

MAPEAMENTO DA COBERTURA VEGETAL EM ESCALA REGIONAL DO ESTADO DE MINAS GERAIS UTILIZANDO IMAGENS MODIS

Samuel Martins da Costa COURA¹

Yosio Edemir SHIMABUKURO²

Leila Maria Garcia FONSECA³

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial das imagens MODIS para mapeamento da cobertura vegetal no estado de Minas Gerais. O uso de imagens de satélite de resolução espacial moderada e resolução temporal alta, quase diária, é uma opção viável para o monitoramento da vegetação e de sua dinâmica, seja ela natural ou cultivada. O Estado de Minas Gerais, devido à sua variedade de biomas e fitofisionomias foi selecionada como área de estudo. A bordo das plataformas Terra e Aqua, o sensor MODIS adquire dados com 250 m de resolução espacial, que foram utilizados como base para a formação de uma série temporal para o ano de 2004. A acurácia da classificação foi estimada baseada nos pontos amostrais coletados em campo e na comparação com o mapa de vegetação desenvolvido pelo IEF/UFLA. O mapa oriundo das imagens MODIS apresentou Índice Kappa de 0,73 quando comparado com o conjunto de pontos de campo, e 0,84 quando comparado com o mapa de referência (IEF/UFLA). Os resultados obtidos permitem concluir que os dados do sensor MODIS podem ser utilizados para o mapeamento e monitoramento efetivo das classes de cobertura vegetal em escala regional.

Palavras Chave: Mapeamento. Vegetação. MODIS. Minas Gerais.

Abstract

Vegetation cover mapping of Minas Gerais State in regional scale using MODIS images

The objective of this work was to evaluate the potential of MODIS images for mapping vegetation cover in Minas Gerais State, Brazil. The use of moderate resolution satellite with high temporal resolution, almost daily, is a viable option to monitor the natural or cultivated vegetation and its dynamics. Minas Gerais State in Brazil, due to its diverse biomes and phytofisionomies was selected as study area. Onboard the Terra and Aqua platforms, the MODIS sensor acquire images with 250m spatial resolution, that were used to form the 2004 time series dataset. The classification accuracy was estimated based on sample points collected in the field and by comparing with the vegetation map developed by IEF/UFLA. The map originated from MODIS data yield a Kappa Index of 0.73 when compared with sample points dataset and 0.84 when compared with the reference map (IEF/UFLA). The results obtained allow to concluding that MODIS sensor data can be used for effective mapping and monitoring of vegetation cover classes in regional scale.

Key words: Mapping. Vegetation. MODIS. Minas Gerais.

¹ Mestre em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Avenida dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515- 12227-010- São José dos Campos - SP, Brasil. E-mail: samuel@dsr.inpe.br

² Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, Avenida dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515- 12227-010 - São José dos Campos - SP. Brasil. E-mail: yosio@dsr.inpe.br

³ Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Processamento de Imagem, Avenida dos Astronautas, 1758, Caixa Postal 515- 12227-010 - São José dos Campos - SP. Brasil. E-mail: leila@dpi.inpe.br

INTRODUÇÃO

O monitoramento da superfície terrestre em escala regional ou mesmo global é de suma relevância em diversas áreas de pesquisa, sendo algumas de suas aplicações: a observação de pontos de queimadas e desmatamento, monitoramento das safras agrícolas, controle e alerta de pontos de desastres naturais (granizo, geada e enchentes), observação de áreas de estiagem ou alagadas.

A caracterização e o mapeamento da vegetação do território brasileiro de forma integrada foram iniciados em 1974 com o Projeto RADAM, posteriormente denominado RADAMBRASIL, quando foi realizado o levantamento dos recursos naturais (geológicos, pedológicos, geomorfológicos, vegetação e potencial do uso da terra) dos Estados brasileiros. Através do uso de radares e levantamentos em campo, os pesquisadores mapearam o território brasileiro de norte a sul.

No entanto, a ocupação urbana, a expansão da fronteira agrícola, a exploração dos recursos naturais mudaram a paisagem de forma significativa tanto na sua composição florística quanto na sua estrutura. As técnicas de sensoriamento remoto juntamente com as análises de informações espaciais em ambientes de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornaram possíveis a análise e o monitoramento temporal e espacial das mudanças ocorridas na superfície terrestre (DEFRIES et al., 2002).

A crescente necessidade de informações confiáveis acerca da vegetação remanescente de biomas brasileiros como o Cerrado e a Mata Atlântica, considerados segundo Myers et al. (2000) como os únicos "hotspots" brasileiros, os tornam imprescindíveis ao sensoriamento remoto como perspectiva de fontes significativas de informações. Nesse contexto, insere-se o Estado de Minas Gerais que possui uma diversidade de fitofisionomias dos biomas Cerrado e Mata Atlântica.

A identificação, classificação e o monitoramento dos diferentes biomas são atividades relevantes por várias razões, especialmente porque constituem uma informação essencial para o estudo dos ciclos geoquímicos globais e do impacto resultante das atividades antrópicas (ZHANG et al., 2003). Diante da necessidade do monitoramento regional e/ou global para uma melhor compreensão do seu papel nas atuais mudanças climáticas, novos sensores têm sido propostos, desenvolvidos e lançados para se obter dados com uma melhor qualidade temporal, espacial, espectral e radiométrica (NASA, 2003).

Com o lançamento da plataforma Terra em dezembro de 1999, e, posteriormente, o da plataforma Aqua em maio de 2002, ambos portando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dentre outros, se reforçou uma tendência dos estudos regionais e globais.

Nesse contexto, o mapeamento da cobertura vegetal mostra-se de extrema importância, pois, existe um esforço por parte da comunidade científica em melhorar a acurácia destes estudos (HANSEN et al., 2002). Este esforço é devido ao fato de que estes trabalhos visam compreender as mudanças devido a fatores naturais e antrópicos (ZHANG et al., 2003) ou oferecer subsídios para uma maior eficiência nas elaborações de planos de manejo dos recursos naturais e de delimitação de áreas prioritárias para a conservação, ou, ainda, aprofundar estudos que envolvem tópicos sobre mudanças globais (JUSTICE et al., 2002), e modelagens de ciclos biogeoquímicos e estimativas de emissão de carbono (DEFRIES et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi realizar a classificação da cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais, utilizando dados multitemporais (imagens referentes ao ano de 2004) do sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua. O mapa obtido foi comparado com o mapeamento da cobertura vegetal em escala mais detalhada da mesma área, que foi baseado em imagens Landsat de maior resolução espacial pela UFLA/IEF (Universidade Federal de Lavras / Instituto Estadual de Florestas). Esta comparação permitiu avaliar a utilização de

imagens do sensor MODIS no mapeamento da cobertura vegetal em escala regional, de menor detalhamento mas realizado em menor tempo e custo.

ÁREA DE ESTUDO

A figura 1 apresenta a área de estudo dentro do contexto nacional e regional. O Estado de Minas Gerais abrange uma área de 588.384 km² o que corresponde a um percentual médio de 7% do território brasileiro (IBGE, 2005). A área de estudo apresenta uma grande diversidade de tipos de cobertura vegetal e passa por uma elevada taxa de conversão da cobertura da terra para fins econômicos (agricultura, pecuária, mineração, etc.). Assim, devido a essas características únicas e à necessidade de trabalhos que descrevam a sua cobertura vegetal de forma sinóptica e contínua, o Estado de Minas Gerais é uma área interessante para a pesquisa.

