



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Classificação Automatizada do Uso e Cobertura do Solo Usando Imagens Landsat

Gilberto Fialho Moreira¹, Raphael Bragança Alves Fernandes², Elpídio Inácio Fernandes Filho², Carlos Antônio Oliveira Vieira³, Karla Aparecida dos Santos²

¹Instituto Estadual de Florestas (IEF)/Centro de Estudo e Desenvolvimento Florestal (CEDEF).

²Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

³Departamentos de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Artigo recebido em 19/07/2012 e aceito em 08/11/2012

RESUMO

As discussões atuais acerca dos problemas ambientais têm exigido o domínio de ferramentas e novas metodologias que garantam a melhor gestão do espaço natural. A avaliação da cobertura do solo tem requerido das agências de monitoramento ambiental investimentos em tecnologias que proporcionem resultados ágeis e precisos, de forma a potencializar as possibilidades de proteção do meio ambiente. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar novas tecnologias e metodologias de detecção automatizada da cobertura vegetal a partir de imagens orbitais. O estudo foi desenvolvido no município de Araponga/MG, utilizando procedimentos de classificação de imagens pelos métodos da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e por Redes Neurais Artificiais (RNA). Associada à simplicidade operacional, a classificação via MAXVER destaca-se como uma opção mais adequada para a detecção da cobertura vegetal em estudos ambientais.

Palavras-chave: gestão do espaço natural, Redes Neurais Artificiais, MAXVER, cobertura florestal.

Automated Classification of Use and Land Cover from Landsat Images

ABSTRACT

The current discussions about environmental problems have required knowledge new tools and methodologies to ensure better management of natural ambient. Land cover evaluation has required from environmental monitoring agencies investments in technology that provide accurate and quick results to maximize the opportunities for environmental protection. In this context, the objective of this study was to evaluate new technologies and methodologies for land cover automated detection from satellite images. The study was carried in Araponga/MG (Brazil) county, using the images classification procedures of Maximum Likelihood (MAXVER) method and Artificial Neural Networks (RNA). Associated with the operational simplicity, the MAXVER classification stands out as a proper option for the detection of vegetation cover in environmental studies.

Keywords: management of natural ambient, Artificial Neural Networks, MAXVER, forest cover.

Introdução

O município de Araponga (MG), localizado na Zona da Mata, abriga grande parte do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), em área de domínio do bioma Mata Atlântica. Considerada uma UC (Unidade de Conservação) esta foi criada em uma área com histórico de degradação de seu patrimônio natural, notadamente pela intensa exploração de madeira no passado para

manter, principalmente, os fornos de siderúrgicas mineiras e, na atualidade conta com grande expansão de pastagem e da cafeicultura. Sendo assim, qualquer informação gerada e disponibilizada referente ao monitoramento ambiental em áreas como a do município comentado poderão auxiliar no melhor conhecimento da dimensão do bioma de Mata Atlântica, bem como de sua situação florestal e as pressões a que está submetido, tendo em vista as tendências de uso da terra na região.

* E-mail para correspondência: gilberto.moreira@meioambiente.mg.gov.br

Dentro da área de estudo encontra-se mais de uma formação florestal e outras fitofisionomias, dentre elas a Floresta Ombrófila. Esse tipo de vegetação encontra-se inserida ao norte do Trópico de Capricórnio, em áreas acima de 700 m de altitude, e que possuam estação seca igual ou superior a 30 dias, bem como em áreas ao sul do mesmo Trópico, em altitudes inferiores a 700 m e que possuam pluviosidade anual de 2000 a 3600 mm por ano (Veloso et al., 1991). Esta formação encontra-se inserida no domínio dos Mares de Morros, distribuída ao longo de toda a costa atlântica sobre um sistema de serras litorâneas.

Outra formação que podemos constatar na área é a Florestal Estacional Semidecídua, uma fitofisionomia intrínseca ao Bioma Mata Atlântica e constituída de uma formação transicional entre as florestas de encosta litorâneas (Ombrófila) e as formações não florestais do interior. A porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50 % (Veloso et al., 1991). Este tipo de vegetação ocorre predominantemente associado ao clima mais estacional das regiões interioranas, onde prevalecem condições mais homogêneas de solo e relevo (IBGE, 1992).

