

# Estruturação de redes semânticas na classificação orientada a objeto de imagens orbitais para mapeamento de áreas cafeeiras.

Tiago Bernardes <sup>1,2</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca <sup>1</sup>  
Maurício Alves Moreira <sup>1</sup>  
Flávio Fortes Camargo <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bernati, fortes@dsr.inpe.br}; leila@dpi.inpe.br; mauricio@ltd.inpe.br

<sup>2</sup> Bolsista CNPq - Brasil

**Abstract:** Mapping coffee lands by using intermediate spatial resolution imagery has been a challenge for remote sensing researchers. Several environmental, physiological and crop management factors, increase confusion in both visual interpretation and automatic classification of coffee fields related to other landcover units. It is essential to combine spectral information from satellite imagery with ancillary data, such as environmental factors and contextual interpretation elements (e.g. the degree and kind of texture and shape conditions) transposed to digital analysis. This study shows the outcomes of Object Based Image Analysis (OBIA) of coffee lands supported by ancillary data. Non supervised classification (the ISOSEG algorithm available in the SPRING software) of the same area using Landsat Thematic Mapper (TM) images was carried out in order to compare the results. A reference map was generated by on-screen digitalization of Landsat imagery. Several features were selected on-screen to improve the land cover classification through a semantic net. The object-oriented classification performed better, in terms of accuracy, than the non supervised classification. The highest overall accuracy was 83%. However, some types of coffee crops could not be identified only by expert knowledge based feature selection, so it is advisable to use a formal method, such as data mining, to better select the best thresholds and the suitable features to identify those types of coffee crops.

**Palavras-chave:** coffee, image segmentation, object-based image analysis, café, segmentação de imagens, análise orientada a objeto.

## 1. Introdução

A extração de informações relativas à cultura cafeeira a partir de imagens de satélites apresenta desafios a serem vencidos no sentido de se obter metodologias confiáveis de interpretação automática e semi-automática de dados. A grande variabilidade de padrões espectrais da cultura apresentados numa cena de satélite, decorrentes de variados estágios fenológicos e vigor vegetativo, espaçamento, culturas intercalares e tratos culturais, dificulta o reconhecimento de padrões por procedimentos automatizados e semi-automatizados.

Nas análises de imagens de sensoriamento remoto para identificação de culturas, as áreas cafeeiras apresentam confusões com diferentes classes de ocupação agrícola como pastagens, solo exposto e culturas anuais. Adicionalmente, fragmentos de vegetação nativa, como cerrado e mata, também se confundem com áreas de café. Além disso, importantes parâmetros do meio físico, como declividade e exposição de vertentes, que alteram o sombreamento e a geometria de reflexão da radiação, somados a padrões irregulares de forma, tamanho e estratificação dos talhões com fragmentos de vegetação nativa, dificultam a definição de regras estatísticas para identificação de intervalos de nível de cinza representativos de áreas cafeeiras na imagem. Tais complicações podem ser superadas usando a capacidade cognitiva humana, por meio de técnicas de fotointerpretação que permitem o reconhecimento de padrões baseado em elementos como textura, forma, tamanho, tonalidade ou cor etc.

O mapeamento do uso da terra apoiado apenas no comportamento espectral dos alvos, como é o caso dos classificadores “per pixel”, tem seu desempenho fortemente reduzido

quando avaliada a exatidão da classe “Café” individualmente. Informações semânticas importantes utilizadas na interpretação de imagens não são tomadas em consideração por esses classificadores.

Uma vez que variáveis do meio físico e fenologia da cultura podem alterar a resposta espectral do café ou mesmo informar sobre outras prováveis classes de uso da terra, a inclusão de dados auxiliares, como altimetria, geomorfometria (declividade e orientação de vertentes), geologia, pedologia e variáveis texturais, nos procedimentos de classificação pode ser de grande utilidade. Cordero-Sancho e Sader (2007) sugerem que o uso de índices de vegetação e outros dados auxiliares pode melhorar significativamente a exatidão das classificações, sobretudo em áreas onde os efeitos de sombreamento topográfico são drásticos.

Torna-se desejável, portanto, a adoção de abordagens computacionais que emulem os procedimentos fotointerpretativos, assim como a habilidade humana de lidar com incertezas decorrentes da similaridade entre classes, ou seja, níveis de cinza pertencentes a mais de uma classe de cobertura da terra.