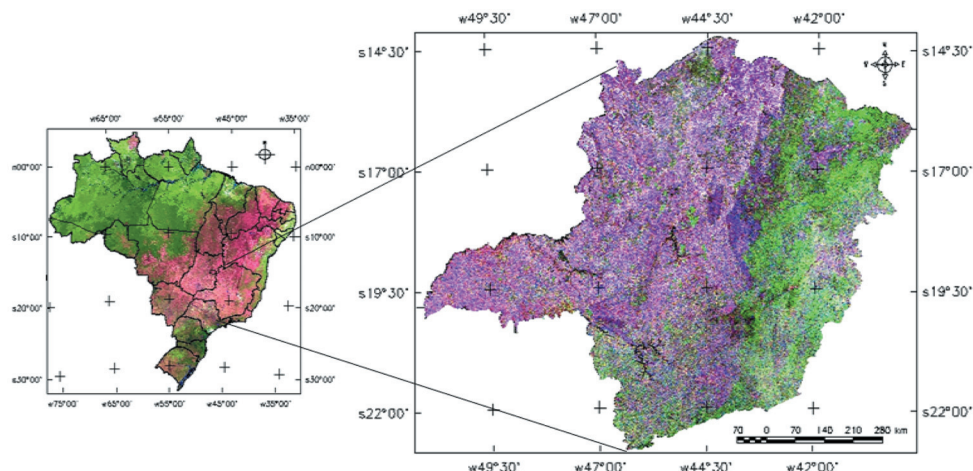


Figura 1 - Localização da área de estudo no contexto nacional e imagem MODIS da plataforma Aqua do mês de maio de 2004 do Estado de Minas Gerais

A vasta superfície, o clima, o relevo e os recursos hídricos do Estado propiciam o aparecimento de uma cobertura vegetal extremamente rica e diversa, agrupada em três grandes biomas: a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga, com suas inúmeras formações fitoecológicas, responsáveis por uma grande diversidade de paisagens.

O processo de ocupação verificado no Estado, aliado a uma política pouco sustentável de desenvolvimento, tem provocado uma crescente extinção de sua diversidade biológica. Ao longo de sua história, Minas Gerais sofreu um intenso processo de exploração de seus ecossistemas naturais mais representativos, a Mata Atlântica e o Cerrado. A introdução da cultura do café provocou o primeiro grande impacto sobre os ecossistemas nativos. Em seguida, a presença do minério de ferro, associada à disponibilidade energética representada pelas florestas nativas, favoreceu a implantação da indústria siderúrgica (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2004).

Utilizando como referências o trabalho desenvolvido pela UFLA (SCOLFORO; CARVALHO, 2006), o Manual Técnico da Vegetação do IBGE (1992) e o Projeto RADAMBRASIL

(1983), as fitofisionomias consideradas para o Estado de Minas Gerais podem ser subdivididas nas categorias detalhadas a seguir.

A vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, *floresta* representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo com altura média igual ou superior a 5 metros. O termo *savana* refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de um dossel contínuo. Já o termo *campo* designa áreas com domínio de espécies herbáceas e algumas arbustivas, faltando árvores na paisagem. Esta formação foi subdividida nas seguintes classes:

Cerrado Denso: Formação com uma fisionomia típica e característica, restrita das áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em clima tropical eminentemente estacional. Apresenta um dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea que pode oscilar de 50 a 90%. A altura média do estrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, proporcionando condições de luminosidade que favorecem a formação de estratos arbustivo e herbáceo diferenciados.

Cerrado Típico: De formação natural que se caracteriza por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide, contínua sujeita ao fogo anual. Caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas. Na época chuvosa os estratos subarbustivo e herbáceo tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento.

Cerrado Ralo: Constituído por um estrato campestre (graminóide), natural ou antropizada. Quando natural, tem posição geográfica delimitada pelas áreas encharcadas das depressões, onde o tapete graminóide está sob cobertura arbórea esparsa constituída por uma ou poucas espécies.

Campo: Formação campestre entremeada de plantas lenhosas de pequeno porte, mas sem cobertura arbórea a não ser em áreas de mata de galeria (mata ciliar).

Campo Rupestre: É constituído por um tipo fitofisionômico predominantemente arbustivo, com a presença eventual de arvoretas. Abrange um complexo de vegetação que agrupa paisagens em micro-relevo com espécies típicas, ocupando trechos de afloramentos rochosos. A sua distribuição natural está associada a serras e a altitudes superiores a 900 m e a determinadas formações geológicas, em particular a solos litólicos ou a frestas de afloramentos.

Entende-se por **Floresta Estacional Semidecídua** uma formação florestal presa ao clima de duas estações, ou seja, uma chuvosa e outra seca, ou com acentuada variação térmica, e com estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes, os quais têm adaptação à deficiência hídrica ou à queda de temperatura nos meses mais frios.

A **Floresta Estacional Decidual** (Floresta Decídua) é um tipo de formação vegetal com características bem definidas: árvores baixas e arbustos que, em geral, perdem as folhas na estação das secas (espécies caducifólias), além de muitas cactáceas. Assim, esta classe de formação é semelhante à anterior diferindo-se, apenas, em relação ao total de queda de folhas durante o período desfavorável. Rizzini (1997) afirma que as Florestas Estacionais Deciduais apresentam três estratos: arbóreo (8 a 12 metros), arbustivo (2 a 5 metros) e o herbáceo (abaixo de 2 metros).

Os ambientes de **Floresta Ombrófila Densa** apresentam chuvas bem distribuídas com médias anuais em torno de 1.500 mm, havendo estações sem seca ou mesmo com grande disponibilidade de umidade. Enquanto a floresta hileiana é de planície, a atlântica é de altitude. Esta se localiza sobre imensa cadeia montanhosa litorânea, que ocorre ao longo do Oceano Atlântico (RIZZINI, 1997).

METODOLOGIA

O fluxograma de atividades desenvolvido neste trabalho para a confecção do Mapa de cobertura vegetal é mostrado na figura 2. Em cada um dos tópicos a seguir, informações mais detalhadas a respeito de cada procedimento desenvolvido neste estudo podem ser encontradas.

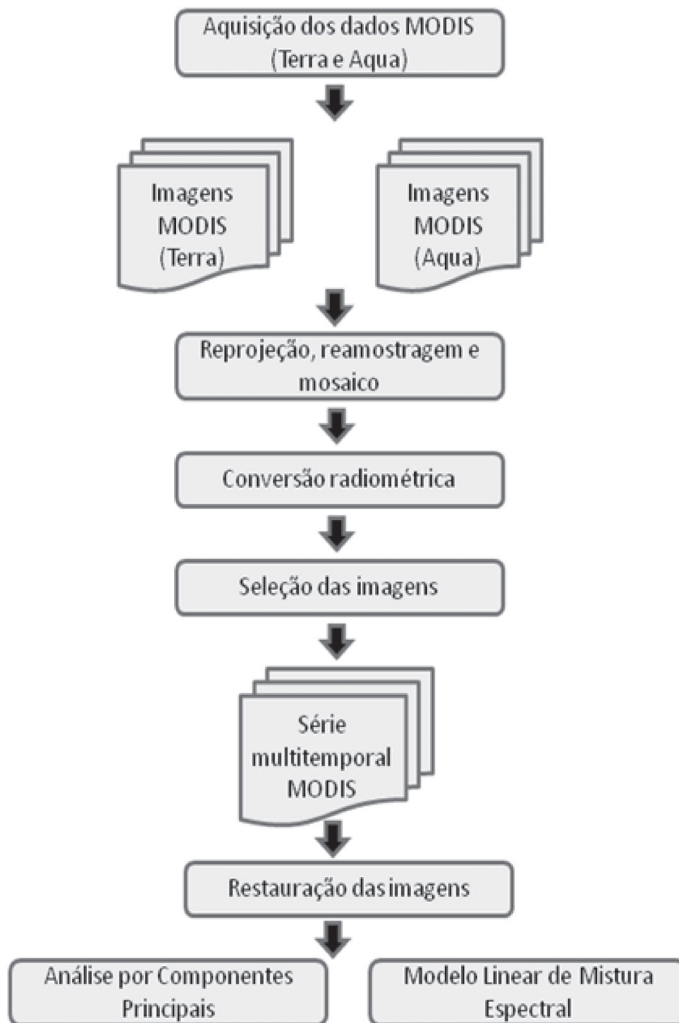


Figura 2 - Fluxograma de atividades desenvolvidas nesse trabalho

Materiais

A fase de organização dos dados, as operações de processamento de imagens e geoprocessamento na integração de dados ambientais são fundamentais nos estudos integrados da paisagem. Os materiais utilizados foram organizados num banco de dados geográficos, na base cartográfica, nos dados MODIS e nos softwares de SIG, processamento digital de imagens e de análise estatística.