O uso de imagens de satélite para o gerenciamento de informações sobre o meio natural é relativamente recente, mas suas potencialidades são altamente reconhecidas. No entanto, essas tecnologias demandam analistas qualificados e os *softwares* requeridos costumam apresentar elevado custo de aquisição. Muitos órgãos ambientais que tem por responsabilidade a preservação e conservação da vegetação nativa e da biodiversidade, o monitoramento das plantações destinadas à produção de biomassas, e mesmo o inventário florestal e o mapeamento da cobertura vegetal, não têm condições de adquirir esses softwares devido aos seus recursos normalmente limitados. Assim tornam-se relevantes a busca de novas tecnologias e ferramentas de custo mais acessíveis e até mesmo gratuitas, já que a classificação automatizada da cobertura vegetal pode trazer benefícios significativos à conservação ambiental. Técnicas validadas utilizando-se imagens de fácil acesso podem

proporcionar: i) melhoria e agilidade nos procedimentos de classificação de diversos ambientes naturais; ii) abertura de novas possibilidades de atuação dentro dos procedimentos tradicionais utilizados nos órgãos ambientais e, iv) redução dos custos associados aos programas de monitoramento ambiental.

Na detecção da cobertura vegetal são normalmente utilizadas diversas metodologias e procedimentos de classificação de imagens de satélite. Dentre elas, têm merecido destaque as classificações automatizadas por Redes Neurais Artificiais (RNA), por Máxima Verossimilhança (MAXVER) e por Árvores de Decisão.

As Redes Neurais Artificiais (RNA's) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que podem "adquirir" conhecimentos por meio da "experiência", ou seja, dos treinamentos efetuados no decorrer de seu processo de condução. As RNA's são sistemas com processamentos paralelos distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (nodos) que computam determinadas funções matemáticas (normalmente não-lineares). Tais unidades são dispostas em uma ou mais camadas e interligadas por um grande número de conexões, geralmente unidirecionais (Santana, 2007).

O método da Máxima Verossimilhança (MAXVER) é muito utilizado para a obtenção de classes informacionais a partir de imagens de sensores remotos. A distribuição espectral das classes de uso do solo é considerada como sendo gaussiana ou normal (Ribeiro et al., 2007), o que significa que objetos pertencentes à mesma classe apresentam resposta espectral próxima à média de valores para aquela classe.

Árvores de decisão, por sua vez, é um método de classificação que utiliza um algoritmo recursivo que subdivide o conjunto de treinamento, até que uma partição seja composta inteiramente, ou predominantemente, de casos pertencentes a uma mesma classe, ou até que algum critério de parada seja alcançado (Ingargiola, s.d.; Almentero et al., 2004). Ainda segundo estes autores, as árvores de decisão são formadas

por: i) nodos, definidos como pontos de encontro de duas ou mais informações que culminam para uma decisão, representando os atributos; ii) arcos, provenientes dos nodos e que recebem os valores possíveis para estes atributos e, iii) nodos folha, que representam as diferentes classes de um conjunto de treinamento.

Uma classificação deve ter validade após sua execução, o que pode ser obtido por meio de índices de exatidão. Para a avaliação da exatidão da classificação é necessário comparar o mapa obtido por meio da classificação com dados de referência (Jensen, 1996) ou de campo. A relação entre estes dois conjuntos informacionais geralmente é resumida em uma matriz de confusão, matriz de erros ou matriz de contingência (Lillesand & Kiefer, 1994). Brites (1996) sugere o índice Kappa como um dos procedimentos de escolha para mensurar a exatidão das classificações temáticas por representar inteiramente a matriz de confusão.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os procedimentos de classificação de imagens pelos métodos da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e por Redes Neurais Artificiais (RNA) para a classificação automatizada da cobertura vegetal no município de Araponga (MG), comparando tais procedimentos com uma iniciativa prévia efetuada pelo procedimento das Árvores de Decisão e que é considerada uma referência para a cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais.

