

Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos - SP

Carolina Moutinho Duque de Pinho¹
Hermann Heinrich Kux¹
Cláudia Maria Almeida¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{carolina, hermann, almeida}@dsr.inpe.br

Abstract. The latest advances in the spatial resolution of orbital sensor systems have introduced some challenges in urban remote sensing studies. In this context, meaningful number of scientific papers have been developing for testing suitable automatic classification methods for high-resolution image. One of them is the object-oriented analysis that uses a region-based classification and semantic nets. These nets model relationships among classes. This paper research is committed to build a semantic net for urban land cover classification. A QuickBird image of a subset area of São José dos Campos (SP, Brazil) was used in the experiment.

Palavras-chave: São José dos Campos, land cover, Quikbird, object oriented image analysis, urban remote sensing, high spatial resolution image, São José dos Campos, cobertura do solo, Quickbird, análise de imagens orienta a objetos, sensoriamento remoto de áreas urbanas, imagens de alta resolução espacial.

1. Introdução

O lançamento de satélites com sensores de alta resolução espacial, IKONOS II em 1999 e o Quickbird em 2001, representou um momento de grande inovação para o sensoriamento remoto do espaço intra-urbano. As imagens destes dois sensores reúnem alta resolução espacial (entre 1 e 0,6m), radiométrica (16 bits) e temporal (aproximadamente 3 dias). A combinação destas características permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e apresenta grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura solo urbano com o auxílio de classificadores automáticos (Pinho, 2005).

A utilização deste tipo de imagens impõe novos desafios para a classificação automática. As tradicionais classificações pixel-a-pixel tornam-se limitadas em imagens que captam detalhes de cenas muito heterogêneas (áreas urbanas) e com grande variação interna das classes (Schiewe e Tufte, 2005). Além disso, estas imagens possuem baixa resolução espectral (apenas quatro bandas: azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), o que dificulta a distinção de uma série de alvos urbanos que possuem comportamento semelhante nos comprimentos de onda do visível, como é o caso de ruas pavimentadas com asfalto e edificações com cobertura de amianto escuro.

Neste contexto um número expressivo de trabalhos científicos deteve-se ao desenvolvimento e teste de métodos de classificação automática que fossem adequados a este tipo de dado (Pinho, 2005); (Pinho et al., 2004). Entre estes métodos, destaca-se a análise de imagens orientada a objetos que utiliza uma classificação baseada em regiões (denominadas de objetos) organizando as classes de interesse em redes semânticas. Nestas redes são modelados relacionamentos entre as classes.

Este trabalho tem como objetivo a definição de uma rede semântica aplicável à classificação de cobertura do solo em ambientes intra-urbanos, utilizando análise de imagens orientada a objetos e imagens orbitais de alta resolução espacial. Para tanto se realizou um experimento com uma área teste da cidade de São José dos Campos utilizando uma imagem Quickbird de maio de 2004.

2. Análise de imagens orientada a objetos

A premissa básica para a análise de imagens orientada a objetos é que a informação semântica necessária para a interpretação de uma imagem não está presente no pixel, e sim em objetos da imagem e nas relações existentes entre eles (Definiens, 2003). Estes objetos são os segmentos, os quais são gerados a partir de um procedimento de segmentação. Há ainda outras premissas importantes na análise orientada a objetos (Definiens, 2003), a saber:

- A caracterização dos objetos da imagem não pode limitar-se apenas a atributos espectrais é necessário inserir o conhecimento do analista no sistema de interpretação da imagem. Este conhecimento é modelado por meio de descritores espaciais que exprimem matematicamente os elementos de foto-interpretação (tamanho, forma, contexto, padrão).
- Os objetos de interesse podem estar associados a diferentes níveis de abstração (diferentes escalas), e estes níveis devem estar representados no sistema de análise.
- A descrição do espaço de atributos de uma determinada classe pode ser imprecisa, o que introduz incertezas na associação de um objeto a determinada classe. Esta incerteza precisa ser modelada, pois ela é parte do resultado da classificação (Benz et al., 2004).

