

Caracterização de bairros urbanos em imagens de alta resolução espacial utilizando sistema de classificação baseado em conhecimento

Carolina Moutinho Duque de Pinho¹
Emiliano Ferreira Castejon¹
Thales Sehn Körting¹
Dario Augusto Borges Oliveira²
Gilson Alexandre Ostwald Pedro da Costa²
Leila Maria Garcia Fonseca¹
Raul Queiroz Feitosa²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{carolina, castejon, thales, leila}@dpi.inpe.br

²Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RJ
Departamento de Engenharia Elétrica
R. Marquês de São Vicente, 225 – 22453-900 Rio de Janeiro, RJ
{dario, gilson, raul}@ele.puc-rio.br

Abstract. Acquiring updated information on intra-urban land use and land cover at a fine level of detailing has become strategic for urban planning and management in present times. The investigation of methodologies to automate the extraction of information from this imagery is a challenge. Several researches have showing that the traditional classifier methods are not suitable to these applications. Human interpreter easily identifies the urban targets based on his knowledge (using attributes as such form, color, pattern, texture and context), nevertheless his work is very time consuming. In this context the using of knowledge-based interpreter systems is a good way, because these systems can model the interpreter knowledge in a computer environment to classify a scene. This paper aims to assessing suitability of InterIMAGE, a knowledge-based system, to classify types of homogeneous regions in intra-urban environments using high spatial resolution imagery. We carried out an experiment that identified two types of quarters based on relationship between land cover classes and the quarter's areas: High building quarter and high income residential quarter. The study area concerns the southern sector of São José dos Campos city, located in the State of São Paulo, Brazil. We created a knowledge model to identify the quarters using decision rules. These rules were described and translated to InterIMAGE strategy analysis. The results were good and showed that InterIMAGE strategy analysis is eligible to classify quarters in urban areas.

Palavras-chave: knowledge-based system, Interimage, urban remote sensing, high resolution image, sistema baseado em conhecimento, Interimage, sensoriamento remoto de áreas urbanas, imagens de alta resolução.

1. Introdução

A utilização de dados de sensoriamento remoto em atividades de planejamento e gestão urbana torna-se cada vez mais popular. Dentre estes dados, as imagens orbitais de alta resolução espacial destacam-se pelo aumento do número de aplicações que vão desde atualizações de cadastro multifinalitários, passando por monitoramento de ocupação em áreas de preservação até classificação de zonas residenciais homogêneas (Souza et al., 2007).

Dentre estas aplicações as que realizam classificações de uso e/ou cobertura do solo reconhecem a dificuldade de utilizar algoritmos tradicionais de classificação de imagens nesse tipo de dado. Já que estas se caracterizam por baixa resolução espectral, alta variabilidade interna das classes e grande quantidade de pixels (Pinho, 2005). Enquanto procedimentos automáticos e semi-automáticos de classificação de imagens encontram uma série de barreiras um foto-intérprete distinguiria estes alvos urbanos facilmente a partir dos elementos de foto-interpretção, como cor, textura, tamanho, forma, padrão, localização e contexto. Portanto, a inserção destes elementos, ou seja, do conhecimento do intérprete, no processo de

classificação automática consiste em uma alternativa promissora para a distinção de alvos urbanos. Os sistemas de interpretação automática que permitem a inserção do conhecimento são conhecidos como sistemas baseados em conhecimento.

Sistemas baseados em conhecimento são aqueles que modelam em um ambiente computacional o conhecimento do foto-intérprete emulando a sua capacidade de combinar dados de diferentes fontes e formatos na análise de imagens de sensores remotos (Feitosa et al., 2005). A utilização destes sistemas abre um novo horizonte para a extração automática de informações de imagem de sensores remotos. Enquanto algoritmos de classificação têm como objetivo distinguir grupos de pixels com características semelhantes, os quais muitas vezes não se traduzem em objetos reais, na abordagem baseada em conhecimento o objetivo é identificar objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura padrão e contexto na imagem analisada.

O funcionamento destes sistemas baseia-se na introdução do conhecimento do analista a respeito da cena, ou seja, é uma formalização da “visão” de um determinado indivíduo sobre uma cena específica. Assim, o resultado da classificação é 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.

