. H.; FLORENZANO, T. G. *Ortorretificação de imagens do satélite QuickBird para aplicações urbanas*. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 2, p. 205-213. 2008.
- BAATZ, M. *And where does it come from?* In: OBIA'06 - 1st International Conference on Object-Based Image Analysis, 4-5 jul 2006, Salzburg, Áustria. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XXXVI-4/C42. Salzburg: Universität Salzburg, 2006. (CD-ROM).
- BARNESLEY, M. J.; MOLLER-JENSEN, L.; BARR, S. L. *Inferring urban land use through spatial and structural pattern recognition*. In: DONNAY, J. P.; BARNESLEY, M. J.; LONGLEY, P. A. (eds) **Remote Sensing and Urban Analysis - GISDATA 9**. Londres: Taylor and Francis, 2001. p. 115-144.
- BAUER, M. T.; STEINNOCHER, K. *Per-parcel land use classification in urban areas applying a rule based technique*. **GeoBIT/GIS**, n. 6, p. 24-27, 2001.
- BENEDIKTSSON, J. A.; PESARESI, M.; AMASON, K. *Classification and Feature Extraction for Remote Sensing Images From Urban Areas Based on Morphological Transformations*. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 9, p. 1940-1949. Set 2003.
- BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2^a ed. 303 p.
- BÜCKNER, J.; PAHL, M.; STAHLHUT, O.; LIEDTKE, C.-E. *GeoAIDA - A Knowledge Based Automatic Image Data Analyzer for Remote Sensing Data*. In: CIMA 2001 - ICSC Congress on Computational Intelligence Methods and Applications, 19-21 jun 2001, Bangor - Wales, UK. **Proceedings...** (CD-ROM).
- CASTEJÓN, E. F. **Integração GeoAIDA / TerraLib – Proposta inicial**. 2006. 10 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/terraaida/documentos/referencias/integracao_geoaida_proposta_w2000_20061222.doc>. Acesso em: 21 dez 2008.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, R. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. 137 p.
- COSTA, G. A. O. P. *InterIMAGE Project*. **InterIMAGE Workshop**. Jun 2008.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. *InterIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation*. In: Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 24-27 jul 2007, Presidente Prudente, Brasil. Presidente Prudente: UNESP, 2007. 2ª ed. p. 735-739. Disponível em: <http://www.lvc.ele.puc-rio.br/users/raul_feitosa/publications/2007/InterIMAGE.pdf>. Acesso em: 21 out 2008.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M.; KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. *InterIMAGE: Uma Plataforma Cognitiva Open Source para a Interpretação Automática de Imagens Digitais*. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60 v. 04. Dez 2008. p. 331-337. Disponível em: <http://www.rbc.ufrj.br/_pdf_60_2008/60_04_3.pdf>. Acesso em: 4 fev 2009.

DE KOK, R.; WEVER, T.; FOCKELMANN, R. *Analysis of urban structure and development applying procedures for automatic mapping of large area data*. In: Conference on Remote Sensing of Urban Areas, jun 2003, Regensburg, Alemanha. p.41-46. **Proceedings...** ISPRS Commission VI, WG. VI/4. Regensburg, Alemanha: ISPRS, 2003. Disponível em: <<http://www.euromap.de/pdf/dekok2706.pdf>> Acessado em: 21 fev. 2009.

DEFINIENS Imaging GMBH. **Definiens Developer 7 - Reference Book**. München, Alemanha: Definiens (The Imaging Intelligence Company),2007. 195 p.

DIGITALGLOBE. **QuickBird imagery products – products guide**. 2008. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/file.php/589/QuickBird_Imagery_Products-Product_Guide.pdf> Acessado em: 21 jan 2009.

DURIEUX, L.; LAGABRIELLE, E.; NELSON, A. *A Method For Monitoring Building Construction In Urban Sprawl Areas Using Object-Based Analysis of Spot 5 Images And Existing GIS Data*. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 63, p. 399-408, mai 2008.