A materialização destas premissas é dada pelos procedimentos de segmentação multiresolução e estruturação das classes em redes semânticas. A segmentação multiresolução é responsável pela geração dos objetos da imagem em diferentes escalas de detalhamento. Na estruturação das classes em rede semântica, os objetos e seus relacionamentos são modelados por regras de classificação. Estas regras de classificação podem utilizar funções *fuzzy* de pertinência, que modelam a incerteza associada às classes.

2.1 Segmentação Multiresolução

A segmentação multiresolução aplica a abordagem de crescimento de regiões, construindo o critério de similaridade a partir do conceito de heterogeneidade interna das regiões. A heterogeneidade constitui-se da diferença entre o atributo de uma possível região e a soma dos valores deste mesmo atributo para as regiões que a formam. Na segmentação em questão, são calculadas as heterogeneidades para os atributos de cor e forma (que são ponderados pelo tamanho dos objetos). A soma ponderada (pesos fornecidos pelo usuário) destas duas heterogeneidades forma o critério de similaridade f (Definiens, 2003). O usuário pode inserir pesos diferenciados para cor e forma.

Além de sua especificidade em relação à construção do critério de similaridade, a principal característica da segmentação multiresolução é a possibilidade de segmentar uma mesma imagem em níveis de escala diferenciados que se relacionam entre si, formando uma rede hierárquica de objetos (Batz, M.; Schäpe, A., 2000). Desta forma, cria-se a concepção de superobjetos e subobjetos. Na rede hierárquica formada, cada objeto “sabe” a que superobjeto pertence no nível superior, “reconhece” seus subobjetos no nível inferior e “conhece” seus vizinhos no nível hierárquico onde está contido (Benz et al., 2004). Outra importante especificidade desta segmentação é a possibilidade de se utilizar informações temáticas (seja na forma de arquivos vetoriais ou raster) no procedimento de segmentação.

2.2 Rede Semântica

A rede semântica é uma forma de representação gráfica do conhecimento através da conexão entre arcos e nós (Sowa, 2000 *apud* Antunes, 2003). Os nós são os conceitos ou categorias relativos a um determinado conhecimento e os arcos explicitam as relações entre os nós. Nesta representação as classes herdam atributos e comportamentos das superclasses que as contém.

2.3 Classificação

Depois de definidos os objetos (segmentação) e a rede semântica, o processo de classificação é efetuado por meio de regras de decisão. Estas podem ser materializadas através do algoritmo vizinho mais próximo ou por regras de pertinência *fuzzy*. As regras adotadas neste trabalho são do tipo *fuzzy*. Utilizando regras *fuzzy*, um objeto pode estar associado a várias classes com diferentes graus de pertinência. O grau de pertinência varia de 0 (não pertence) a 1 (pertence) e a classe considerada é aquela cujo grau de pertinência é maior.

3. Material Utilizado

O trabalho foi realizado sobre uma área teste de aproximadamente 12 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 cobertura do solo presentes em uma grande gama de tamanhos e padrões espaciais.

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* e-Cognition 4.0 para a análise orientada a objetos; arquivo vetorial do tipo *shapefile* com as quadras e ruas da área urbana; 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: preparação da imagem; definição e caracterização das classes; segmentação; elaboração da rede semântica e seleção de atributos; classificação e avaliação dos resultados.

4.1 Preparação da Imagem

Dois processos de transformação foram realizados sobre as imagens: fusão por principais componentes e transformação IHS a partir de uma composição colorida cor verdadeira. O objetivo da fusão foi otimizar a informação multiespectral e a alta resolução espacial da banda pancromática, o que viabiliza uma melhor identificação dos alvos urbanos. Como a informação espectral básica contida neste tipo de imagem é a cor (os dados possuem apenas três bandas no visível e uma no infravermelho próximo) e muitos alvos urbanos possuem cores muito similares, a utilização de informações de brilho, saturação e matiz dos objetos pode auxiliar na distinção dos mesmos.

4.2 Definição e caracterização das classes de interesse

A seleção e caracterização das classes de interesse foram realizadas com base na interpretação visual da imagem Quickbird fusionada, procurando identificar os principais materiais aplicados nas vias pavimentadas, nas coberturas das construções e também os principais tipos de cobertura de feições naturais. Foram definidas as seguintes classes: Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira, Objetos de Alto Brilho, Cobertura Metálica, Concreto / Amianto Escuro, Concreto/ Amianto Médio, Asfalto, Cerâmica Clara, Cerâmica Escura, Solo Exposto Claro, Solo Exposto Escuro; Piscina e Sombra.