A utilização destes sistemas na extração de informações em imagens de sensoriamento remoto não é recente. Segundo Bock e Lessing (2000), há vários sistemas baseados em conhecimento que já vem sendo utilizados na interpretação de fotografias aéreas e em imagens orbitais de média resolução espacial há algum tempo: SPAM (McKcown et al., 1985); SIGMA (Matsuyama e Hwang, 1990); MESSIE (Clémente et al., 1993); ERNEST (Niemann et al., 1990); AIDA (Liedtke, 1997) e a extensão deste último, o GeoAIDA (Bückner et al., 2001). Estes sistemas integram, em combinações variadas, os seguintes itens: algoritmos de segmentação, estruturação de classes na forma de redes semânticas, classificação baseada em regras e a possibilidade de integração de imagens multisensores e/ou dados vetoriais.

Este trabalho expõe os resultados da classificação de bairros urbanos a partir de imagens do sensor QuickBird utilizando o *software* InterIMAGE que é um sistema de interpretação de imagens baseado em conhecimento. 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 objetivo principal deste trabalho é verificar se a estratégia de interpretação do InterIMAGE é adequada a este tipo de aplicação. Assim foram definidas apenas duas classes: bairros com alto grau de verticalização (construção de edifícios) e bairros residenciais de alta renda, em uma área teste pequena (de 1,61 km²).

2. Estratégia de interpretação do InterIMAGE

O InterIMAGE é uma plataforma em código aberto (*open source*), desenvolvida conjuntamente pelo Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (LVC/PUC-RJ) e pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI-INPE). O

¹ Em sua Tese de Doutorado Antunes (2003) comprovou que o resultado da classificação é influenciado pelo analista que a estrutura. Neste trabalho, dentre outros experimentos, é feita uma da 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. Conclui-se que as diferenças variam desde a definição das classes de interesse até como o conhecimento é estruturado.

InterIMAGE é baseado no *software* GeoAIDA, desenvolvido pelo TNT – Instituto para Tecnologia da Informação da Universidade de Hannover, Alemanha.

A estratégia de interpretação do sistema é baseada em um modelo de conhecimento definido pelo usuário. Este modelo é estruturado em uma rede semântica. Os nós da rede representam os conceitos (as classes de objetos) a serem identificados na cena e os arcos, os relacionamentos entre os conceitos.

Em cada nó são definidos operadores do tipo *top-down* e *bottom-up*. Os operadores *top-down* são programas externos a plataforma sendo responsáveis por delimitar regiões geográficas que constituem hipóteses dos conceitos. Estes operadores operam de forma recursiva partindo dos nós superiores em direção aos inferiores. Quando a análise chega aos nós folhas (os nós no nível mais baixo da rede) os operadores *bottom-up* passam a agir dos nós folhas até o nó raiz. Estes operadores validam as hipóteses e resolvem possíveis conflitos espaciais entre elas utilizando regras de decisão. Estas regras são baseadas nos dados das regiões criadas pelos operadores *top-down* (Costa et al., 2007).

Atualmente o sistema suporta qualquer algoritmo de processamento de imagens que esteja integrado a biblioteca TerraLib como operador *top-down*. E como operador *bottom-up* está disponível apenas o *bottom-up* Genérico, operador que seleção de objetos baseada em regras de descrição escritas em linguagem de pilha polonesa reversa².

3. Material

O trabalho foi realizado sobre uma área teste de aproximadamente 1,61 km² da área urbana do município de São José dos Campos que reunia diferentes padrões de ocupação de uso do solo. Esta característica tornou possível observar diferentes tipos de bairros, entre eles os bairros de interesse: Bairro verticalizado e Bairro residencial de alta renda. Utilizaram-se duas imagens Quickbird: uma pancromática, com 0,60 m de resolução espacial e outra, multiespectral, com 2,40 m de resolução e quatro bandas (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). As imagens são do tipo *ORStandard2A*, obtidas em 17 de maio de 2004, com ângulo off-nadir de 7,0° e resolução radiométrica de 16 bits.

Os materiais utilizados para o processamento da imagem foram: Software Envi 4.3 para o pré-processamento das imagens; Definiens 5.0 para a análise exploratória das classes e arquivo vetorial do tipo *shapefile* com o limite dos bairros do município.

4. Desenvolvimento do Experimento

O desenvolvimento deste trabalho foi efetuado nas seguintes etapas: pré-processamento das imagens; análise exploratória e caracterização das classes; elaboração da rede semântica; classificação e avaliação dos resultados.