Material e Métodos

Caracterizações da área de estudo

O município de Araponga está localizado na Zona da Mata de Minas Gerais, ocupando área de 304, 421 km², com população de 7.947 habitantes, índice IDH de 0,657 e PIB de R\$ 20.134.435,00 (IBGE, 2007). A economia do município é baseada essencialmente na agricultura, especialmente centrada na cultura do café. Mais recentemente, com a presença do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB) e de Áreas de Preservação Ambiental (APAs) nas imediações, Araponga vem recebendo incentivos econômicos decorrentes de

patrimônio natural que tem incrementado a economia do município.

A região pertence ao Bioma Mata Atlântica, de reconhecida grande biodiversidade, mas ao mesmo tempo, considerado como um dos mais ameaçados do planeta, sendo considerado um *hotspot*, ou seja, um ambiente de áreas críticas para a preservação de florestas tropicais.

Materiais

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais:

a) imagem LandSat 5TM (Thematic Mapper): imagem com sete bandas correspondendo à cena 217/74, tomada em 16/11/2005 (Figura 1a);

b) imagem IKONOS do ano de 2005 do PESB, usada para a comparação e verificação com os dados obtidos com as metodologias avaliadas no presente estudo;

c) *software* SPRING, nas versões 4.3 e 5.0, para uso das funções Kappa, Transform e Funcpow;

d) *software* JAVA-SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator);

e) receptor GPS de marca Garmin e modelo 76, utilizado nos trabalhos de campo;

f) dados digitais e espaciais da cobertura florestal para o município de Araponga, resultantes do Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais (MFNRMG), realizado em 2005 (Carvalho et al., 2005).

Métodos

As classificações de imagens processadas no presente estudo utilizaram os métodos de Redes Neurais Artificiais (RNA) e da Máxima Verossimilhança (MAXVER). Os dados obtidos foram comparados com os dados de cobertura florestal publicados no MFNRMG, o qual foi efetuado pelo método de árvores de decisão (Carvalho et al., 2005). Este último documento é considerado como de referência para a gestão do espaço natural no Estado de Minas Gerais.

Em primeiro lugar, definiram-se as classes de vegetação de interesse, sendo selecionadas as seguintes formações vegetacionais: Floresta Ombrófila, Floresta

Estacional Semidecídua, Campo de Altitude, eucalipto, café e pastagem.

No método MAXVER, a classificação foi efetuada utilizando-se o software SPRING 5.0 e as bandas 1 a 5 e 7 do sensor Landsat 5TM. O mesmo procedimento foi adotado para o método das RNAs, com a diferença de ter sido adicionando mais um plano de informação a partir dos dados de altitude, representado pelo Modelo Digital de Elevação (MDE). O objetivo principal do MDE foi auxiliar na delimitação da fitofisionomia Campo de Altitude.

No processamento das atividades de montagem da arquitetura e execução da classificação com as RNAs foram utilizados os arquivos executáveis Kappa, Transform, e Funcpow, além do *software* JAVA-SNNS (Stuttgart Neural Network Simulator), seguindo as recomendações de VIEIRA (2000). Os arquivos gerados pelos procedimentos descritos anteriormente foram utilizados para a montagem e preparação dos materiais para entrada na rede. Para simular a RNA utilizou-se o *software* JAVA-SNNS, buscando “calibrá-la” (treiná-la), ajustando-a automaticamente por meio de pesos das conexões à medida que se rodavam os ciclos.

Tal ação visa evitar sua saturação prematura, o que poderia comprometer o resultado final.

O *software* SPRING foi utilizado para a composição do mosaico correspondente às seis bandas do sensor Landsat (1 a 5 e 7), e para delimitar as classes de amostragem utilizadas como guia no procedimento de classificação.

Para efetivar a estatística de averiguação de amostras (quantidade de pixels) necessárias para a classificação foi utilizado o índice Kappa. Os cálculos foram efetuados com a ferramenta Compute Sample Size, sendo utilizadas as informações sobre a proporção de erro admitida (0,5), a porcentagem de confiabilidade (95 %) e considerando-se 5% de precisão. Além disso, foi feita também a análise visual das imagens geradas em comparação com a realidade de campo.

Resultados e discussão

As áreas estimadas com as metodologias de classificação MAXVER e RNA, bem como a efetuada via método de Árvores de Decisão (CARVALHO et al., 2005) são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Distribuição das classes de cobertura vegetal no município de Araponga (MG) obtida por classificação automatizada com os métodos de Árvores de Decisão (ARV.DEC.), Máxima Verossimilhança (MAXVER) e Redes Neurais Artificiais (RNA's), a partir de uma imagem Landsat do ano de 2005.