A caracterização das classes foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação para cada uma das classes. Nestas chaves foram analisados os elementos de interpretação: cor, tamanho, forma, localização e textura.

4.3 Segmentação

Foram criados quatro níveis de segmentação. Para cada um deles definiram-se quais seriam os objetos de interesse, a quais objetivos deveriam atender, quais arquivos deveriam ser utilizados na segmentação e qual dos parâmetros (cor ou forma) teria maior peso na segmentação.

O Nível IV agrega todos os objetos dos níveis inferiores. Desta forma, é possível analisar uma série de dados agrupados pela unidade espacial bairro. A classificação dos outros níveis inferiores não foi influenciada pela sua existência. O Nível III, onde foram criadas apenas as classes Quadras e Ruas, foi criado para restringir a existência de algumas classes, baseado no fato de que algumas classes só ocorrem dentro das quadras ou nas ruas. O objetivo do Nível II era mapear a classe Vegetação em um nível um pouco mais grosseiro. O Nível I teve como objetivo identificar as classes de cobertura do solo em escala detalhada.

Quanto ao parâmetro priorizado na segmentação; nos Níveis IV e III, foi atribuído maior peso ao parâmetro forma. Isto foi devido ao fato de que os limites dos objetos destes níveis já estavam previamente definidos pelos vetores de bairros e quadras que foram utilizados no processo de segmentação. Já os Níveis I e II tiveram maior peso atribuído ao parâmetro cor, pois o conteúdo espectral é mais importante para distinguir classes de cobertura que o de forma.

4.4 Elaboração da Rede Semântica e Seleção de atributos para o nível 1.

Nesta etapa foram elaboradas as redes semânticas para cada nível hierárquico e também foram definidas as regras de classificação e descritores para cada classe. Estas duas tarefas se realizaram em conjunto, pois a diferenciação de uma classe para outra depende de como as classes estão agrupadas na rede semântica.

A definição de descritores e regras de pertinência realizou-se da seguinte maneira: inicialmente foram selecionadas algumas amostras de treinamento para cada uma das classes. Em seguida, o comportamento destas amostras em relação aos descritores foi analisado com o uso de histogramas, gráficos de dispersão e espacialização de atributos. Como existe um grande número de descritores disponíveis no programa utilizado (mais de cem), foram priorizados os atributos identificados pela chave de interpretação elaborada na fase 4.2.

Na definição da rede semântica o primeiro passo foi definir uma rede inicial seguindo a estratégia das chaves de eliminação¹ (**Figura 1**) para as classes mais facilmente distinguíveis pelos atributos espectrais: Vegetação (caracterizada por valores do NDVI da média dos objetos) e Sombra (baixo brilho). Na seqüência, as outras classes foram definidas por relações de especialização, baseadas nos atributos analisados das chaves de classificação. Em seguida, esta rede foi testada através do comportamento das classes para os descritores selecionados. Como muitas classes apresentavam comportamentos parecidos para um determinado atributo, elas foram agrupadas em superclasses. Por um outro lado, outras pertencentes a uma determinada superclasse não tinham nada em comum com a classe-mãe, e por isso, foram recolocadas em outra superclasse. Em outras palavras, durante o procedimento de análise do comportamento das classes, a rede semântica passou por diversas mudanças até chegar à estrutura final.

A primeira rede semântica foi testada (**Figura 1**), e verificou-se que algumas classes filhas da superclasse Não-Sombra possuíam comportamentos muito parecidos e, por isso, foram agrupadas em três novas superclasses:

¹ É um tipo de chave de interpretação, em que o analista elimina passo a passo os atributos e condições de um nível mais geral até o mais específico, no qual está a classificação de seu objeto (Lillesand e Kiefer, 1994).

- 1) Escuros, englobando as classes Concreto / Amianto Escuro e Asfalto, as quais possuíam Número Digitais (ND) baixos para todas as bandas.
- 2) Vermelhos, que reuniu as classes Telha Cerâmica e Solo Exposto, que tinham em comum altos valores de ND na banda do vermelho e valores muito baixos de ND para a banda do azul. A fim de se caracterizar este comportamento específico, foi criado o atributo 3/1, que se constitui na razão da média dos objetos da banda 3 pela banda 1.
- 3) Outros, que juntou as outras classes restantes: Concreto / Amianto Médio, Piscina, Cobertura Metálica e Concreto / Amianto Claro.