A base cartográfica foi composta pelos planos de informação vetoriais (hidrografia, sistema viário e limites político-administrativos) do IBGE na escala 1:250.000 e o mapa de referência da cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais, produzido pelo Instituto Estadual de Floresta – IEF/MG e pela Universidade Federal de Lavras – UFLA/MG na escala 1:100.000 (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

As características do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) são originárias de diversos outros sensores. Sendo o MODIS uma continuidade da obtenção dos dados adquiridos durante muitos anos pelo sensor AVHRR a bordo dos satélites da série NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Para o imageamento terrestre, o modelo do sensor MODIS combinou tanto características do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), quanto do Landsat TM (Thematic Mapper), em que foram adicionadas bandas espectrais no infravermelho médio, além de fornecer dados nas resoluções espaciais de 250 m, 500 m e 1 km (HUETE et al., 1997). A tabela 1 apresenta as características dos sensores anteriormente mencionados.

Tabela 1 – Características espectrais, espaciais e temporais dos sensores MODIS, TM e AVHRR

BANDA /SENSOR	NOAA-AVHRR	LANDSAT-TM	MODIS
Azul	-	0,45-0,52 μm	0,459-0,479 μm
Verde	-	0,52-0,60 μm	0,545-0,565 μm
Vermelho	0,55-0,68 μm	0,63-0,69 μm	0,620-0,670 μm
Infravermelho próximo	0,73 -1,10 μm	0,76-0,90 μm	0,841-0,876 μm
Infravermelho médio	3,55-3,93 μm	1,55-1,75 μm	1,230-1,250 μm
Infravermelho médio	-	2,08-2,35 μm	1,628-1,652 μm
Infravermelho médio	-	-	2,105-2,155 μm
Tamanho de pixel (Nadir)	1 km	30 m	250 m / 500 m e
Resolução Temporal	diário	16 dias	1000 m diário

Fonte: Adaptada de Huete et al. (1997).

Os softwares utilizados nas operações de SIG e de processamento digital de imagens foram o SPRING 4.2, o MRT (MODIS Reprojection Tool), o ConvGeotiff (ARAI et al., 2005), aplicativo Restau (FONSECA, 1988) e PCI Geomatics. Já na análise estatística foi usado o aplicativo STATDISK9.1 (TRIOLA, 2005).

Pré – processamento dos dados MODIS

Os dados MODIS (imagens e produtos) necessitam passar por uma série de tratamentos antes de serem propriamente processados no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING). As operações principais de pré-processamento foram: 1) reprojeção, reamostragem e mosaicagem; 2) seleção das imagens; 3) restauração das imagens; 4) aplicação do modelo linear de mistura espectral (MLME); e 5) análise por componentes principais (ACP).

A etapa de reprojeção, reamostragem e mosaicagem dos dados MODIS foram realizadas no programa MRT (MODIS Reprojection Tool) onde se adotou a projeção geográfica e o Datum WGS-84, pois apresentou a maior coerência com dados vetoriais do IBGE. O aplicativo ConvGeotiff (ARAI, 2005) foi usado, visando a importação ao software SPRING 4.2, na conversão dos dados MODIS, originalmente disponíveis em 16 bits, para 8 bits. Ainda foi utilizada a Composição do Máximo Valor (MOREIRA; SHIMABUKURO, 2004) de forma a selecionar os pixels, com base no valor mais alto de NDVI. O objetivo desta técnica é minimizar a influência na cena de fatores como: nebulosidade, variações do ângulo de iluminação solar e geometria da visada, assim como da atmosfera (vapor de água, aerossóis).

A seleção das datas das imagens multitemporais para a classificação da cobertura vegetal partiu de 23 mosaicos mensais de imagens NDVI (11 referentes à plataforma Aqua e 12 à plataforma Terra). Posteriormente, a partir das assinaturas geradas, selecionaram-se os canais para classificação da cobertura vegetal através do módulo de seleção de canal (CNHSEL) do PCI Geomatics. Por fim, as datas selecionadas para classificação foram: 1 (Janeiro/Terra), 2 (Fevereiro/Aqua), 5 (Março/Terra), 13 (Agosto/Aqua), 15 (Setembro/Aqua) e 16 (Setembro/Terra).

O aplicativo Restau (FEDOROV et al., 2003) foi utilizado no processo de restauração das imagens. As bandas 1 (vermelho) e 2 (infravermelho próximo) foram restauradas e reamostradas para um tamanho de pixel de 125 m. As bandas 3 e 7 (azul e infra-vermelho médio, respectivamente) foram inicialmente reamostradas de 500 para 250 m, e posteriormente submetidas ao processo de restauração. O método de reamostragem empregado foi o do vizinho mais próximo para preservar as características radiométricas das imagens (SCHOWENGERDT, 1997). Após o processo de reamostragem as duas bandas foram restauradas em uma grade de amostragem de 125 m.

Após a confecção dos mosaicos mensais para série multitemporal selecionada e da restauração dos mesmos, foi aplicado o modelo linear de mistura espectral (MLME) nas bandas oriundas do produto MOD13: azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio. O objetivo primordial desta etapa foi de selecionar as curvas espectrais (endmembers) que melhor representam cada um dos alvos selecionados (solo, vegetação, água ou sombra). A seleção dos endmembers foi feita a partir de uma inspeção visual, na qual se escolheu um pixel para cada endmember (sombra, solo e vegetação).

A análise dos dados do sensor MODIS utilizadas neste estudo também foi feita utilizando a análise por componentes principais (ACP). A ACP é uma técnica usual no sensoriamento remoto para a análise de grandes conjuntos de espectros de refletância (GALVÃO et al., 1995, 1997, 2001). Exemplo do uso de ACP, incluindo as equações para a obtenção dos auto-valores e auto-vetores e dos escores pode ser encontrado em Mather (1999) e Schowengerdt (1997).

Processo de classificação da cobertura vegetal

Nesta etapa metodológica, as imagens selecionadas, com seus respectivos produtos de MLME e ACP, foram classificadas em relação às classes de cobertura vegetal da área de estudo. Tal etapa pode ser dividida em duas fases complementares: 1) segmentação das

imagens e 2) aplicação de diferentes técnicas de classificação de imagens, conforme ilustra a figura 3.



Figura 3- Fluxograma das atividades executadas na classificação das imagens

No processo de segmentação, foram utilizadas as imagens originadas da aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais (referentes aos meses de março, agosto e setembro), as imagens NDVI (meses de agosto e setembro), a imagem fração sombra (mês de setembro), e a imagem fração solo (mês de agosto). Neste processo de segmentação foram testados diferentes limiares de similaridade e área, no entanto, em função da análise visual dos resultados, bem como da limitação computacional, foram utilizados os valores 8-10, 8-15, 12-15, 12-15, 12-20 e 12-25, em função dos diferentes polígonos que deveriam ser delimitados. E em função dos biomas a serem mapeados, situações contrastantes foram identificadas no que se refere ao tamanho dos fragmentos encontrados em cada um deles, necessitando assim vários limiares de segmentação.

Após o processo de seleção das imagens, procedeu-se a aplicação de algoritmos de classificação das imagens do sensor MODIS, detalhados a seguir. A etapa seguinte foi a edição das classes de cobertura vegetal mapeadas para assegurar uma melhor qualidade e minimizar os erros (omissão e inclusão) dos classificadores. Para a determinação das áreas antropizadas, foram computadas as áreas não classificadas. Nas situações em que mais de um classificador mostrou-se eficiente no mapeamento de uma determinada classe, a decisão de escolha, entre um ou outro, baseou-se na menor necessidade de edição matricial.

Os melhores resultados das diferentes técnicas de classificação foram utilizados para a confecção do mapa final. Para a geração deste mapa, os planos de informação de cada classe foram extraídos automaticamente e com o mínimo de edição. Esta avaliação foi conduzida em todo o conjunto de dados MODIS (conjunto de 6 mosaicos) com os melhores resultados sendo mapeados de forma independente e mosaicados em distintos planos de informação. No final, um processo de mosaicagem reuniu os diferentes planos de informação num mapa único final com todas as classes de cobertura vegetal definidas neste estudo.