A Análise Orientada a Objeto (AOO) propõe uma abordagem intuitiva em que, freqüentemente, as soluções de programação se assemelham a métodos que os humanos utilizam para resolver problemas cotidianos (Durkin, 1996). O objetivo principal deste paradigma é emular a percepção humana do mundo. Neste sentido, AOO consiste em uma mudança na filosofia da computação que vai além de uma visão orientada ao computador e atinge uma visão orientada ao conhecimento (como representar o mundo percebido) (Bian, 2007).

Classificações orientadas a objeto permitem a simulação da interpretação visual através da modelagem do conhecimento para identificação de feições baseada na definição de padrões descritores como cor, textura, métrica, contexto, etc. Dentre as plataformas/sistemas disponíveis, destaca-se o aplicativo Definiens<sup>®</sup> (Batz et al., 2004), o qual possibilita a segmentação e o manuseio de múltiplas resoluções de imagens, a construção de redes semânticas e o emprego de operadores fuzzy, capazes de lidar com incertezas ou verdades parciais. Além disso, dados temáticos como hipsometria, geomorfologia, pedologia, etc., também podem ser utilizados na definição das regras de interpretação e identificação de tipos de cobertura da terra (Benz et al., 2004; Definiens, 2006).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar padrões de atributos espectrais e dados auxiliares visando à estruturação de uma rede semântica para a classificação de áreas cafeeiras por meio de imagens TM/Landsat-5 numa região representativa do parque cafeeiro do Estado de Minas Gerais.

## **2. Material e métodos**

### **2.1. Área de estudo e dados utilizados**

A área de estudo compreende uma parcela significativa do parque cafeeiro da região sul de Minas Gerais, com grande variabilidade de paisagens e reconhecidos problemas na identificação automática do café devido aos fatores complicadores supracitados. Situa-se entre as coordenadas 45° 0' 19.57'' e 47° 22' 33.67'' de longitude Oeste; 20° 40' 52.47'' e 22° 38' 38.80'' de latitude Sul.

Foram utilizados os seguintes dados primários: i) imagem Landsat TM de parte da região Sul de Minas Gerais, tomada na data de 16/08/2007 correspondente à órbita/ponto 219/75; ii) dados de relevo derivados do projeto SRTM, disponíveis on-line em <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>, com resolução original de 90 metros; iii) mapa temático de áreas cafeeiras obtido por interpretação visual de imagens Landsat em 2007 (Moreira et al., 2007); e dados secundários: i) dados de textura e NDVI, derivados da imagem Landsat; ii) dados de altitude, derivados da imagem SRTM.

Dentre as diversas etapas de pré-processamento e análise dos dados foram utilizados os seguintes sistemas: i) ENVI<sup>®</sup> versão 4.4, para registro, geração de dados de textura, reflectância de superfície e índice de vegetação; ii) SPRING versão 4.3.3, para geração de dados de altitude, classificação não-supervisionada e recortes dos dados e iii) Definiens<sup>®</sup>, para classificação contextual e orientada a objetos (Definiens, 2006).

## 2.2. Metodologia

A metodologia incluiu a segmentação das imagens e extração de atributos auxiliares para definição de uma rede semântica, para posterior classificação utilizando combinações de informações espectrais, texturais e contextuais/topológicas.

Inicialmente todas as bandas (exceto a banda 6) do sensor TM/Landsat-5 foram convertidas para reflectância de superfície visando à obtenção de índices de vegetação a serem usados na classificação orientada a objetos. As imagens resultantes foram registradas e transformadas em dados de textura (medidas de co-ocorrência: média, variância, homogeneidade, contraste, dissimilaridade, entropia, segundo momento angular e correlação) e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). Paralelamente, os dados SRTM foram tratados para obtenção das faixas de altitude adequadas ao cultivo do cafeeiro e uma classificação não-supervisionada pelo algoritmo ISOSEG foi gerada para comparar com a classificação orientada a objetos. Segundo Adami et al. (2002) o algoritmo ISOSEG apresentou o melhor resultado, em termos de índice Kappa, quando comparado com a classificação visual.