4.1 Pré-processamento das Imagens

Nesta etapa foram realizadas duas tarefas, ambas no software Envi 4.3. A primeira foi a fusão das imagens com o objetivo de obter uma imagem sintética que reunisse a alta resolução espacial da imagem pancromática com a informação espectral da imagem multiespectral, aumentando assim a capacidade de distinção das classes de cobertura do solo. O método de fusão aplicado foi o de principais componentes.

A segunda tarefa consistiu na seleção e recorte da área teste. A seleção desta área procurou reunir em uma pequena extensão territorial as duas classes de interesse em um contexto de ocorrência de outros tipos de bairros. Decidiu-se por uma área de trabalho pequena, pois o experimento tem como principal objetivo testar as potencialidades do sistema

² Já está em curso o encapsulamento desta linguagem e criação de uma interface de construção de regras de decisão mais amigável para os usuários finais para as próximas versões do InterIMAGE.

InterIMAGE e dos operadores implementados e não a geração de um mapa para todo o município.

4.2 Análise exploratória e caracterização das classes

Como a estratégia básica do experimento foi classificar os bairros com base na ocorrência de determinadas classes de cobertura do solo, o primeiro passo desta etapa foi definir quais classes de cobertura seriam chaves na caracterização de cada tipo de bairro. Utilizando as classes de cobertura desenvolvidas por Pinho (2005) para a mesma área de estudo observou-se que para a classe Bairro verticalizado havia uma grande ocorrência da classe de cobertura Sombra (mais especificamente sombra de prédios, com formato retangular, com inclinação constante e de tamanho acima de 500 pixels). Já para a classe de Bairro residencial de alta renda identificou-se que havia uma significativa presença de piscinas, uma grande proporção de área ocupada por árvores e o predomínio de residências com cobertura de telha cerâmica.

Após a Identificação das classes de cobertura chave analisou-se o comportamento das mesmas e o relacionamento delas com os bairros no *software Definiens 5.0*. Após esta análise foi montado um modelo preliminar de conhecimento para o experimento. Neste modelo foram definidas regras de decisão para classificação (Tabela 1). Estas regras serviram de base para a elaboração da rede semântica no InterIMAGE.

Tabela 1 – Regras de decisão

Classes		Regras
Classes de Bairros	Bairro Verticalizado	Mais do que 10% da área do bairro ocupada pela classe Sombra de Prédio
	Bairro residencial de alta renda	1. Mais do que 10% da área do bairro ocupada para a classe Telha Cerâmica; 2. Mais do que 40% da área do bairro ocupada pela classe Arbórea; 3. Mais de 150m ² de piscinas dentro do bairro.
Classes de cobertura do solo	Sombra de prédio	1. Objetos de baixo brilho; 2. Objetos com área acima de 500 pixels. 3. Valores “baixos” da razão entre as bandas 2/1*.
	Telha Cerâmica	Valores “medianos” da razão entre as bandas 3/1**
	Piscina	Valores “baixos” da razão das bandas 3/1**
	Arbórea	1. Valores “altos” de NDVI; 2. Valores “baixos” das bandas 2/1*; 3. Valores “muito baixos” da razão da banda 3***.

* Este atributo refere-se à razão entre o valor médio da banda 2 para os pixels de um polígono e o valor médio da banda 1 para os pixels do mesmo polígono.

** Neste caso a razão de bandas é realizada pixel-a-pixel, assim o valor de cada pixel da banda 3 é dividido pelo valor da banda 1.

*** O atributo razão da banda 3 refere-se a razão entre o valor médio da banda 3 para os pixels de um polígono e a soma das médias todas as bandas multiespectrais.

4.3 Elaboração da rede semântica

A elaboração da rede semântica consistiu na tradução das regras de decisão definidas na etapa anterior para regras organizadas em operadores *top-down* e *bottom-up*. Na Figura 1, observamos a rede semântica elaborada para o experimento. Cada caixa representa um nó, na rede, um conceito, em nosso caso uma classe. Em vermelho estão as regras que foram convertidas em operadores *top-down*. Em azul estão as regras que foram convertidas em regras do operador *Bottom-up* Genérico.

Com o objetivo de facilitar a descrição da rede semântica, separamos a descrição em duas etapas, uma *top-down* e outra *bottom-up*.