Além da criação destas novas superclasses, a classe Concreto / Amianto Claro foi redefinida. A sua principal característica é a cor branca (ou seja, alta reflectância em todas as bandas do visível, o que resulta em alto brilho). Além de coberturas de concreto claro, algumas coberturas metálicas e alguns veículos estacionados também possuem a cor branca. Desta forma, redefiniu-se o escopo desta classe para a identificação de objetos com alto brilho, e esta foi renomeada para Objetos de Alto Brilho.

As modificações realizadas sobre a primeira rede semântica resultaram em uma nova rede, que é apresentada na **Figura 2**.

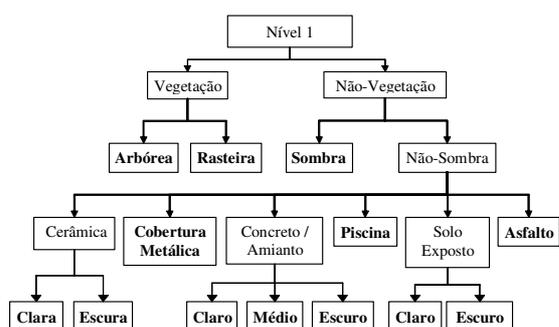


FIGURA 1 – Primeira Rede Semântica do Nível I.

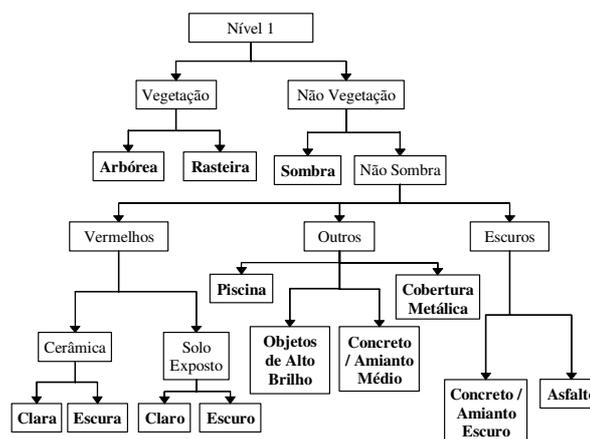


FIGURA 2 – Segunda Rede Semântica do Nível I.

Esta rede também foi testada, e verificaram-se ainda alguns pontos deficientes na mesma. O primeiro ponto foi a distinção entre a Classe Concreto / Amianto Médio e as outras classes da superclasse Outros. Não se identificou nenhum atributo que fosse capaz de discriminá-la de suas classes irmãs. Contudo, observou-se que a classe em questão possuía um comportamento bastante parecido ao do atributo 3/1 em relação à superclasse Vermelhos. Em vista disso, ela foi inserida a nesta superclasse.

Houve ainda mais uma mudança na segunda rede; deslocou-se a posição da classe Objetos de Alto Brilho e da Vermelhos para alguns níveis acima. Como as duas apresentavam comportamento bem diferenciado em relação a todas as outras classes, optou-se por transformá-las em superclasses de eliminação, como por exemplo Vegetação e Não Vegetação. Desta forma, nesta nova rede, Não-sombra dividiu-se em Objetos de Alto Brilho e Não-Brilhantes, e esta última, em Vermelhos e Não-Vermelhos. Escuros e Outros se tornaram classes filhas de Não-Vermelhos. Estas modificações são observadas na terceira Rede Semântica, que está representada na **Figura 3**.

Após o teste da terceira rede percebeu-se que as classes Escuros e Cobertura Metálica tinham em comum histogramas com baixos valores em relação ao atributo 3/1, enquanto a classe Piscina tinha valores mais altos localizados em uma faixa específica e bem definida no histograma. Diante deste contexto, optou-se por agrupar as classes Escuros e Cobertura

Metálica na superclasse Azulados. Como na superclasse Outros ficaria somente a classe Piscina, decidiu-se eliminá-la e deslocar Piscina a um nível acima na hierarquia. Na **Figura 4**, é apresentada a nova rede com as modificações mencionadas.