Em seguida, as imagens de reflectância, medidas de textura, dados de altitude e NDVI foram importados para o sistema Definiens<sup>®</sup> para segmentação e extração de atributos a serem utilizados na rede semântica da classificação final. A Figura 1 apresenta um fluxo de trabalho inicial ilustrando as etapas de processamento:

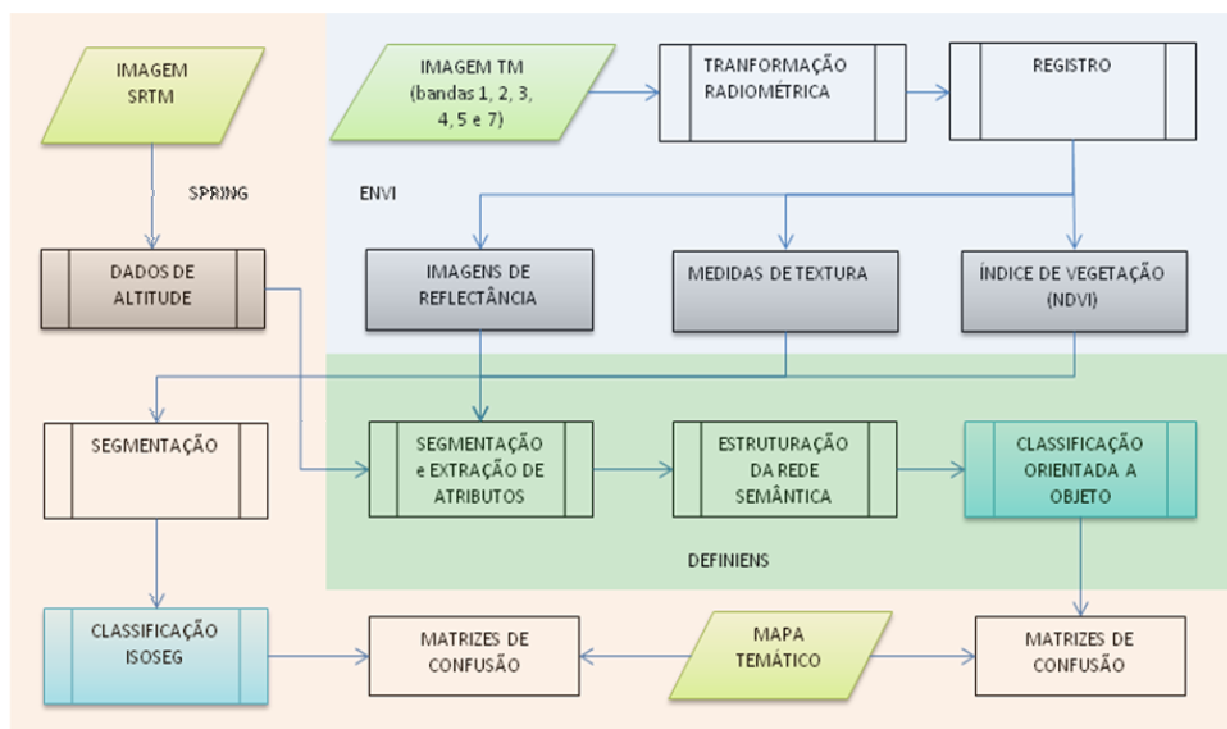


Figura 1: Fluxograma das etapas e módulos de processamento utilizados.

A segmentação no SPRING foi feita com base nas bandas 3, 4 e 5 do sensor TM, utilizando o algoritmo de crescimento de regiões com limiares de similaridade 10 (níveis de cinza) e de área 50 (pixels). A segmentação no Definiens foi realizada com as mesmas

bandas, pelo algoritmo baseado em multi-resolução em dois níveis, com os seguintes parâmetros: forma = 0.1, cor = 0.9, compacidade = 0.5, suavidade = 0.5 e fator de escala igual a 20 para o nível 1, e forma = 0.1, cor = 0.9, compacidade = 0.5, suavidade = 0.5 e fator de escala igual a 30 para o nível 2.