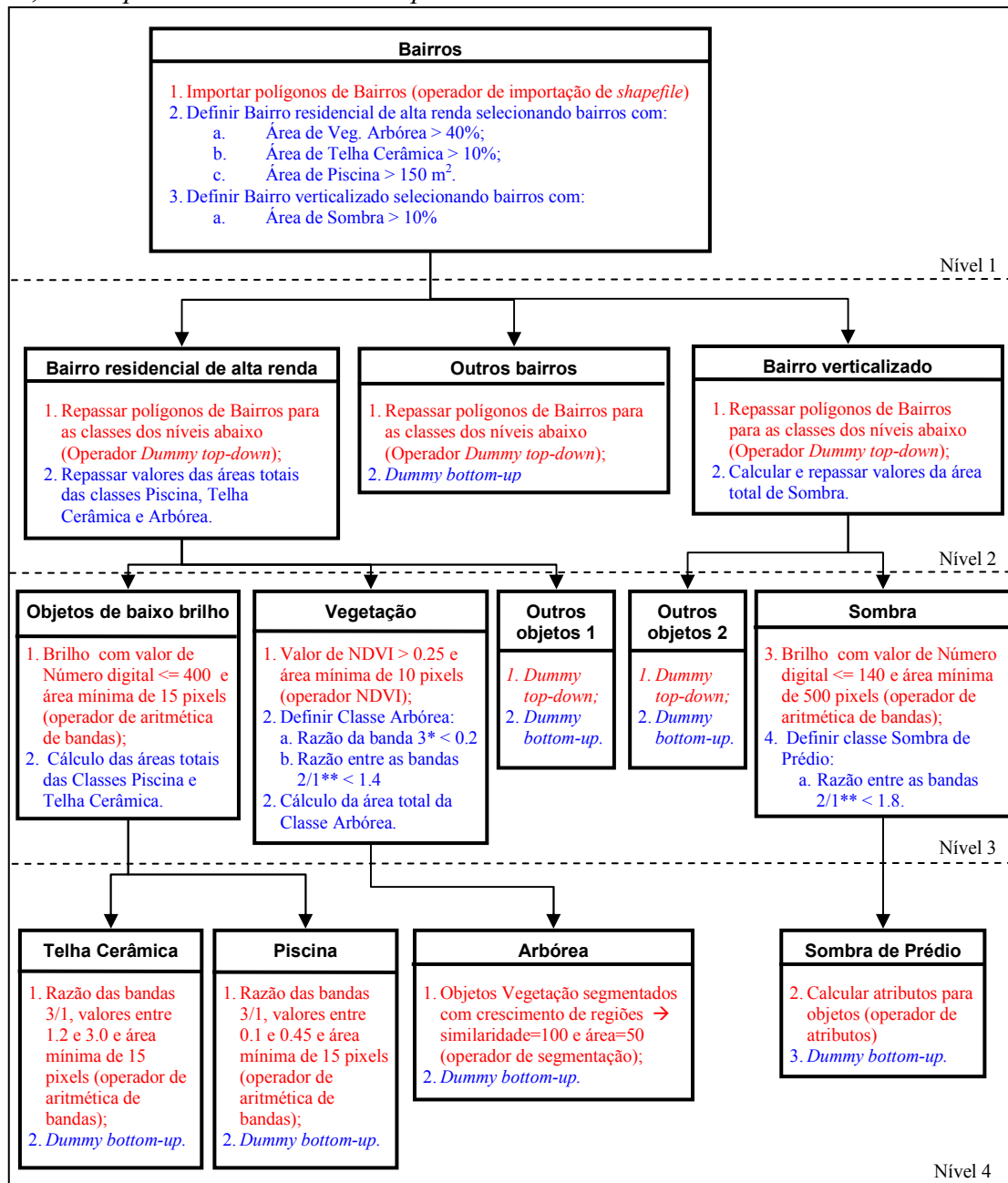


Figura 1 – Rede semântica elaborado no InterIMAGE para o Experimento.