O classificador não-supervisionado K-médias, por exemplo, foi aplicado em todas as imagens em diferentes abordagens. Na primeira, aplicou-se o classificador em todas as bandas; na segunda, em todas componentes da ACP; e na terceira, somente nas duas

primeiras componentes principais por concentrarem boa parte das informações espectrais. Neste classificador, o mínimo de classes selecionadas foi quatro e o máximo doze. Para todas as situações, um máximo de 10 iterações foi aplicado. Outros classificadores disponíveis no aplicativo SPRING também foram usados: Histograma e Battacharya (por região) e MAXVER-ICM (por pixel).

Para as imagens classificadas utilizando-se o k-médias, foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- 6 temas e 10 iterações para 1 data (mês agosto plataforma Aqua), PC 1, 2, 3 e 4.
- 7 temas e 10 iterações para 1 data (mês setembro plataforma Terra), PC 1, 2, 3 e 4.

Para as imagens classificadas utilizando-se Histograma:

- 5 temas para uma data (mês setembro plataforma Terra).

Para as imagens classificadas pelo método supervisionado MAXVER-ICM:

- 1 data (mês setembro plataforma Terra) com limiar de 75%, PC 1 e 2.
- 1 data (mês setembro plataforma Terra) com limiar de 90%, PC 1 e 2.

Para as imagens classificadas pelo método supervisionado Battacharya:

- 1 data (mês setembro plataforma Terra, imagem segmentada com limiares de área 12 e similaridade 8) limiar do classificador 99,9%.
- 1 data (mês março plataforma Terra, imagem segmentada com limiares de área 25 e similaridade 12).
- 1 data (mês agosto Aqua, imagem segmentada com limiares de área 15 e similaridade 12).

Dados de Campo e Validação

Neste trabalho, foi realizada uma missão de campo em outubro de 2005, com a finalidade de se conhecer e observar in situ as condições e características das diferentes fitofisionomias presentes na área de estudo. Estas informações permitiram a identificação de regiões a serem usadas como verdade terrestre nos procedimentos de classificação e interpretação das imagens e a avaliação da acurácia do mapa gerado neste trabalho.

Desta maneira, o trabalho de campo foi direcionado para melhorar a precisão do mapa a ser gerado, a partir da coleta de 898 pontos amostrais com o GPS (Sistema de Posicionamento Global) em áreas homogêneas e representativas das fitofisionomias e áreas antropizadas na cobertura vegetal. Os dados/pontos foram coletados, principalmente, ao longo de rodovias. Uma descrição de cada ponto visitado foi feita.

Os dados de campo foram então transpostos às imagens (imagem classificada a partir dos dados multitemporais do sensor MODIS e o mapa de referência) e gerados matrizes de confusão. De posse das matrizes de confusão obtidas entre o cruzamento dos pontos coletados em campo e as imagens de classificação (imagem classificada e de referência), a Acurácia Global de Classificação e o Índice Kappa foram determinados. Por fim, avaliou-se a significância estatística das matrizes pelo teste-Z. Um fluxograma das atividades realizadas é mostrado na figura 4.



Figura 4 - Fluxograma de atividades realizadas para a validação do mapa de cobertura vegetal obtido a partir da classificação da vegetação do Estado de Minas Gerais pelos dados MODIS e o mapa de referência

RESULTADOS

Nesta seção os principais resultados do trabalho são discutidos, entre eles: a Análise por Componentes Principais (ACP), o modelo linear de mistura espectral (MLME) e o mapeamento da cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais.

Análise por Componentes Principais

O entendimento das variações espectro-temporais associadas às classes consideradas neste trabalho foi obtido a partir da Análise por Componentes Principais (ACP) dos espectros MODIS. Os resultados foram apresentados para cada uma das seis datas de aquisição das imagens, ou seja, para Janeiro 2004/Terra (estação chuvosa), Fevereiro/Aqua 2004 (estação chuvosa), (c) Março/Terra 2004 (final da estação chuvosa), Agosto/Aqua 2004 (meio da estação seca), Setembro/Aqua 2004 e Setembro/Terra 2004 (final da estação seca). Os autovetores indicam a contribuição de cada banda espectral para explicar uma dada componente, enquanto os autovalores indicam o percentual da informação espectral contida ou reunida em cada componente.

A primeira componente foi responsável por 87,96%, 87,10%, 88,11%, 95,15%, 95,78% e 95,84% da variância dos dados para as datas de (a) Jan/Terra, (b) Fev/Aqua, (c) Mar/Terra, (d) Ago/Aqua, (e) Set/Aqua e (f) Set/Terra, respectivamente. Juntas, a primeira e a segunda componentes (PC1 e PC2) foram responsáveis por 95,36%, 93,89%, 95,52%, 98,90%, 98,87% e 90,04% da variância total dos dados, respectivamente.

A segunda componente (PC2) foi fortemente influenciada pelas bandas do vermelho e IVP, ou pelas suas relações de covariância negativa para as diferentes datas analisadas, principalmente, para Ago/Aqua, Set/Aqua e Set/Terra (estação seca). Como as bandas do

Azul (Jan/Terra e Fev/Aqua, principalmente), Vermelho e IVP estão intrinsecamente relacionadas a vegetação, pode-se afirmar que os valores dos auto-vetores para uma mesma data (ou entre datas) estiveram associados principalmente com o vigor da vegetação ou com a sua sazonalidade. Estes resultados corroboram com as observações realizadas por Liesenberg et al (2007).

Modelo Linear de Mistura Espectral

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), Shimabukuro (1987, 1991,1998) foi importante para a discriminação de diferentes classes de cobertura vegetal. Para demonstrar a eficácia desta técnica na discriminação de alvos, as figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, as frações sombra e solo para a discriminação de dois alvos de interesse. Como exemplo, a classe Água (discriminada na Figura 5) e a fitofisionomia Campos (discriminada na Figura 6).

Na figura 5, a fração sombra foi de fundamental importância para a discriminação da classe Água. Nesta Figura, a represa imageada é o lago de Furnas, localizado na porção sul da área de estudo. As setas indicam aproximadamente a delimitação pronunciada da classe Água com o restante da imagem, já que maiores proporções de sombra foram observadas. A escolha da imagem para a extração desta fração foi de Agosto (Terra) em função do menor nível dos reservatórios, como também a redução de outros componentes opticamente ativos (solo em suspensão, por exemplo) no final da estação seca em comparação com outras datas adquiridas durante a estação chuvosa.

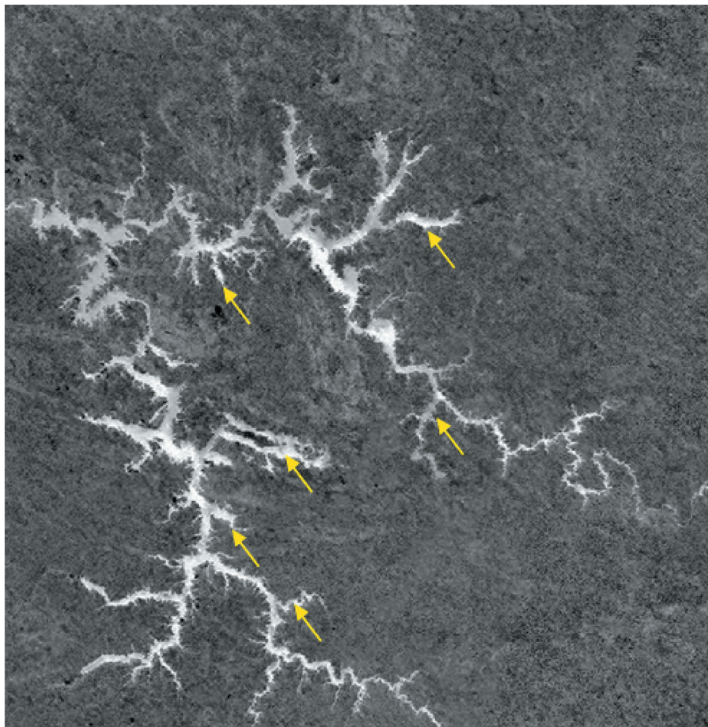


Figura 5 - Imagem fração sombra referente ao mês de agosto plataforma Aqua em área correspondente à parte da região sul da área de estudo

Por outro lado, a figura 6 mostra a fração solo obtida para o mês de agosto. Nesta Figura, pode-se perceber a delimitação das regiões onde a fitofisionomia Campos predominam e corroboram com as observações de Ferreira (2003). As feições características, e as áreas mais representativas desta fitofisionomia estão indicadas por setas na figura. Neste caso específico, escolheu-se a data em função da melhor delimitação desta fitofisionomia em comparação com as demais datas utilizadas. A maior separabilidade, entretanto, deve-se provavelmente ao menor verdor das demais fitofisionomias e de uma maior contribuição dos minerais do solo como também da maior proporção de gramíneas secas sobre o solo.