No nível 2 foram definidas as superclasses *Água (1)*, *Vegetação (2)* e *Não água/não vegetação (3)*. No nível 1 foram definidas as classes *Vegetação densa* e *Vegetação não densa*, que especificam a superclasse 2. Neste mesmo nível foram especificadas ainda as classes *Café 01*, e *Mata* para a classe *Vegetação densa* e *Café 02*, *Café 03*, *Vegetação ciliar* e *Outros* para a classe *Vegetação não densa*. As demais classes neste nível apenas herdam os atributos das superclasses *Água* e *Não água/não vegetação* do nível 2.

Após a segmentação pelo algoritmo multi-resolução foram espacializados os atributos e selecionados aqueles que melhor separaram as classes desejadas definidas acima. Para os atributos utilizados na separação das classes, que não apresentaram limiares claros, foram definidos valores de pertinência para funções fuzzy para lidar com o problema da sobreposição. Após a classificação, todas as classes relativas ao café foram agrupadas numa só classe, denominada *Café* e as demais foram agrupadas numa só classe, denominada *Outros*. As classes definidas pelo ISOSEG foram agrupadas da mesma forma permitindo a geração de matrizes de confusão. A Figura 2 apresenta um esboço da rede obtida e atributos usados na separação das classes.

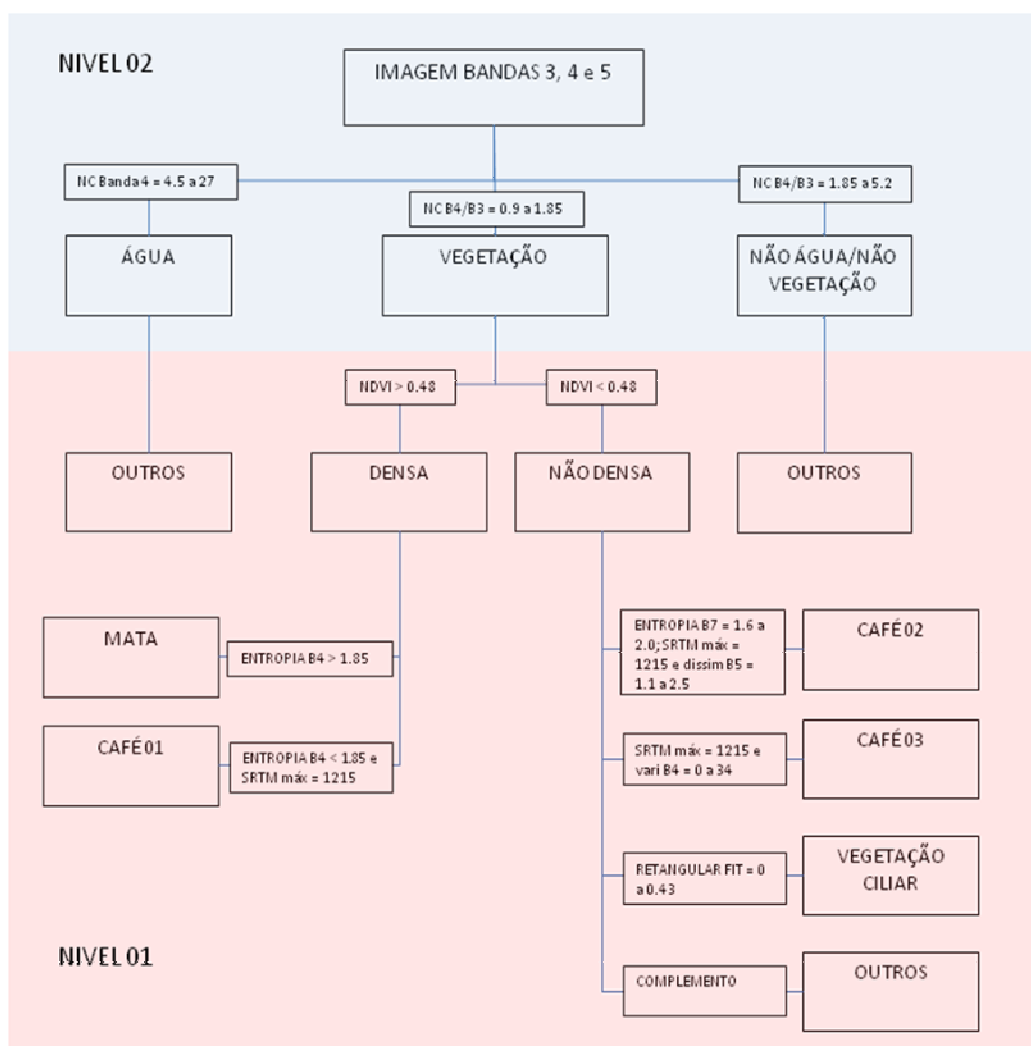


Figura 2: Rede utilizada na classificação com os limiares dos atributos selecionados na separação das classes