Primeiramente a etapa *top-down* é descrita. Partindo do nó raiz (que denominamos de nível1), o nó Bairros, foi inserido um operador de importação de polígonos, o qual criou hipóteses da classe Bairros para todos os 18 polígonos existentes no arquivo *shapefile* utilizado. Descendo para o nível seguinte da árvore (denominado nível 2) todas as classes de bairros receberam operadores *Dummy top-down*. O operador *Dummytop-down* é um operador que não cria novas hipóteses, ele apenas repassa as hipóteses que recebeu das classes acima para as classes abaixo. Deste modo os nós do nível 2 apenas repassaram os polígonos para o nível imediatamente abaixo (nível 3).

No nível 3 há dois grupos de classes, as classes filhas dos Bairros verticalizados e as filhas dos Bairros residenciais de alta renda. O primeiro grupo possui as classes Sombra e

Outros objetos 2. A classe Sombra foi associada a um operador *top-down* de aritmética de bandas. Este operador primeiro calcula uma imagem de brilho, fazendo uma operação de média de valores de pixel de todas as bandas, depois executa um fatiamento da imagem criada selecionando apenas pixels com valores de número digital abaixo de 140. Desta forma, são passadas para a classe Sombra de Prédio (classe imediatamente no nível de baixo) apenas os polígonos que se ajustam a esse limiar. A classe Outros objetos 2 tem apenas um operador *Dummy top-down* e só foi criada para receber os polígonos que não sejam identificados como Sombra. O segundo grupo de classes do nível 3 são as filhas dos Bairros residenciais de alta renda. Esse grupo é formado pelas classes Vegetação, Objetos de Baixo Brilho e Outros Objetos 1. A Classe Vegetação tem um operador *top-down* de NDVI, o qual calcula o NDVI e depois fatia a imagem com base em valores fornecidos pelo usuário. A classe de Objetos de baixo Brilho foi criada com a finalidade de facilitar a identificação dos objetos de Telha cerâmica e Piscina, classes no nível de baixo ambas com brilho relativamente baixo. Desta forma, para esta classe utilizou-se o mesmo operador de aritmética de bandas utilizada na classe Sombra, só que com limiares diferentes. Novamente temos uma classe para receber o restante dos objetos a classe Outros Objetos 2 apenas com um operador *Dummy top-down*.

Navegando para o nível 4, o nível dos nós folha, temos as classes Piscina e Telha cerâmica que receberam os polígonos de Objetos de baixo brilho e que só buscaram novas hipóteses dentro destes polígonos. Nessas duas classes usamos o mesmo operador de aritmética de bandas fazendo uma razão de bandas entre as bandas 3/1, razão que separa bem objetos avermelhados de não avermelhados. Para cada uma foi adotado um limiar específico de valores de pixel e de tamanho de área, para Telha cerâmica valores mais altos e para piscina valores baixos. No nível 4 temos a classe Arbórea que possui um operador *top-down* de segmentação (algoritmo de crescimento de regiões implementado no Spring) utilizado para dividir os polígonos recebidos da classe Vegetação em objetos de Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira. A última classe do nível 4 é Sombra de prédio que tem um operador *top-down* que não define regiões ele apenas calcula alguns atributos baseados em estatísticas de polígonos, atributos que foram utilizados na fase *bottom-up*.

Chegando aos nós folhas todas as hipóteses foram criadas e passamos a análise *bottom-up*. Um fato chama atenção no passo *bottom-up*: as regras de decisão *bottom-up* de uma determinada classe são associadas à classe de cima. Assim, as regras que classificam os bairros em Verticalizados estão associadas à classe Bairros (Figura1), por exemplo. Este posicionamento faz sentido na estratégia adotada no *software* já que os operadores *bottom-up* servem para resolver conflitos espaciais. Esta característica explica também o fato que em todos os nós folhas só possuem operadores *Dummy bottom-up*, os quais não executam nenhuma operação de seleção.

Descrevendo a análise *bottom-up* que se dá no sentido dos nós folhas ao nó raiz observa-se que as classes Piscina e Telha Cerâmica foram totalmente definidas no passo *top-down*, pois não há regra de decisão *bottom-up* para seleção ou definição de conflitos espaciais. Já para as classes Arbórea e Sombra de prédio a situação foi diferente, para ambas houve tanto regras de seleção. Assim o limite final dos objetos destas duas classes só foi definido no nó superior. Um ponto em comum entre todas as classes filhas no nível 4 é que não há classes para alocação de objetos restantes, classes como Outros Objetos 1 e 2 presentes no nível 3. A ausência destas classes também interfere no limite dos objetos das classes do nível 3. Por exemplo, apenas os polígonos identificados como Arbórea foram classificados como Vegetação no passo *bottom-up*, pois não foi criada nenhuma classe para a Vegetação não Arbórea.