CLASSES	ÁREA (ha)		
	ARV.DEC. ⁽¹⁾	MAXVER	RNA
Campo de Altitude	267,00	2.878,40	2.007,92
Campo Rupestre	6,00	0,00	0,00
Floresta Estacional Semidecídua	7.118,00	6.831,51	2.540,46
Floresta Ombrófila	0,00	3.924,14	3.181,99
Café	0,00	4.348,09	7.882,11
Pastagem	0,00	11.119,25	2.540,46
Total de vegetação nativa ⁽²⁾	7.391,00	13.634,05	7.730,37
Total de vegetação manejada ⁽³⁾	0,00	15.467,34	10.422,57
Área total vegetada	7.391,00	29.101,38	18.152,95
Área total não vegetada	23.000,54	1.290,16	3.019,57
Área total do Município	30.391,54	30.391,54	30.391,54

(1) Áreas obtidas a partir dos dados de CARVALHO et al. (2005).

(2) Total de vegetação nativa = florestas + campos.

(3) Total de vegetação manejada = café + pastagem.

Na metodologia de referência (Carvalho et al., 2005) foram identificadas apenas as classes Floresta Estacional Semidecídua, Campo Rupestre e Campos de Altitude (Figura 1b). Nas metodologias RNA e MAXVER foi diagnosticado o maior número de classes de vegetação, coincidentes com as seis classes de cobertura vegetal pré-estabelecidas: Floresta Estacional Semidecídua, Floresta Ombrófila, Campo de Altitude, Café, Eucalipto e Pastagem (Figuras 1cd, respectivamente). A classe Eucalipto não teve sua área estimada (Tabela 1) devido a dificuldade de se delimitar as áreas com a cultura; a grande semelhança da reflectância

com a de outras classes de vegetação nativas, tais como Florestas Estacional Semidecídua e Floresta Ombrófila; e tendo em vista que tal classe ocupe apenas pequenas áreas no município.

A comparação dos resultados obtidos para as diferentes metodologias de classificação da imagem Landsat5 TM (Figura 1a) são apresentadas nas Figuras 1bcd. A avaliação destas imagens considerando a legenda de cores (Figura 2) utilizada na comparação das classes de vegetação obtidas pelos diferentes classificadores permite ter uma análise do nível de detalhamento alcançado.