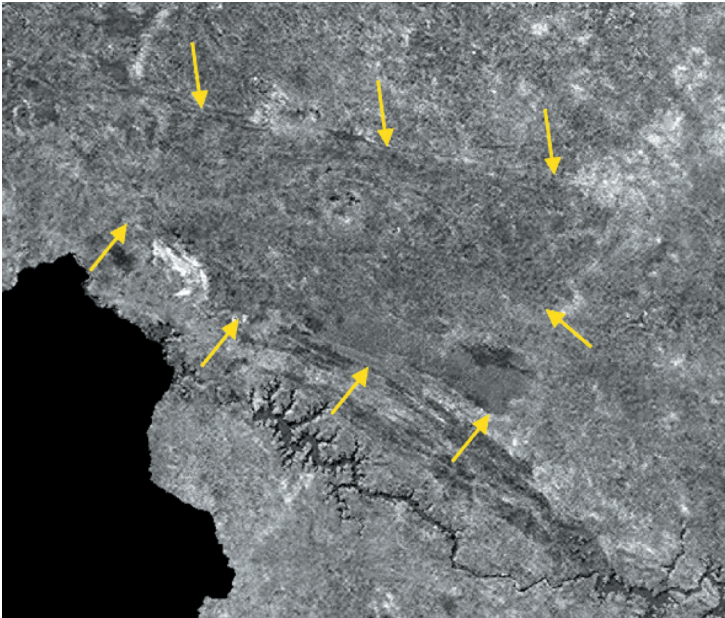


Figura 6 - Imagem fração solo referente ao mês de agosto plataforma Aqua correspondente à parte da região sudoeste da área de estudo

Mapeamento das fitofisionomias

Os resultados do mapeamento da cobertura vegetal do Estado de Minas Gerais são discutidos aqui de acordo com seus objetivos de monitoramento de biomas e seus ecossistemas associados. São apresentados os resultados da validação do mapeamento gerado e as diferentes classes mapeadas com base nos dados MODIS de resolução moderada são discutidas comparativamente com os mapeamentos gerados com produtos de resolução mais fina do sensor TM Landsat (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

Validação dos resultados do mapeamento

Em relação ao mapeamento da cobertura vegetal, a figura 7 ilustra o mapa gerado a partir das classificações dos dados MODIS. Uma comparação entre ambas as classificações será feita nos próximos parágrafos a seguir.

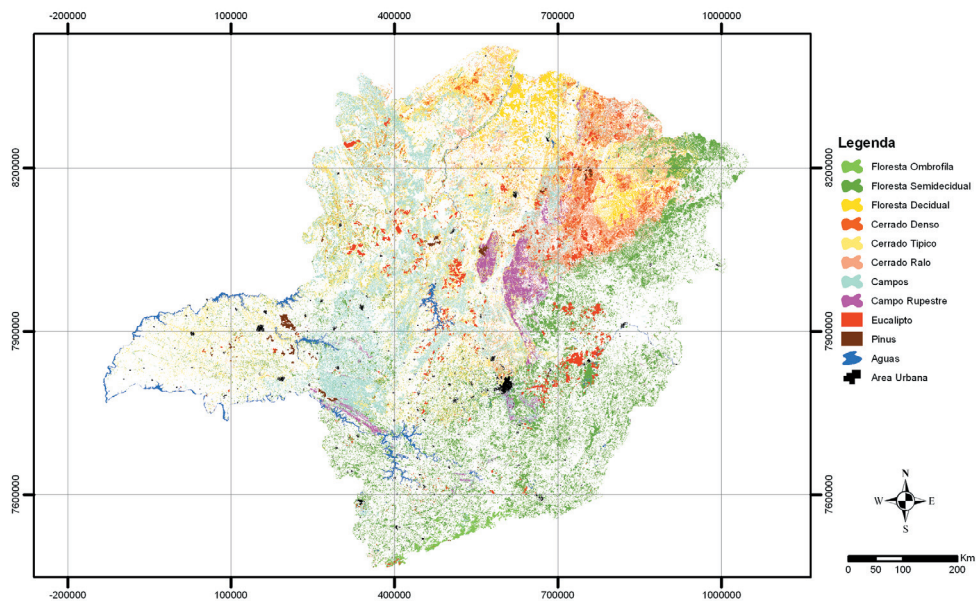


Figura 7- Ilustração do mapeamento utilizando dados multitemporais do sensor MODIS

De acordo com a tabela 2, que apresenta os valores em área (ha) das fitofisionomias em análise, percebe-se uma superestimativa em ordem do menor para o maior da Floresta Semidecidual, Cerrado Típico, Campo e Cerrado Denso. Por outro lado, uma subestimativa para Água, Eucalipto, Floresta Ombrófila e Floresta Decídua foi observada.

As informações coletadas durante a missão em campo permitiram a caracterização geral de cada um dos biomas descritos neste trabalho. Por meio dos pontos coletados em campo, foi possível realizar uma análise mais precisa do desempenho do sensor MODIS na caracterização das diferentes fitofisionomias da área de estudo.

A dinâmica do mapeamento das classes e a confusão entre as mesmas pode ser melhor compreendida através da análise das tabelas 3 e 4, que mostram as matrizes de confusão para os pontos coletados em campo para os mapas de referência e o obtido dos dados MODIS, respectivamente. Observa-se uma maior confusão entre as classes mapeadas nas imagens MODIS quando comparada à confusão com as mesmas classes obtidas pelas imagens do sensor TM.

Uma análise do conjunto de pontos coletados em campo (898) sobre os mapas de referência e do MODIS apresentaram uma exatidão global de 0,86 e 0,75 respectivamente. Índices Kappa de 0,83 e 0,75 foram os obtidos para o mapa referência e o obtido pelas imagens MODIS.

Tabela 2 – Comparação entre as áreas mapeadas do mapa de referência fornecido pelo IEF/UFLA e as áreas mapeadas utilizando os dados multitemporais dos dados MODIS

Classes Consideradas	Referência (ha)	Percentual %	Mapeado (ha)	Percentual %
Água	624.017	1,0639	599.323	1,0218
Pinus	143.303	0,2443	159.992	0,2728
Eucalipto	1.068.589	1,8219	946.125	1,6131
Áreas Urbanas	301.595	0,5142	256.695	0,4377
Campos rupestres	615.934	1,0501	779.056	1,3283
Cerrado ralo	1.734.282	2,9569	1.578.450	2,6912
Cerrado denso	1.589.357	2,7098	1.241.453	2,1166
Cerrado típico	4.723.937	8,0541	4.271.990	7,2836
Campos	3.757.693	6,4067	3.853.184	6,5695
Floresta ombrófila	236.860	0,4038	222.576	0,3795
Floresta decídua	1.668.300	2,8444	1.426.084	2,4314
Floresta semidecídua	5.448.107	9,2888	5.969.593	10,1779
Outros	36.740.492	62,6410	37.347.945	63,6767
Área do Estado	58.652.466	100	58.652.466	100,0

Tabela 3 – Matriz de confusão considerando os pontos coletados em campo no mês de outubro de 2005 sobre o mapeamento gerado pelo IEF/UFLA

MAPA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	16					1				1	2		20
2		87		6	3			1			5		102
3			20			4				1	4		29
4		1		40	7					1			49
5				1	21	1		1			1		25
6		3	1	13		55					9		81
7			5				28		1	4	2		40
8			5					32			11		48
9		1							27	4			32
10			9			3	17		2	112	23	1	167
11	4	7	4	6	1	5	3		1	2	176	3	3
12							8					21	29
13	2										7		52
	22	99	44	66	32	69	56	34	31	125	240	25	55
													898

Note que: 1 (Água), 2 (Campo), 3 (Cerrado denso), 4 (Cerrado Ralo), 5 (Campo Rupestre), 6 (Cerrado típico), 7 (Eucalipto), 8 (Floresta decídua), 9 (Floresta Ombrófila), 10 (Floresta semi-decídua), 11 (Outros), 12 (Pinus) e 13 (Áreas Urbanizadas).