Subindo para o nível 3 observamos a utilização das classes de Outros objetos 1 e 2, as classes que recebem os objetos restantes. Nestas classes tanto os operadores *top-down* quanto os operadores *bottom-up* são *Dummy*. O que define a associação dos objetos não classificados

a estas classes é o valor do parâmetro p , que é um peso que varia entre 0 e 1 associado a cada uma das classes. A classe que possui o maior parâmetro p vence um conflito espacial. No caso das classes Outros Objetos 1 e 2 assim como no caso da classe Outros bairros do nível 2 foi associado um valor p baixo. Se estas classes não fossem utilizadas os Bairros verticalizados, por exemplo, teriam seus contornos alterados apenas para os polígonos de Sombra. Nesse nível há operações de seleção (classes Vegetação e Arbórea) e de Cálculo da área total (classe Objetos de baixo Brilho – área das classes Piscina e Telha Cerâmica).

No nível 2 as regras *bottom-up* foram utilizadas apenas para passar para superior, o nível 1, o nível dos Bairros, os valores de área total das classes de cobertura do solo dos níveis 3 e 4. No nível 1 as regras *bottom-up* efetivamente classificam os bairros com base na ocorrência das classes de cobertura do solo.

4.4 Classificação e avaliação dos resultados

Após a confecção da rede semântica foi realizada a classificação com os resultados apresentados na Figura 2. Por meio de análise visual da classificação conclui-se que o resultado da classificação foi bom. A classe Bairro residencial de alta renda foi identificada corretamente. Já a classe de Bairro verticalizado teve um erro de comissão, a inclusão do bairro, área destacada em vermelho na Figura 2b. Esse bairro possuía mais de 10% da área coberta por sombra de prédios mais os prédios que geraram estas sombras estavam no bairro vizinho. Para corrigir este erro uma possibilidade seria inserir uma regra que restringisse a ocorrência da classe Sombra de prédio à condição de ter objetos vizinho classificados como prédios.

Na Figura 2c observamos que no resultado final apenas as classes de cobertura só são identificadas para os bairros que foram validados como Bairros verticalizados ou Bairro residencial de alta renda.