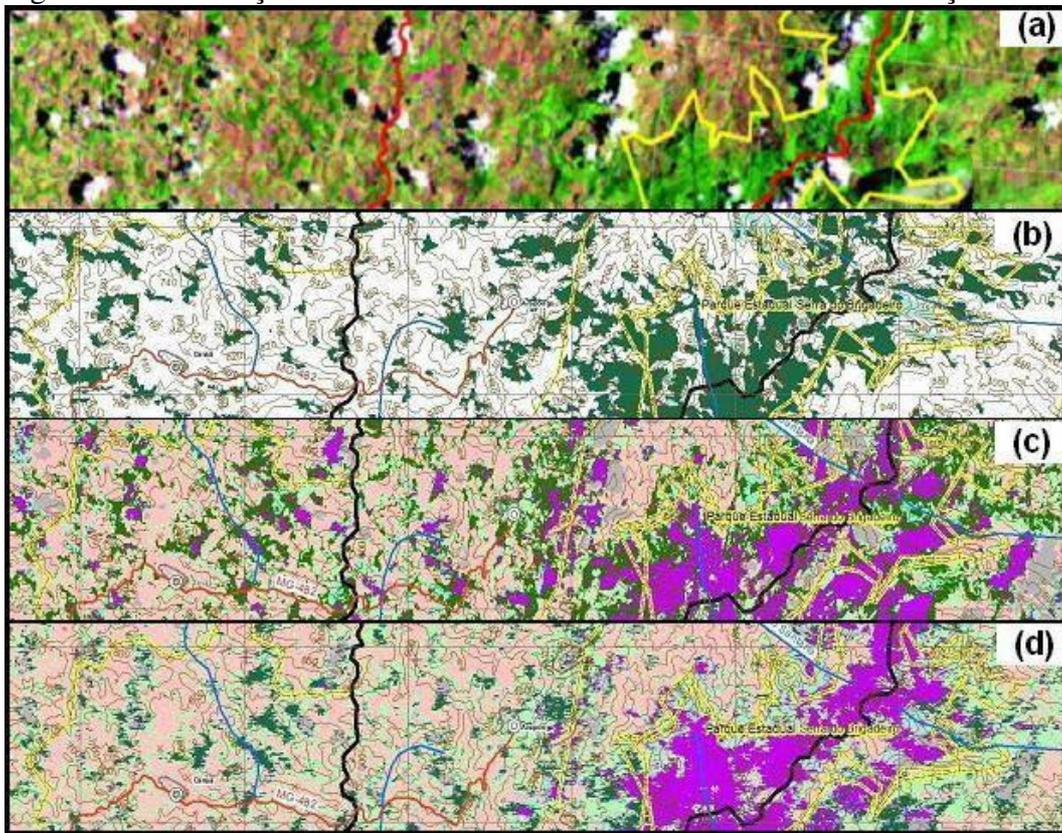


Figura 1. Representação de um extrato da área de estudo: a) Imagem do satélite Landsat5 TM a partir das bandas 3/4/5, obtida em 16/11/2005, destacando-se a cobertura vegetal do município de Araponga (MG), segundo a classificação automatizada por Árvores de Decisão (Carvalho et al., 2005) (b), classificação automatizada por MAXVER (c) e por RNA's (d). Os limites do município de Araponga são indicados em preto e do PESB em amarelo.

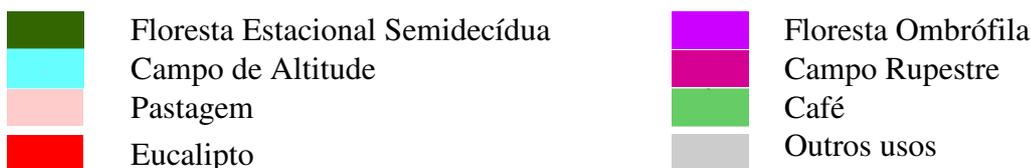


Figura 2. Legenda de cores utilizadas na comparação das classes de vegetação obtidas na classificação de imagens por diferentes ferramentas de geoprocessamento.

As classificações por MAXVER e RNA proporcionaram a maior discriminação de coberturas vegetais no município de Araponga, em comparação com os resultados obtidos pelo método de Árvores de Decisão, o que se reflete nos dados estimados de áreas (Tabela 1). Neste último método, usado como comparação, é possível verificar maior detecção de formas de vegetação diretamente ligadas ao patrimônio natural, que neste caso são as associadas especialmente às formações Floresta Estacionais Semidecídua, Floresta Ombrófila e Campos de Altitude. Obviamente que as limitações indicadas para o trabalho de Carvalho et al. (2005) devem ser atenuadas, tendo em vista que a área do referido estudo abrangeu todo o Estado de Minas Gerais, e generalizações podem ser toleradas, diferentemente do presente estudo, no qual somente um município foi avaliado.

O uso das metodologias MAXVER e RNA's permitiu a obtenção de índices Kappa de 0,87 e 0,72, respectivamente, ambas considerando um total de 600 pixels utilizados para as cinco classes de saída. Os valores alcançados para este índice indicam ter sido alcançado um bom resultado na classificação automatizada, conforme indicações de Foody (1992) e Congalton e Green (1998), citados por Nascimento et al. (2006). Na classificação efetuada por Carvalho et al. (2005), com a metodologia de Árvores de Decisão, o coeficiente Kappa alcançado foi 0,89.

Independente do classificador utilizado, o diagnóstico efetuado neste estudo ressalta a responsabilidade do município de Araponga (MG) para com a preservação do meio natural presente no município, em termos de vegetação nativa. Desta responsabilidade para com o patrimônio natural brasileiro, o município pode vislumbrar oportunidades, pois a expressiva área de vegetação nativa amplia as possibilidades de se obter benefícios decorrentes desta riqueza ambiental, como por exemplo, recebendo recursos do ICMS Ecológico do Estado de Minas Gerais.