Tabela 4 – Matriz de confusão considerando os pontos coletados em campo no mês de outubro de 2004 sobre o mapeamento gerado utilizando os dados multitemporais do sensor MODIS

REF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	20												20	
2		91		3			2	1			5		102	
3			1	24	1							3	29	
4				47						1	1		49	
5					2	22						1	25	
6		4		10		63						4	81	
7			2				35				2	1	40	
8				4				40				4	48	
9									32				32	
10				5		2	14			125	19	2	167	
11	2	5	1	1	1	2	5	3	2	1	189	2	1	215
12							7						22	29
13											1		60	61
	22	101	36	64	23	67	63	44	34	129	228	26	61	898

Note que: 1 (Água), 2 (Campo), 3 (Cerrado denso), 4 (Cerrado Ralo), 5 (Campo Rupestre), 6 (Cerrado típico), 7 (Eucalipto), 8 (Floresta decídua), 9 (Floresta Ombrófila), 10 (Floresta semi-decídua), 11 (Outros), 12 (Pinus) e 13 (Áreas Urbanizadas).

De acordo com os valores de Kappa encontrados, ambos os mapas mostram que os processamentos foram satisfatórios, e por isso o mapeamento realizado por dados Landsat foi classificado como ótimo, enquanto que o gerado por este estudo como bom. O teste-Z aplicado entre os Kappas apresentados nas tabelas 3 e 4 mostraram que os mesmos diferem entre si ($Z=5,0577$), entretanto pelos bons resultados apresentados, um pode realmente ser utilizado em comparação ao outro baseado nos pontos coletados em campo.

Discussão sobre o mapeamento das fitofisionomias

Para entender a dinâmica do mapeamento encontrado, Figuras serão utilizadas a seguir.

A classe Água, por exemplo, no mapa de referência possui uma extensão de 624.017 ha (1,06%), enquanto que no mapeamento realizado com os produtos MODIS foi obtido um total de 599.323 ha (1,02%). Comparando estes valores percentuais, obtém-se uma sub-estimativa total de 4% em relação aos dados de referência. Os motivos que podem explicar tal fato são a resolução espacial do sensor MODIS, menor que a dos sensores da série TM e ETM+, e um maior percentual de mistura nos pixels. A técnica do modelo linear de mistura espectral, empregada para o mapeamento desta classe através da imagem fração sombra, mostrou-se fundamental na estimação de recursos hídricos deste Estado.

No mapeamento da classe Cerrado Típico (Figura 8), obteve-se o total de 4.271.990 ha, sendo sua maior ocorrência localizada na região nordeste da área de estudo. No mapa de referência esta mesma classe possui a extensão total de 4.723.937 ha, no processo

automático de classificação ocorreu uma sub-estimativa de 451.947 ha ou 9.56 % que esteve concentrada principalmente na região central e noroeste do Estado. De acordo com os resultados apresentados nas tabelas 3 e 4, a fitofisionomia mostrou certa confusão espectral com o Cerrado Denso e Ralo, em função do seu comportamento espectral similar.

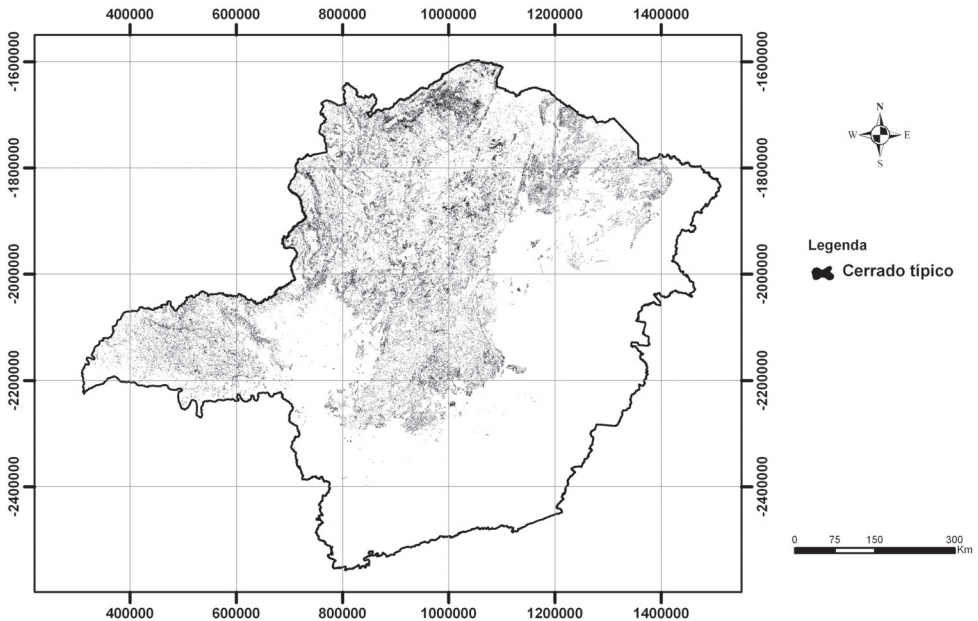


FIGURA 8 - Mapeamento da fitofisionomia Cerrado Típico a partir de dados multitemporais do sensor MODIS

As fitofisionomias Campo, Campo Rupestre e Cerrado Ralo, apresentaram uma área total de 1.734.283 ha, 615.934 ha e 1.784.282 ha, respectivamente, no mapa de referência. Considerando o mapeamento realizado por este trabalho, um total de 3.853.184ha, 779.056ha e 1.578.450ha, respectivamente, foram obtidos. Houve, portanto, uma superestimação para as fitofisionomias Campos e Campos Rupestres, enquanto uma sub-estimativa para o Cerrado Ralo.

Além da forte contribuição do componente solo no processo de mistura espectral, que naturalmente ocorre e se realça em sensores de resolução moderada tais como o MODIS, o comportamento sazonal bem característico presente em todas as fitofisionomias do Cerrado são fatores plausíveis de aplicação para os resultados encontrados especificamente nestas fitofisionomias, e em outras de mesma similaridade espectral. Em resumo, a área total obtida pelo mapeamento de referência foi de 4.723.923 ha enquanto que o alcançado por meio dos produtos MODIS foi de 4.271.990 ha, Na figura 9 observa-se o mapeamento das fitofisionomias mais comumente encontradas na região Oeste de Minas Gerais, onde se observa o lago de Furnas e o Parque Nacional da Serra da Canastra.