EHLERS, M. *Sensoriamento remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade*. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (eds.) **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados - novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 2ª ed. 303 p. Cap. 2, p. 19-38.

FEITOSA, R. Q.; MATTOS, C.; SANTOS, R. V.; REGO, L. F. G.; PEREIRA; A. A. C. *Impacto de técnicas baseadas em conhecimento na análise de imagens de média resolução para mapeamento do desflorestamento na Amazônia*. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abr 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4065-4072. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.16.18.14/doc/4065.pdf>>. Acesso em: 29 jan 2008.

GONÇALVES, C. D. A. B; PEREIRA, M. N; SOUZA, I. M. E. *Uso de imagens CBERS para mapeamento de uso do solo urbano como subsídio ao planejamento*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abr 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 969-977. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/331_Mapeam%20Uso%20Solo%20Urbano.pdf>. Acesso em: 19 jan 2009.

GONG, P.; HOWARTH P. J. *Frequency-Based Contextual Classification and Grey-Level Vector Reduction for Land-Use Identification*. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 43, n. 4, p. 423-437, Abr 1992.

HAY, G. J.; CASTILLA, G. *Object-based Image Analysis: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT)*. In: OBIA'06 - 1st International Conference on Object-Based Image Analysis, 4-5 jul 2006, Salzburg, Áustria. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVI-4/C42. Salzburg: Universität Salzburg, 2006. (CD-ROM).

HEROLD, M.; SCEPAN, J.; MÜLLER, A.; GÜNTHER, S. *Object-oriented mapping and analysis of urban land use/cover using IKONOS data*. In: 22nd EARSEL Symposium “Geoinformation for European-wide integration”, 4-6 jun 2002, Prague, República Tcheca. **Proceedings...**, Praga: Mill Press, 2002. Disponível em: <http://www.eo.uni-jena.de/~c5hema/pub/earsel_herold_mueller_guenther_scepan.pdf>. Acesso em: 6 fev 2009.

HOFFMANN, A.; VAN DER VEGT, J. W. *New sensor systems and new classification methods: laser and digital camera-data meet object-oriented strategies*. **GeoBIT/GIS**, v. 6, n. 1, p. 18-23. 2001. Disponível em: <http://www.sysdecoitalia.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=52>. Acesso em: 12 fev 2009.

HOFMANN, P.; REINHARDT, W. *The extraction of GIS features from high resolution imagery using advanced methods based on additional contextual information – first experiences*. In: Geo Information for All - The XIXth Congress of the ISPRS, 16-23 jul 2000, Amsterdam, Holanda. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXIII/B4. Amsterdam: IRPRS, 2000. p.376-383.

HOFMANN, P. *Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis - an example from Cape Town (South Africa)*. In: 2nd International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas, 2001, Regensburg, Alemanha. **Proceedings...** Regensburg, Alemanha: Institut für Geographie an der Universität Regensburg, 2001. p. 107 -118. 2001 (a).

HOFMANN, P. *Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach*. In: 1st Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society - Geomatics, Earth Observation and the Information Society, 12-14 set 2001, London, UK. **Proceedings... – Algorithms**. Londres: RSPSoc, 2001. p. 79-81. Disponível em: <<http://zopedhaka.hu-berlin.de/internal/Internal-Dhaka/docs/literature/geomatics/phoffman1.pdf>>. Acesso em: 6 dez 2008. 2001 (b).

HOFMANN, P. *Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information*. **GeoBIT/GIS**, n. 6, p. 28-33. Jun 2001. 2001 (c).

HOFMANN, P.; STROBL, J.; KUX, H. J. H. *Detecting Informal Settlements From Quickbird Data In Rio De Janeiro Using An Object Based Approach*. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.) **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 817 p. Cap. 6.1, p. 531-553.

HU, X.; WENG, Q. *Impervious Surface Extraction from IKONOS Imagery Using an Object-Based Approach*. (inédito)

JENSEN, J. R.; COWEN, D. C. *Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socioeconomic attributes*. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 65, n. 5, p. 611-622. Mai 1999.