### 2.3.1. Validação

A avaliação dos resultados foi feita pela comparação do desempenho da classificação orientada a objeto com a classificação pelo ISOSEG, implementado no SPRING. Este classificador foi escolhido por ser mais adequado no mapeamento de áreas cafeeiras, embora seu desempenho ainda seja considerado fraco para áreas problemáticas. Foram geradas matrizes de confusão para as duas classificações, tomando-se como referência o mapeamento realizado por Moreira et al. (2007) e avaliados a exatidão global e valores marginais da classe café.

## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Seleção de atributos

O atributo NDVI permitiu a separação entre as classes *Vegetação densa* e *Vegetação não densa*, minimizando a confusão espectral decorrente de efeitos de sombreamento. O atributo de textura “entropia média da banda 4” permitiu clara distinção entre as classes *Mata* e *Café 01*, que não foram separadas pelo classificador ISOSEG. As áreas de vegetação ciliar foram mapeadas com auxílio do atributo de forma “retangular fit” que proporcionou excelente individualização da classe *Mata ciliar*, enquanto que o ISOSEG mais uma vez classificou grande parte desta classe como *Café*. Outro atributo de grande ajuda foi a “altitude máxima” que permitiu a eliminação de áreas impróprias para café limitadas pela altitude. Neste caso, toda cobertura semelhante a café nestas áreas, que foi confundida e mapeada como tal pelo classificador ISOSEG, foi devidamente desconsiderada pelo classificador contextual. Isto pode ser observado na porção inferior esquerda dos mapas gerados (Figuras 3, 4 e 5), onde as altitudes superiores a 1200 metros apresentam-se inadequadas para café.

Uma análise quantitativa não pôde ser realizada devido à inexistência de um conjunto de dados de referência para as classes *Mata* e *Vegetação ciliar*, uma vez que o mapa usado apresenta apenas áreas de café.

### 3.2. Validação dos resultados

O mapeamento utilizado como referência e os resultados das classificações são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5. As Tabelas 1 e 2 apresentam as estatísticas de exatidão derivadas da tabulação cruzada dos mapeamentos realizados com o mapa de referência.

Os baixos índices de exatidão exibidos na Tabela 2 (Global, Kappa e Tau) mostram que a classificação convencional não foi capaz de tratar com eficiência as confusões e similaridades das áreas cafeeiras por considerar apenas os valores digitais da imagem. Bernardes et al. (2007) encontraram resultados da ordem de 0,28 a 0,48 para índices Kappa e Tau em diferentes classificações automáticas. No entanto, a região em estudo consistia de extensas áreas planas com cultivos homogêneos. Embora, o índice Global possa ser considerado como razoável (0,65), uma vez que este considera apenas a diagonal principal da matriz, uma interpretação mais adequada deve ser feita considerando os valores marginais de acerto, ou seja, os erros de omissão e comissão da classe *Café*.

Numa análise visual dos mapas obtidos percebe-se a super-estimativa de áreas cafeeiras pelo classificador ISOSEG, que pode ser confirmada pelo elevado erro de comissão da classe *Café*. Cerca de 77% das áreas cafeeiras mapeadas correspondem a outro tipo de uso no mapa de referência, enquanto 38% das áreas de café no mapa de referência foram mapeadas como outro tipo de uso pelo classificador. Isto se reflete nos índices Kappa e Tau, que consideram tais erros marginais, resultando em valores menores.