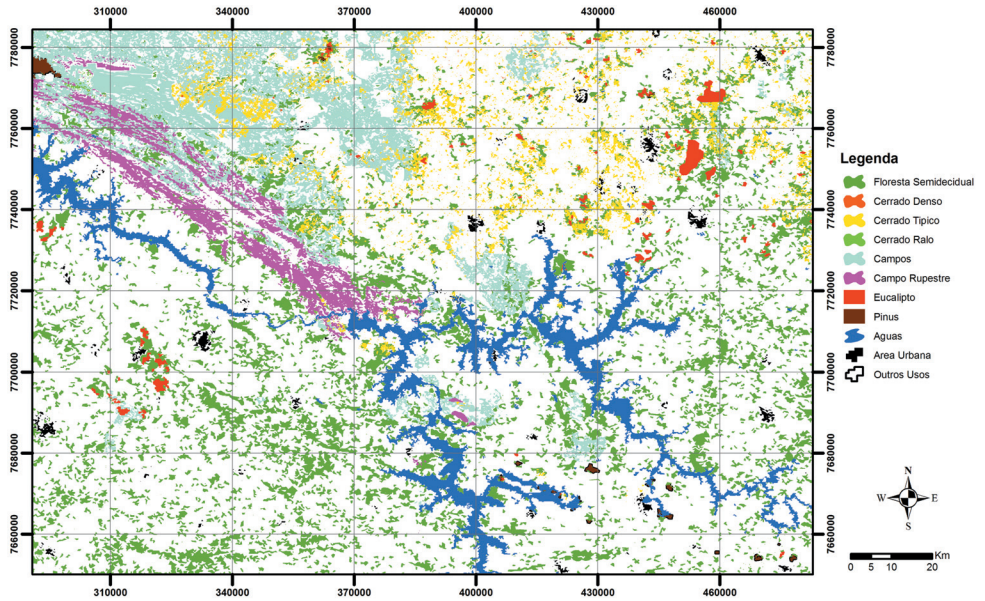


Figura 9- Mapeamento das fitofisionomias região Oeste de Minas Gerais com dados do sensor MODIS

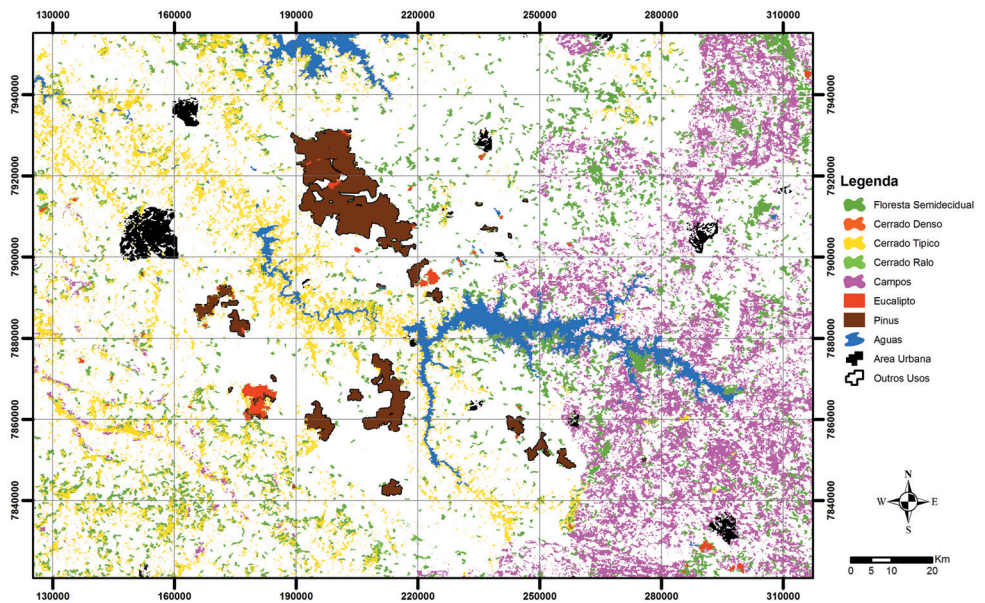


Figura 10- Mapeamento de fitofisionomias na região Triângulo Mineiro, utilizando dados MODIS

Os mesmos fatores mencionados nas discussões da classe anterior (Cerrado Ralo) podem ser também considerados neste contexto, aliando-se ao fato de que o Cerrado Típico é a classe de maior extensão dentro da área de estudo. A sua ocorrência restringe-se apenas a regiões de alta mecanização agrícola (Nordeste e Triângulo Mineiro principalmente) e as áreas de maior urbanização do Estado de Minas Gerais. Esta fragmentação que ocorre na área contribui para uma maior mistura espectral e o inerente aumento do grau de dificuldade para identificar e mapear suas feições figura 10.

Para a classe Eucalipto, o mapa de referência utilizado apresenta uma área total de 1.068.589 ha. Porém, no mapeamento realizado obteve-se um total de 946.125 ha. Para o Pinus uma área de 143.303 ha no mapa de referência, enquanto no mapeamento realizado um total de 159.992 ha. Ou seja, uma sub-estimativa de 11,46% em relação ao mapa referência para o Eucalipto, contra uma super-estimativa de 16.689 ha, equivalente a 11,64 % a mais que no mapa de referência para a classe Pinus.

O cultivo de Pinus e Eucalipto em áreas vizinhas torna a separabilidade de ambas as classes algo complexo, ocasionando a confusão no processo de classificação das imagens. Também o fato das imagens da classificação de referência possuir imagens que tem um intervalo de 4 anos (1999-2003) pode ocasionar variações na determinação da área plantada, enquanto que o mosaico MODIS utilizado neste trabalho foi composto por imagens do ano de 2004. Esta variação pode estar relacionada, principalmente, ao ciclo de produção e constante renovação e ampliação dos plantios para o abastecimento de siderúrgicas e produção de papel e celulose.

Com relação às fitofisionomias Floresta Decídua (Caatinga) e Floresta Semidecídua. A classe Floresta Decídua (Caatinga) compreendeu uma área total de 1.424.084 ha nos resultados obtidos pela classificação utilizando dados do sensor MODIS. Para o mapa de referência, esta mesma classe obteve um total de 1.668.300 ha, ou seja, o resultado deste trabalho subestimou o bioma Caatinga em 14,52%.

Devido ao seu comportamento espectral variável ao longo do ano e ao processo de mistura espectral que é acentuado nas bordas desta classe, que são também regiões passíveis de confusão espectral pela sua junção de diferentes tipos de vegetação presentes em intervalos de área relativamente pequenos para que possam ser captados pelo sensor MODIS.

Por outro lado, a área mapeada para a fitofisionomia Floresta Semidecídua pelos dados do sensor MODIS foi de 5.969.593 ha e no mapa de referência um total de 5.448.107 ha. Em outras palavras, houve super-estimativa em 9,57%, ou seja, um total de 521.486 ha foram identificados como pertencentes ao bioma sem realmente o pertencerem, comparando com o mapa de referência. Este bioma encontra-se inserido numa área de grande abrangência ao longo da região de estudo. A principal porção do referido bioma está localizada na parte leste do Estado de Minas Gerais, ocorrendo também ao sul e oeste nas regiões onde ocorrem maiores índices de precipitação.

Devido ao seu comportamento espectral constante ao longo do ano, remanescente em sua maior parte de tamanhos consideráveis e localização restrita a porção sudeste do Estado de Minas Gerais, sua caracterização foi mais facilmente efetuada quando comparada às outras classes. No entanto, os fragmentos isolados e de menor área, não foram mapeados integralmente.

E por último, a fitofisionomia Floresta Ombrófila foi a que apresentou melhores resultados em termos de coerência entre os dois mapas (referência e o obtido neste trabalho). O mapa de referência apresenta um valor em área correspondente a 236.860 ha, já o resultado alcançado neste trabalho foi de 222.576 ha. Uma sub-estimativa de 14.284 ha ou 6,03 % de diferença, ilustrado na figura 11.

A resolução espacial do sensor MODIS (250 m) em relação ao TM/ETM+ (30 m) contribui para que ocorram perdas de discriminação em algumas áreas do bioma que estão dispersas no mosaico da paisagem. O tamanho reduzido da maioria dos fragmentos dispersos

juntamente com o processo de mistura espectral contribui para a perda da capacidade de mapeamento da Floresta Ombrófila.

A moderada resolução espacial do sensor MODIS, aliada ao maior grau de mistura espectral dos alvos ocasionada pela própria resolução espacial diminuiu as possibilidades de discriminar pequenos fragmentos.