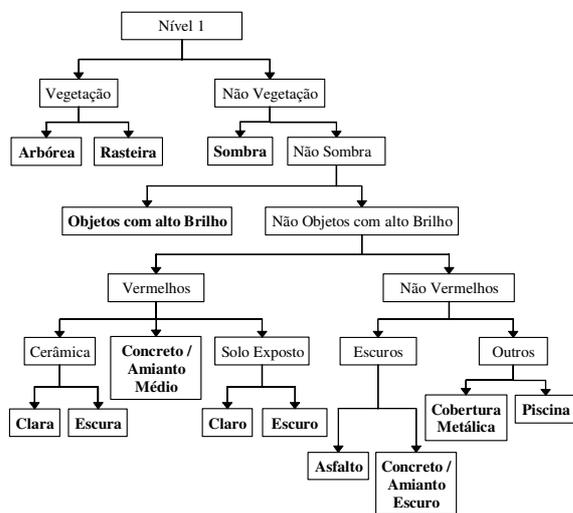


FIGURA 3 – Terceira Rede Semântica do Nível I.

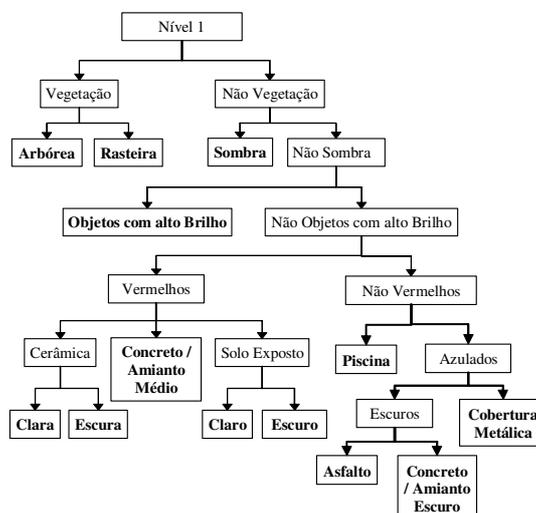


FIGURA 4 – Quarta Rede Semântica do Nível I.

Como ocorreu com as outras redes, a quarta também foi testada, e o resultado do teste foi a constatação da necessidade de se ajustar a organização da superclasse Vermelhos em função do comportamento observado para as classes filhas de Cerâmica e Solo Exposto, as quais não apresentavam características semelhantes entre si. Ao mesmo tempo, percebeu-se que para o atributo “média dos objetos da banda 3”, havia uma boa diferenciação entre as classes claras (Cerâmica Clara + Solo Exposto Claro) e escuras (Cerâmica Escura e Solo Exposto Escuro), onde cada um dos pares ocupou uma faixa específica e bem definida do histograma do atributo em questão. Desta forma, as superclasses Cerâmica e Solo Exposto foram substituídas por Marrom e Vermelho Claro. A superclasse Marrom agregou as classes Cerâmica Escura e Solo Exposto Escuro, e a Vermelho Claro, as classes Cerâmica Clara e Solo Exposto Claro (**Figura 5**).

Ainda no teste desta rede, verificou-se que havia mistura entre as classes Asfalto e Concreto / Amianto Escuro, em funções de suas características espectrais semelhantes. Partindo-se do princípio de que só haveria edificações com cobertura de Concreto / Amianto Escuro dentro das quadras, e que os objetos da classe Asfalto estariam restritos às ruas, a utilização de regras de classificação que traduzissem estas restrições espaciais poderia resolver o problema de mistura das classes. Porém, estas regras não podem ser aplicadas à classe Asfalto, pois há estacionamentos na área de estudo que são pavimentados com asfalto. Desta forma, a relação com os superobjetos do Nível III só foi estabelecida para a classe Concreto / Amianto Escuro, subdividindo-a em duas novas classes: Erro Asfalto, objetos classificados como Concreto / Amianto Escuro e que pertenciam a superobjetos da classe Ruas; e Concreto Amianto Escuro de Fato, todos os outros objetos classificados como Concreto / Amianto Escuro. Estas alterações foram as últimas. Segue abaixo, a versão final da Rede Semântica aplicada ao Nível I (**Figura 5**). Em negrito as classes de cobertura do solo que foram mapeadas. No retângulo de cada classe está o atributo utilizado para caracterizá-la.