A classificação orientada a objetos, por sua vez, teve um comportamento melhor em todos os sentidos, com valores elevados de acerto devido à inclusão de atributos tais como textura, forma e altitude, que auxiliaram na identificação da cultura cafeeira. Novamente aqui, uma

análise dos erros de omissão e comissão informa melhor a respeito da qualidade da classificação do que simplesmente os valores gerais. Observa-se na Tabela 1, que cerca de 57% das áreas classificadas como café são na realidade outros usos, e 55% das áreas reais de café foram classificadas como outros usos. Contudo, isto não inviabiliza o método, uma vez que, ainda assim, a classificação foi superior. Além disso, a região escolhida representa um grau máximo de dificuldade com todos os tipos de complicações, mesmo para interpretação visual. Cordero-Sancho e Sader (2007), que avaliaram a exatidão de classificações de áreas cafeeiras na Costa Rica, encontraram índices Globais de exatidão em torno de 0,60 e valores marginais de 60 a 25% (erros de omissão) e 37 a 21% (erros de comissão) em mapeamento de cafezais sombreados e não sombreados.

Tabela 1: Matriz de confusão e índices de exatidão da classificação orientada a objeto (valores tabulados em hectares)

		REFERÊNCIA				
		CAFÉ	OUTROS	TOTAL	COMISSÃO	AC. USUÁRIO
COO	CAFÉ	29828.79	39852.27	69681.06	57.19	42.80
	OUTROS	36972.09	360320.76	397292.85	9.30	90.69
TOTAL		66800.88	400173.03	466973.91		
OMISSÃO		55.34	9.95			
AC.PRODUTOR		44.65	90.04			
GLOBAL = 0,83			KAPPA = 0,34		TAU = 0,67	

Tabela 2: Matriz de confusão e índices de exatidão da classificação pelo ISOSEG (valores tabulados em hectares)

		REFERÊNCIA				
		CAFÉ	OUTROS	TOTAL	COMISSÃO	AC. USUÁRIO
ISO	CAFÉ	41051.79	137559.69	178611.48	77.01	22.98
	OUTROS	25749.09	262613.34	288362.43	8.92	91.07
TOTAL		66800.88	400173.03	466973.91		
OMISSÃO		38.54	34.37			
AC.PRODUTOR		61.45	65.62			
GLOBAL = 0,65			KAPPA = 0,16		TAU = 0,30	