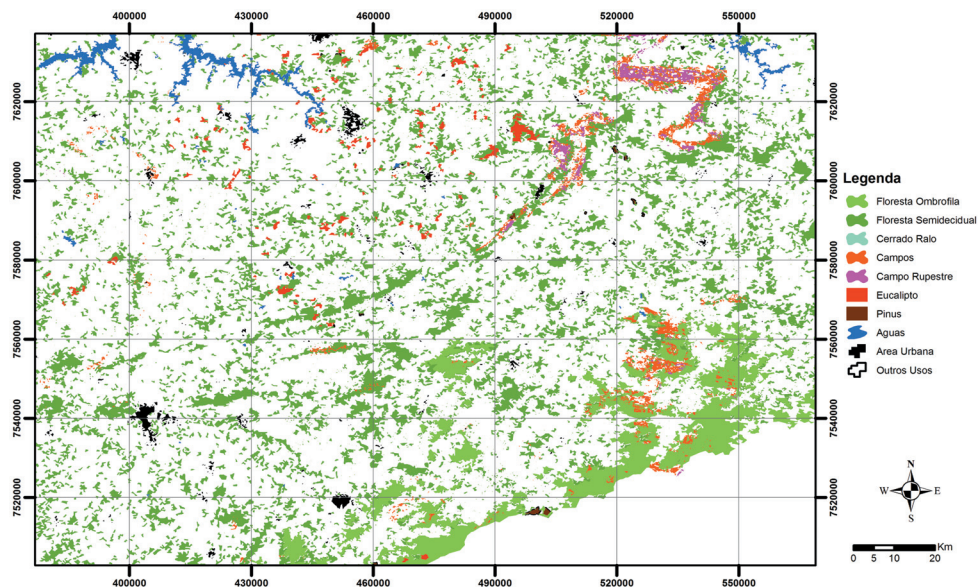


Figura 11- Mapeamento das fitofisionomias partir de dados multitemporais do sensor MODIS

Alterações dos polígonos para Floresta Semidecídua, além da correspondência entre as classes Água e superestimativa da fitofisionomia Campos Rupestres também pode ser encontrada na figura 11. Representando a parte central do Estado onde pode-se observar uma super-estimativa da fitofisionomia Cerrado Típico em algumas áreas de Campo e vice-versa e da fitofisionomia Cerrado Ralo para Campos Rupestres. Outro aspecto observado são as alterações significativas das áreas de reflorestamento de Eucalipto e Pinus.

CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos por este trabalho, pôde-se concluir que os dados oriundos do sensor MODIS podem efetivamente serem aplicados em estudos de monitoramento e classificação da cobertura da terra regionalmente. Principalmente, pelo fato de que são disponibilizados gratuitamente, apresentam elevado grau de pré-processamento (correção atmosférica e georreferenciamento) e possuem alta resolução temporal de aquisição de informações (duas passagens diárias). A análise comparativa com mapeamento em escala mais detalhada mostrou, ainda, que as imagens MODIS apresentam uma grande contribuição ao mapeamento da cobertura vegetal em escala regional. Especificamente para o bioma Mata Atlântica, o sensor mostrou-se bastante eficaz na identificação e mapeamento do mesmo, quando comparado ao potencial de mapeamento de sensores de resolução espacial

mais fina (e.x TM Landsat). A sua aplicação é bastante relevante em estudos que demandam dados com pouco intervalo de tempo entre aquisições (alta resolução temporal), em função das suas duas passagens diárias, o que aumenta substancialmente o potencial de monitoramento de ecossistemas e mesmo a identificação da sua sazonalidade. Há vários produtos MODIS disponíveis, neste estudo somente o MOD13 foi utilizado, assim sendo, o potencial do sensor pode ainda ser investigado em trabalhos futuros que contemplem uma maior quantidade de dados orbitais oriundos das mesmas plataformas Aqua e Terra.

REFERÊNCIAS

- ARAI, E.; FREITAS, R.M.; ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E. Análise radiométrica de imagens MOD09 em 16 bits e 8 bits. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia. **Anais...** –São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3983-3990.
- DEFRIES, R.S.; HOUGHTON, R.A, HANSEN, M.C.; FIEDL, C.B.; SKOLE, D. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for 1980s and 1990s.. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**. v.99, n. 22, p. 14256-14261, 2002.
- FERREIRA, M.E. **Análise do modelo linear de mistura espectral na discriminação de fitofisionomias do Parque Nacional de Brasília (bioma cerrado)**. 2003. Brasília, DF. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade de Brasília (UNB), 127p.
- FEDOROV, D.; FONSECA, L. M. G.; KENNEY, C.; MANJUNATH, B. S. Automatic registration and mosaicking system for remotely sensed imagery. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 317-324. CD-ROM. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-10534-PRE/6006). Disponível em: <<http://urlib.net/itid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.09.27>>. Acesso em: 07 abr. 2010.
- FONSECA, L.M.G. **Método para restauração e reamostragem de imagens do Sensor TM**. São José dos Campos-SP: INPE, 14 p. (PI INPE 4491-PRE /1255), 1988.
- FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS. **Biodiversidade em Minas Gerais**. Belo Horizonte, Fundação Vale do Rio Doce, (Mapa Topográfico, Escala 1: 250.000), 2004.
- GALVÃO, L.S.VITORELLO, I. FORMAGGIO, A.R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sensing of Environment**, v.61, n.1, p.24-33, 1997.
- GALVÃO, L.S.; VITORELLO, I.; PARADELLA, W.R. Spectroradiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modelling. **Remote Sensing of Environment**, v.53, n.1, p.70-75, 1995.
- GALVÃO, L.S.; PIZARRO, M.A.; EPIPHANIO, J.C.N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral - chemical composition relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 245-255, 2001.
- HANSEN, M.C.; DEFRIES, R.S.; TOWNSHEND, J.R.G.; MARUFU, L.; SOHLBERG, R. Development of MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.
- HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W.A. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 1992. 97p.
- _____. **A área do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: www.ibge.gov.br Acesso em 15 junho 2005.

- JUSTICE, C.O. GIGLIO, L. KORONTZI, S. OWES, J.; MORISETTE, J. T.ROY, D.DESCLOITRES, J. ALLEAUME, S. PETITCOLIN, F. KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262, 2002.
- LIESENBERG, V.; GALVÃO, L.S.; PONZONI, F.J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 1-2, 15 Mar. p. 276-285.2007
- MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images**. West Sussex: John Wiley & Sons., 1999. 292 p
- MYERS, N. MITTERMEIER, R. A. MITTERMEIER, C. G. FONSECA, G. A. B. KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.1, p. 124-132- 2000.
- NASA. Moderate resolution imaging spectroradiometer – NASA´s earth observing system, 2003.
- MOREIRA, M.A.; SHIMABUKURO, Y.E. Cálculo do Índice de Vegetação a Partir do Sensor AVHRR. In: FERREIRA, N.J. (Ed.). **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo-SP: Oficina de Textos, 2004. Cap. 4, p. 271-319.
- RADAMBRASIL Departamento Nacional de Produção Mineral **Folha SF. 23/24 – Rio de Janeiro / Vitória** - Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1983. 777 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.32).
- RADAMBRASIL Departamento Nacional de Produção Mineral **Folha SE. 24 – Rio Doce** - Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1987. 545 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.34).
- RADAMBRASIL Departamento Nacional de Produção Mineral **Folha SD. 23 - Brasília** - Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1982. 660 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v.29).
- RIZZINI, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997. 747 p.
- SCHOWENGERDT, R.A. **Remote sensing** - models and methods for image processing. Tucson, Arizona - USA: Academic Preedss, 1997. 522 p.
- SCOLFORO, J.R.; CARVALHO, L.M.T. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: Editora UFLA. 2006. 288p.
- SHIMABUKURO, Y.E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. 1987. Fort Collins, Colorado. 274p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Colorado State University, 1987.
- SHIMABUKURO, Y.E; BATISTA, G.T., MELLO, E.M.K., MOREIRA, J.C., DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 3, n. 19, p. 535-541, 1998.
- SHIMABUKURO, Y.E. SMITH. J.A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 29, n.1, p. 16-20, 1991.
- TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2005. 656 p.
- ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471-475, 2003.

Recebido em novembro de 2009

Revisado em janeiro de 2010

Aceito em abril de 2010