A classificação efetuada na área de estudo foi considerada adequada para estudos desta natureza. Entretanto, merece destaque as dificuldades enfrentadas, dentre elas o da área

encontrar-se em relevo acidentado, com altitude superior a 1.000 m e com a exposição de parte da Serra do Brigadeiro (principal formação do PESB) voltada para o mar. Disto resulta que grandes massas de umidade sejam retidas nesta área, havendo a presença freqüente de nebulosidade, que afeta diretamente a obtenção e, por conseguinte, a qualidade das imagens orbitais. Em situações como essa, torna-se difícil encontrar dia e momento em que as imagens de satélite não sejam prejudicadas pela presença das nuvens, principalmente, nos períodos de chuva.

As duas metodologias testadas, bem como a utilizada como referência, não proporcionaram bons resultados finais para as duas classes de cobertura vegetal comercial consideradas (eucalipto e café). Isto pode ser associado à baixa resolução da imagem utilizada e às similaridades espectrais dessas classes com outras classes vegetacionais nativas.

Por sua vez, os valores obtidos para o índice Kappa indicam o sucesso da classificação efetuada considerando o conjunto de fitofisionomias avaliadas. Na avaliação do resultado deste índice, considera-se que um valor próximo à unidade significa uma adequada classificação. Entretanto, mesmo um índice Kappa próximo a 1 não garante que o resultado obtido seja condizente com a realidade, pois seu valor depende da amostragem utilizada, ainda que as amostras de avaliação do índice de comparação sejam diferentes daqueles utilizados para a classificação.

Neste sentido, embora seja importante a indicação do índice Kappa, outras avaliações devem ser empregadas para a checagem da qualidade final da classificação obtida. Neste estudo optou-se, também, por efetuar a análise visual das imagens geradas em comparação com a realidade de campo, a partir da avaliação de uma imagem IKONOS. Este procedimento indicou não haver conformidades em todas as classes de vegetação obtidas com as classificações automatizadas e o presente em campo.

Os resultados obtidos neste estudo da comparação de índices globais, como o Kappa, com dados mais precisos, como os proporcionados por imagens de alta resolução

como a ÍKONOS, indicam ainda os desafios e necessidades de aperfeiçoamento das metodologias de classificação automatizadas para melhor representarem a com exatidão à paisagem em estudo.

O menor índice Kappa obtido com as classificações MAXVER e RNA's em comparação com a obtida por Carvalho et al. (2005) pode ser associada à opção no presente estudo de se retratar mais classes vegetacionais. Como o trabalho realizado com as árvores de decisão avaliou um menor número de classes, uma menor variabilidade de resultados é esperada, o que favorece a obtenção de um maior grau de acerto. Ainda que tal classificação não tenha se restringido a um município, mas sim efetuado para todo o Estado de Minas Gerais, é notório que o incremento do número de classes aumenta as possibilidades de confusões e, portanto, pode potencializar a obtenção de menores índices de avaliação. Ainda assim, como já indicado anteriormente, os resultados do índice para as classificações MAXVER e RNA's foram considerados adequados.

A discussão acerca da efetividade do índice Kappa para a adequada avaliação da qualidade de uma classificação é tema recorrente em trabalhos com sistemas de informações geográficas. Ainda que seja importante a indicação de um coeficiente para este tipo de avaliação, alguns cuidados devem ser tomados nas conclusões dele derivadas. Neste sentido, até a presença de nuvens e sombras nas imagens podem contribuir para a elevação do valor do índice. Como esses artefatos possuem uma resposta espectral bem definida e totalmente divergente das respostas dos outros alvos avaliados (vegetação), sua delimitação é facilitada, o que incrementa o índice Kappa, uma vez que esse não é verificado classe a classe, e sim para o conjunto delas. Desta forma, um elevado Kappa que indica um melhor resultado de classificação global para todas as classes pode, na verdade, ser decorrente mais da contribuição expressiva de uma ou mais unidades. Portanto, todo índice Kappa deve ser analisado com cuidado.

Uma das limitações verificadas neste estudo para a obtenção de uma melhor classificação final pode ser atribuída à

qualidade e resolução da imagem utilizada. A baixa resolução espectral das imagens Landsat pode mascarar informações espaciais da superfície, eliminando características que poderiam estar mais detalhadas. No entanto, a busca por materiais de fácil acesso, de baixo custo ou gratuitos, foi determinante para a seleção da imagem utilizada neste trabalho.