KUX, H. J. H.; ARAÚJO, E. H. G. *Object-based Image Analysis using QuickBird satellite images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil)*. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. (Eds.) **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2008. 817 p. Cap. 6.3, p. 571-588.

LABORATÓRIO DE HABITAÇÃO E ASSENTAMENTOS HUMANOS DA FAU USP - LABHAB. **Impactos urbanísticos do Trecho Oeste do Rodoanel Mario Covas**. São Paulo: FUPAM, 2005.

LIEDTKE, C. E.; BÜCKNER, J.; GRAU, O.; GROWE, S.; TÖNJES, R. *AIDA: a system for the knowledge based interpretation of remote sensing data*. In: 3rd International Airborne Remote Sensing Conference & Exhibit, 7-10 jul 1997, Copenhagen, Dinamarca. **Proceedings...** Willow Run, ERIM - Environmental Research Institute of Michigan, AGU, 1997. p. 313-320. Disponível em: <<ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/papers/1997/IARSC-CELJBOGSGRT.pdf>> Acesso em: 6 out 2008.

LIEDTKE, C.-E.; BÜCKNER, J.; PAHL, M.; STAHLHUT, O. *Knowledge Based System for the Interpretation of Complex Scenes*. In: 3rd International Workshop on Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images, 10-15 jun 2001, Centro Stefano Franscini, Monte Verità - Ascona, Suíça. **Proceedings...** Zurique: Institute of Geodesy and Photogrammetry, e Communication Technology Laboratory, Computer Vision Group, 2001. Disponível em: <<ftp://ftp.tnt.uni-hannover.de/pub/papers/2001/AS2001-CELJBMPOS.pdf>> Acesso em: 6 out 2008.

LO, C. P. *Automated Population and dwelling unit estimation from high resolution satellites images : a GIS approach*. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 1, p. 17-34. 1995.

MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction**. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 3242 p.

MEINEL, G.; NEUBERT, M.; REDER, J. *The potential use of very high resolution satellite data for urban areas: First experiences with IKONOS data, their classification and application in urban planning and environmental monitoring*. In: 2nd International Symposium Remote Sensing of Urban Areas, 22-23 jun 2001, Regensburg, Alemanha. **Proceedings...** Regensburg: Institut für Geographie an der Universität Regensburg Selbstverlag, 2001. p. 196 - 205.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo**. 146 p. INPE-9865-TDI/870. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/04.14.11.44/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 8 abr 2008.

MORAN, M. S.; JACKSON, R. D.; HART, G. H.; SLATER, P. S.; BARTELL, R. J.; BIGGAR, S. F.; GELLMAN, D. I.; SLATER, R. P. *Obtaining surface reflectance factors from atmospheric and view angle corrected SPOT-1 HRV data*. **Remote Sensing of Environment**, v. 32, n. 2-3, p. 203-214. Mai-jun 1990.

NIERO, M. **Utilização de dados orbitais do Landsat na classificação de uso do solo urbano de São José dos Campos**. São José dos Campos, INPE, julho de 1978. (INPE-1295-TPT/093). Disponível em: <<http://bibdigital.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.16.00.13>>. Acesso em: 2 fev 2009.

NOVACK, T. **Uso do Sistema InterIMAGE na Classificação da Cobertura da Terra Urbana e Área de Favela Utilizando Imagens do Satélite QuickBird II**. Proposta de Dissertação de Mestrado. 2008. 32 p. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

NOVACK, T. **Uso do Sistema InterIMAGE na Classificação da Cobertura da Terra Urbana e Área de Favela Utilizando Imagens do Satélite QuickBird II**. 2009. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009a. (*inédito*)

NOVACK, T. **Comunicação verbal**. 2009b.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. 308 p.