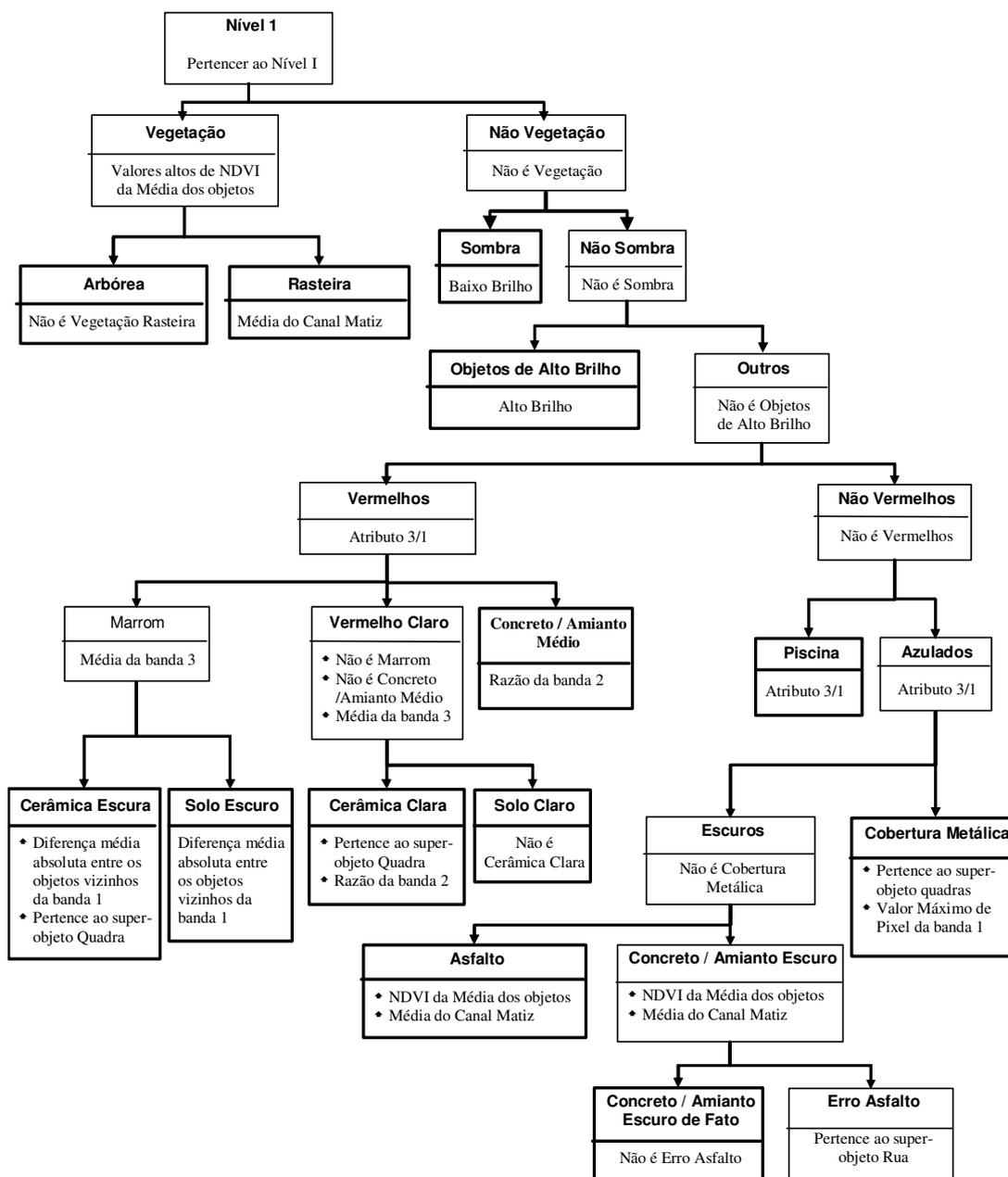


FIGURA 5 – Rede Semântica Final.