Conclusões

A comparação dos classificadores testados (MAXVER e RNA's) com a metodologia adotada no Mapeamento da Flora Nativa e do Reflorestamento de Minas Gerais (árvores de decisão) indicou diferenças expressivas na quantificação das coberturas vegetacionais da estudada, em especial quanto à formação Florestal Ombrófila, que se mostrou mais expressiva das classificações aqui executadas (MAXVER e RNA). Embora a metodologia por RNA's seja amplamente aceita como a mais adequada para a classificação de imagens de satélites, sua complexidade e o tempo demandado na preparação dos materiais, bem como os vários procedimentos de tentativa e erro requeridos para a sua execução dificultam ou mesmo restringem sua utilização, principalmente na demanda comercial. Por sua vez, dada a simplicidade e os resultados alcançados neste estudo, a classificação por MAXVER desponta como uma opção mais viável em muitas situações, tais como as classes que não são distinguidas por algum outro fator que não seja a reflectância da imagem utilizada. As duas metodologias aqui testadas (Maxver e RNA), bem como a utilizada no MFNR-MG, não apresentaram bons resultados para as duas classes de cobertura vegetal comercial pretendida neste trabalho (eucalipto e café). Esse resultado está associado principalmente a duas situações:

- 1) A resolução baixa da imagem utilizada para efetivar as classificações neste estudo, ou seja, o sensor Landsat.
- 2) E, as similaridades espectrais dessas classes com outras classes vegetacionais nativas.

Neste contexto, é constante a necessidade de atualização de mapas para um adequado gerenciamento dos recursos naturais. Além do mais, uma certeza ficou

clara após todo esse processo: a necessidade de os órgãos de pesquisa em geotecnologias e de as universidades investirem na pesquisa e na geração de conhecimento nesta área, de forma a tornar todos esses procedimentos de classificação mais ágeis, confiáveis e obtidos a custos não proibitivos.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG) e ao Centro de Estudos e Desenvolvimento Florestal (CEDEF/IEF), pelo apoio; ao CNPq e a Capes, por contribuírem no financiamento deste projeto de pesquisa; e ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foi desenvolvido o estudo.

Referências

Almentero, B.K.; Baião, F.; Mattoso, M.L. Q. (2004). Avaliação do Desempenho de um Algoritmo de Árvore de Decisão usando Processamento Paralelo e Distribuição. 11p. Disponível em <<http://clusterminer.nacad.ufrj.br/TechReport/RT04.pdf>>. Consultado em 15/11/2007.

Brites, R.S. (1996). Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais: efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. (Tese Doutorado). 101p.

Carvalho, L.M.T. et al. (2005). Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais. Lavras: UFLA. 88p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades - Araponga (MG). Coordenação de Contas Nacionais de 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfilwindowat.php?codmun=310370>>. Consultado em 03/06/2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1992). Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro:

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 92p.

Ingargiola, G. Building Classification Models: ID3 and C4.5. Disponível em: <<http://www.cis.temple.edu/~ingargio/cis587/readings/id3-c45.html>>. Consultado em 15/05/2010. (s.d.).

Jensen, J.R. (1996). Introductory digital image processing: a remote sensing perspective. 2nd. ed. New Jersey: Prentice Hall. 316p.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. (1994). Remote sensing and image interpretation. 2nd. ed. Chichester: John Wiley & Sons. 750p.

Nascimento, M.C. Soares, V.P.; Ribeiro, C.A.S.; Silva, E. (2006). Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite IKONOS II. Revista Árvore, v.30, p.389-398.

Ribeiro, R.J.C.; Baptista, G.M.M.; Bias, E.S. (2007). Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano. Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE. 3p. Disponível em <<http://martedpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.03.11.59/doc/5471-5478.pdf>>. Consultado em 20/02/2009.

Santana, R.A. (2007). Otimização de Roteamento em Redes de Computadores utilizando Redes Neurais de Hopfield. 45p.

Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. (1991). Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE. 124p.

Vieira, C.A.O. (2000). Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study. Nottingham: University of Nottingham. 352p. (Ph.D. Thesis).