OLIVEIRA, D. A. B.; COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; CASTEJÓN, E. F.; FONSECA, L. M. G. *InterIMAGE: An Open Source Knowledge Based Framework for Automatic Interpretation of Remote Sensing Data*. In: GEOBIA 2008 - Pixels, Objects, Intelligence - GEOgraphic Object Based Image Analysis for the 21st Century, 5-8 ago 2008, Calgary, Alberta, Canadá. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, vol. XXXVIII-4/C1. Calgary, University of Calgary, 2008. Disponível em: <http://www.isprs.org/commission4/geobia2008/Sessions/Session11/6715_Costa_proc_pap.pdf> Acesso em: 22 jan 2008.

PAES, C. F.; PINTO, S. A. F.; DUTRA, L. V. *Um estudo exploratório para obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IQV) utilizando imagens de alta resolução do satélite IKONOS II*. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5-10 abr 2003, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1907-1914. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.19.15.38>>. Acesso em: 19 jan 2009.

PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 2003. Dissertação (Doktor-Ingenieur em Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação). Universidade de Hannover, Hannover, Alemanha, 2003. Tradução: KUX, H. J. H.; FEITOSA, R. Q. 2008. 93 p. INPE-15211-TAE/71. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17%4080/2008/03.07.18.31/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 25 mar 2008.

PCI GEOMATICS ENTERPRISES INC. **Geomatica Software Solutions, OESE Reference Manual: Version 10.** Canadá, 2008.

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 intraurbano: o caso de São José dos Campos.** 2005. 180 p. INPE-14183-TDI/1095. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/11.23.13.40>>. Acesso em: 29 set 2008.

PINHO, C. M. D.; RENNÓ, C. D.; KUX, H. *Avaliação de técnicas de fusão aplicadas à imagem Quickbird.* In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16-21 abr 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4225-4232. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.20.14/doc/4225.pdf>>. Acesso em: 19 jan 2009.

PINHO, C. M. D.; KUX, H.; ALMEIDA, C. M. *Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos - SP, Brasil.* In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abr 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 637-644. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.21.54.40/doc/637-644.pdf>>. Acesso em: 29 set 2008.

PINHO, C. M. D.; CASTEJON, E. F.; KÖRTING, T. S.; OLIVEIRA, D. A. B., COSTA, G. A. O. P; FONSECA, L. M. G.; FEITOSA, R. Q. *Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento.* In: (a ser apresentado) XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 25-30 abr 2009, Natal, Brasil. **Anais... (inédito).**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **ESTATUTO DA CIDADE. LEI Nº 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001.** Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 9 jan 2009.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Modelagem e projetos baseados em objetos.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2006. 520 p.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção.** 4ª ed. São Paulo: Editora EDUSP, 2004. 384 p.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing.** 3rd ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515 p.

SEMPA – DEINFO. **INFOLOCAL: Sistema de Informação para o Planejamento Local.** Banco de dados. 2002. Disponível em <<http://www.infolocal.prefeitura.sp.gov.br>>

SEMPA – Secretaria Municipal de Planejamento - PMSP. **Zoneamento da Cidade de São Paulo.** 2009. Disponível em: <http://sempla.prefeitura.sp.gov.br/urb_zon.php>. Acesso em: 18 jan 2009.

SET – Secretaria de Estado dos Transportes; FESPSP – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo. **Programa Rodoanel – Avaliação Ambiental Estratégica.** Jul 2004. 240 p.

SOUZA, I. M.; PEREIRA, M. N.; GARCIA, L. M. F.; KURKDJIAN, M. L. N. O. *Mapeamento do uso do solo urbano através da classificação por regiões baseada em medidas texturais.* In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5-10 abr 2003, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1967-1968. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/geu/Congressos_Simposios%20Nacionais/Iris_XISBSR.pdf>. Acesso em: 19 jan 2009.

SOUZA, I. M. E. ; 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.

STM - Secretaria dos Transportes Metropolitanos. São Paulo (Estado). **Revisão do Plano Integrado dos Transportes Urbanos para 2020 - Pitu 2025.** São Paulo, abr 2005.