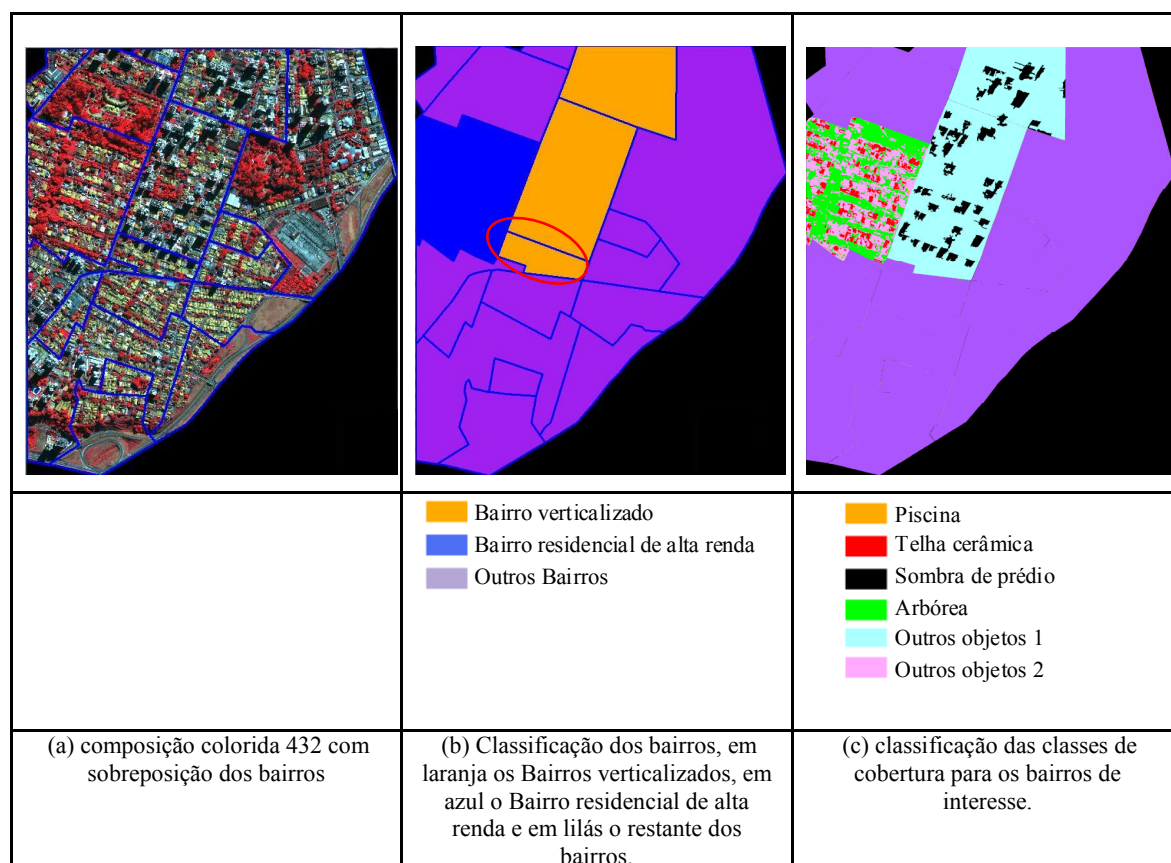


Figura 2 – Resultado da classificação.

4. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi verificar se a estratégia de interpretação do InterIMAGE era eficiente para classificação de regiões homogêneas baseada na ocorrência de classes de cobertura do solo em imagens de alta resolução espacial. Os resultados do trabalho indicam que a estratégia é eficiente quando a aplicação de dá em áreas urbanas. Entretanto é necessário que se teste este sistema em outras regiões e em áreas de estudo maiores para verificar se é viável executar esse tipo de análise em volume de dados maiores.

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.

Antunes, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 146p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

Bückner, J.; Stahlhut, O.; Pahl, M.; Liedtke., C.-E. GEOAIDA - A knowledge based automatic image data analyser for remote sensing data. In: International ICSC Congress on Computational Intelligence: Methods & Applications, 2., 2001, Bangor, Wales, United Kingdom. **Proceedings...** Millet, Alberta: ICSC, 2001. p.19-22.

Bock, M.; and Lessing, R. Remote Sensing, Formation of Objects and Determination of Quality, In: Internationales Symposium "Informatik für den Umweltschutz" der Gesellschaft für Informatik (GI), 14, 2000, Bonn. **Proceedings...** Marburg: Metropolis Verlag, 2000. p. 581-594. Disponível em: <<http://enviroinfo.isep.at/UI%20200/BockM300700.el.hsp.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2003.

Clément, V., Giraudon, G., Houzelle, S., Sandakly, F., 1993. Interpretation of Remotely Sensed Images in a Context of Mutsensor Fusion Using a Multispecialist Archtecture. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, 31(4), pp. 779-791.

Costa, G. A. O. P. ; Pinho, C. M. D. ; Feitosa, R. Q. ; Almeida, C. M. ; Kux, H. J. H. ; Oliveira, D. A. B. ; Fonseca, L. M. G. . INTERIMAGE: An Open Source Platform for Automatic Image Interpretation. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática e V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, SP : UNESP, 2007.

Feitosa, R. Q.; Mattos, C.; Santos, R. V. I; 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: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 4065 - 4072. 1 CD-ROM.

Liedtke, C.-E. AIDA: a system for the knowledge based interpretation of remote sensing data. In: International Airborne Remote Sensing Conference & Exhibit, 3., 1997, Copenhagen, Denmark. **Proceedings...** Copenhagen, Denmark, 1997. p. 313-320.

Matsuyama, T.; Hwang, V. SIGMA, a knowledge-based aerial image understanding system. New York: Plenum, 1990. 296p.

McKeown, D. M., Harvey, W. A., McDermott, J., 1985, Rule Based interpretation of aerial imagery, **IEEE Transactions in Pattern Analysis and Machine Intelligence**, 7(5), pp. 570- 585.

Niemann, H; Sagerer, G.; Schröder, S.; Ernest, F.K. A semantic network system for pattern understanding. **IEEE Transactions PAMI**, v. 12, n. 9, p. 883-905, Sep. 1990.

Pinho, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP**. 2005. 174 p. Dissertação (Mestrado Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

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.