4.5 Classificação e Avaliação dos Resultados

Nesta etapa foram realizadas a classificação da imagem e a avaliação dos resultados por meio da análise da matriz de confusão. Antes de se confeccionar a matriz de confusão algumas classes foram agrupadas em classes maiores, pois só foram criadas para facilitar a distinção de alguns alvos que se confundiam. Assim as Classes de Cerâmica Escura e Clara agruparam-se na classe Cerâmica; Solo Exposto Claro e Escuro formaram a classe Solo Exposto e as classes Erro Asfalto e Asfalto foram fundidas na Classe Pavimentação Asfáltica.

A classificação obteve uma estatística *Kappa* de 0,57 que segundo Landis e Koch (1977) é uma classificação de boa qualidade (0,40 a 0,60).

Analisando-se a matriz de confusão abaixo se destaca os seguintes comportamentos: O excelente desempenho da classe Piscina; confusão entre a classe Cerâmica e Solo Exposto; confusão entre Pavimentação Asfáltica com concreto / Amianto Escuro; confusão entre

vegetação Arbórea e Rasteira; fraco desempenho da classe Concreto / Amianto Médio que se confunde com várias classes.

TABELA 1 – Matiz de Confusão.

Polígonos Referencia	Objetos de Alto Brilho	Telha Cerâmica	Solo Exposto	Cobertura metálica Metálica	Concreto / Amianto Médio	Concreto / Amianto Escuro	Pavimentação Asfáltica	Piscina	Sombra	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Total
Objetos de Alto Brilho	49	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Telha Cerâmica	0	42	6	0	6	1	0	0	6	0	0	61
Solo Exposto	0	26	30	0	5	1	3	0	0	0	0	66
Cobertura metálica Metálica	3	1	0	16	13	4	1	0	6	0	0	44
Concreto / Amianto Médio	14	3	2	0	23	1	6	0	3	0	0	52
Concreto / Amianto Escuro	0	5	3	0	6	16	9	0	11	1	1	52
Pavimentação Asfáltica	0	0	0	1	11	3	36	0	3	1	0	55
Piscina	0	0	0	4	0	0	0	54	2	0	0	60
Sombra	0	1	0	0	0	4	0	0	52	5	0	62
Vegetação Arbórea	0	0	2	0	0	0	1	0	17	38	6	64
Vegetação Rasteira	1	2	7	0	4	0	0	0	9	15	27	65
Total	67	81	50	21	68	30	56	54	109	60	35	631
Exatidão do Produtor	0,73	0,52	0,60	0,76	0,34	0,53	0,64	1,00	0,48	0,63	0,77	
Exatidão do Usuário	0,98	0,69	0,45	0,36	0,44	0,31	0,65	0,90	0,84	0,59	0,42	
Kappa por Classe	0,71	0,47	0,55	0,74	0,28	0,49	0,61	1,00	0,42	0,59	0,75	

5. Considerações finais

Neste trabalho foi criada uma rede semântica para classificação de cobertura solo de ambientes intra-urbanos. O resultado obtido indicou que a rede criada produziu um mapa de cobertura do solo intra-urbano com boa exatidão temática para a área de estudo adotada. Entretanto a rede proposta precisa ser aperfeiçoada (melhorar a identificação de algumas classes) e reaplicada para outras áreas de estudo a fim de verificar seu poder de generalização para outros ambientes intra-urbanos.

Agradecimentos

À Empresa Imagem que gentilmente cedeu às cenas *Quickbird* utilizadas neste experimento.

Referências

- 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.
- Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*. Karlsruhe. Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12 – 23. Disponível em: <http://www.definiens.com/pdf/publications/baatz_FP_12.pdf>. Acesso em: 23 maio 2003.
- Benz, U.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingenfelder, I.; Heynen, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, Jan. 2003.
- Definiens. **eCognition: User Guide 3**. Germany, 2003, 480 p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acesso em: 15 out. 2003.
- Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174. 1977.
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley and Sons, 1994. 117 p.
- Pinho, C.M., Kux, H. Dados do Quickbird para subsidiar o planejamento urbano: uma proposta metodológica, município de São José dos Campos, SP, Brasil. In: Simposio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, 11., 2004, Santiago. **Anais...** Santiago: SELPER, 2004. CD-ROM.
- 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. 179p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
- Schiewe, J., Tufte, L. Ehlers, M., Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. **GeoBIT/GIS** n. 6, p. 34-39, June 2001.