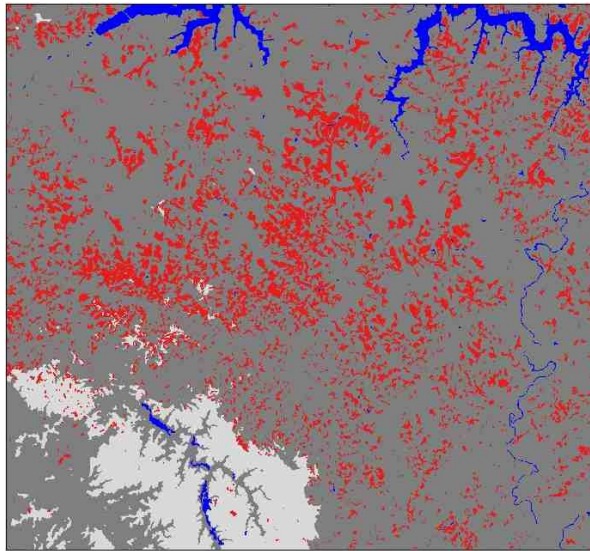


Figura 3: Mapa de referência

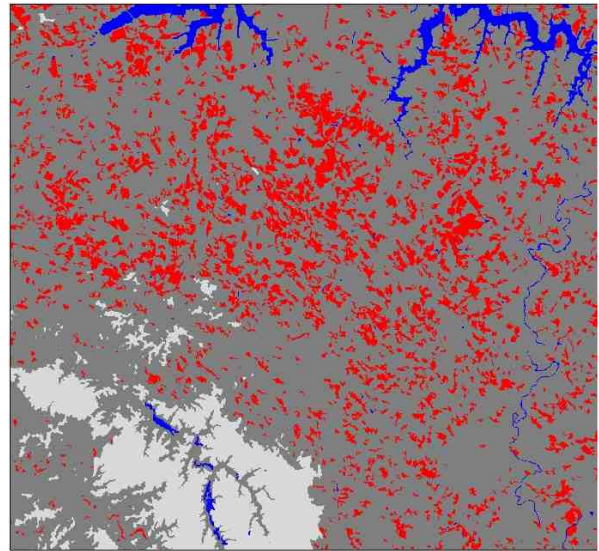


Figura 4: Classificação Orientada a Objeto

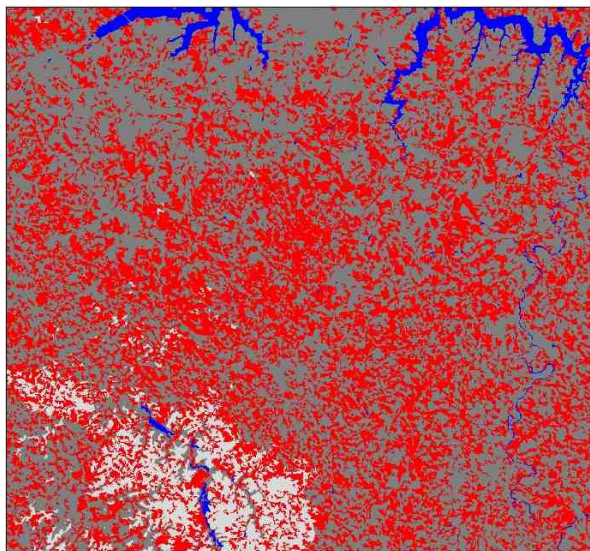


Figura 5: Classificação ISOSEG

LEGENDA:  
 Cobertura  
 ■ Café  
 ■ Água  
 Altitude  
 ■ <1215 m  
 ■ >1215 m

#### 4. Conclusões

A classificação orientada a objeto apresentou melhor resultado do que a classificação não-supervisionada, sugerindo um grande potencial do método para mapeamento de áreas cafeeiras. A inclusão de atributos de textura, forma, altitude e índice de vegetação, assim como a definição de funções fuzzy no tratamento de incertezas, foram responsáveis pelo melhor desempenho da classificação.

A análise exploratória para seleção de atributos ideais foi realizada quase que exclusivamente com base em conhecimento *expert* a respeito das informações de contexto da cultura cafeeira. O uso de técnicas mais eficientes visando a seleção de atributos auxiliares na estruturação da rede semântica para classificação, como por exemplo *data mining*, pode ajudar na definição de limiares mais adequados e atributos adicionais.

## Referências Bibliográficas

- Adami, M.; Pinheiro, E. S.; Moreira, M. A.; Fonseca, L. M. G. Aplicações de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/Landsat-7 no mapeamento agrícola. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota Y Sistemas de Information Espacial, 10; Reunion Plenaria de SELPER, 21. Cochabamba, 2002 **Anais...** Cochabamba: SELPER, 2002. v., p. 8
- Benz, U. C.; Hofmann, P.; Willhauck, G.; Lingerfelder, I.; Heynen., M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol 58, pág 239-258. 2004.
- Baatz, M.; Benz, U.; Dehghani, S.; Heynen, M.; Höltje, A.; Hofmann, P.; Lingenfelder, I.; Mimler, M.; Sohlbach, M.; Weber, M.; Willhauck, G. **e-Cognition Professional User Guide** 4. München, Germany: Definiens Imaging GmbH, 486 p. 2004.
- Bernardes, T.; Alves, H. M. R.; Vieira, T. G. S.; Andrade, H. Avaliação da acurácia do mapeamento do uso da terra no complexo Serra Negra, Patrocínio, MG, por interpretação visual e classificação automática de imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5587-5594. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.10.39/doc/5587-5594.pdf>>. Acesso em: 21 out 2008.
- Bian, L. Object-oriented representation of environmental phenomena: Is everything best represented as an object? **Annals of the Association of American Geographers**, v. 97, n. 2, p.267-281, 2007
- Cordero-Sancho, S. & Sader, S. A. Spectral analysis and classification accuracy of coffee crops using Landsat and a topographic-environmental model. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p. 1577–1593, 2007.
- Definiens. Definiens professional 5: reference book. Munich: Definiens (The Imaging Intelligence Company), 2006. 122 p.
- Durkin, J. Expert systems: A view of the field. **IEEE Expert-Intelligent Systems & Their Applications**, v. 11, n. 2, p. 56-63, 1996.
- Moreira, M. A., Barros, M. A., Cardoso, V. G. F., Adami, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.28, n. 241, p. 27-36, 2007.