

Mapeamento da cobertura vegetal para fins de elegibilidade de áreas de acordo com os critérios estabelecidos pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Adauta Cupertino de Oliveira¹
Elvis Adriano Braga¹
Fausto Weimar Acerbi Jr.¹
Luiz Carlos Goulart.²

¹ Universidade Federal de Lavras - UFLA
Caixa Postal 35 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil
adauta@gmail.com, elvis.braga@bol.com.br, fausto@ufla.br

² Plantar S/A
Av. Raja Gabaglia, 1380 - 30380-090 – Belo Horizonte - MG, Brasil
Luiz-goulart@plantar.com.br

Abstract. The objective of this study was to map the land use of forest farm in order to evaluate whether these areas can be eligible for implementation of an emission-reduction project according to the criterion established by the Clean Development Mechanism (CDM). In order to do that two Landsat TM images were acquired in the years 1989 and 2000. As pre-processing steps before classification the Landsat TM image was geometric and radiometric corrected. Then, fraction images were generated using the pixel unmixing technique as well as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) image. These images will be used as additional information and input to the decision tree algorithm for classification of the areas. Therefore, the attributes used were: bands 1, 2, 3, 4, 5 and 7 of the Landsat TM image, the fraction of soil, shadow and vegetation images as well as the error image, and the NDVI image. The results of the classification were excellent with kappa value higher than 0.84. The global accuracy was 88.3 % and 92.1 % for the images of 1989 and 2000, respectively. In both dates the study area, that nowadays are eucalyptus plantations, were cover by pastures fields, which indicates the eligibility of the study area for implementation of an emission-reduction project.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, Landsat TM, NDVI, sensoriamento remoto, processamento de imagens, Landsat TM, NDVI

1. Introdução

A temática ambiental tem recolhido crescente atenção da comunidade global, à medida que a degradação do Meio Ambiente vem aumentando. Resultado desta gradual conscientização foi a concepção, em 1997, do Protocolo de Quioto, que fixa metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e estabelece o chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), criando títulos, as Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), negociáveis entre os países como forma de cumprimento de seus compromissos ambientais.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Quioto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) ou de captura de carbono (ou sequestro de carbono) por parte dos países do Anexo I (países industrializados).

Países em desenvolvimento (Partes Não Anexo I) podem implementar projetos que contribuam para o desenvolvimento sustentável e que apresentam uma redução ou captura de emissões de gases causadores do efeito estufa, obtendo a Reduções Certificadas de Emissões (RCEs, ou na sigla em inglês, CERs). Os RCEs emitidos pelo Conselho Executivo do MDL, podem ser negociados no mercado global. Como os países industrializados (Partes Anexo I) possuem cotas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, estes podem adquirir os RCEs de desenvolvedores de projetos em países em desenvolvimento para auxiliar no cumprimento de suas metas.

Projetos de reflorestamentos e florestamentos referem-se ao setor 14 dentre as categorias numeradas pelo Conselho Executivo (CE) do MDL. Para isto é definido que florestamento seja a conversão induzida diretamente pelo homem de terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos em terra florestada por meio de plantio, sementeira e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, enquanto que reflorestamento seja a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não-florestada em terra florestada por meio de plantio, sementeira e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área que foi florestada, mas convertida em terra não-florestada.

Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento estarão limitadas aos reflorestamentos que ocorram nas terras que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989. Para isto fica definida “Floresta” como:

I) Uma área mínima de terra de 0,05-1,0 hectare, com cobertura de copa das árvores com mais de 30% de árvores com potencial para atingir uma altura mínima de 5 metros na maturidade in situ.

II) Povoamentos naturais jovens e todos os plantios que ainda têm que atingir uma densidade de copa de 30% ou altura de árvores de 5 metros, mas que são esperadas reverter em floresta

III) Áreas que estão temporariamente sem estoques, em consequência da intervenção humana, e que normalmente faz parte da área florestal, como a colheita ou causas naturais.

Diante da premissa de que os reflorestamentos poderão gerar projetos elegíveis pelo comitê executivo da UNFCCC, faz-se necessário a comprovação do tipo de vegetação existente no ano de 1989, neste sentido, o uso de imagens de sensoriamento remoto oferece uma alternativa nova e eficiente na busca de informações passadas, auxiliando, assim, o processo de mapeamento da vegetação.

Por meio do uso de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto, como, por exemplo, a árvore de decisão, é possível classificar uma imagem em grupos ou regiões, de acordo com um critério de homogeneidade preestabelecido. Como produto final obtém-se mapas temáticos, nos quais regiões afins são agrupadas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi mapear a vegetação de uma fazenda florestal nos anos de 1989 e em 2000, ano anterior a implantação do reflorestamento, utilizando imagens Landsat correspondentes a estes períodos.

2. Metodologia do Trabalho

A área em questão é uma fazenda produtora de eucalipto pertencente à empresa Plantar S/A localizada no município de Felixlândia.

A base de dados utilizada neste trabalho é composta por imagens de sensoriamento remoto de média resolução espacial e dados coletados em campo. A escolha da imagem se deu em função da menor área exigida para o mapeamento 1 ha . As informações das imagens utilizadas são as seguintes:

1) Imagem dos satélites da série Landsat provenientes dos sensores Thematic Mapper e Enhanced Thematic Mapper, em duas épocas diferentes (1989 e 2000), com resolução espacial de 30 m e 6 bandas espectrais.

2) Dados coletados em campo da cobertura vegetal em locais onde não houve alteração expressiva do uso do solo nos últimos dezoito anos. Essas áreas foram selecionadas por meio de pesquisa em banco de dados de instituições, tais como: IEF, Emater e Epamig. As áreas selecionadas foram localizadas na imagem e por fim foi realizada a checagem de campo através de pontos coletados com GPS.

3) Dados utilizados de instituições e adquiridos pela internet

A Tabela 1 mostra toda a base de dados compilados e suas respectivas fontes.

Tabela 1 – Relação da base de dados compilados

Base de dados	Fonte
Mapa de uso do solo de Minas Gerais	Geominas
Mapeamento da vegetação 1994	IEF
Sedes municipais	Geominas
Malha viária	Geominas
Curva de nível	IBGE
Hidrografia	ANA

As imagens Landsat são do período seco, em que se verifica pouca cobertura de nuvens e também foram utilizadas imagens tomadas em outras estações dos anos em estudo para aferição de eventuais dúvidas quanto à caracterização da vegetação em cenários dinâmicos, como também para prover uma base de dados histórica sobre a vegetação existente na área de estudo.

Para os cálculos de estatísticas das classes de mapeamento de uso e ocupação do solo e para a geração dos mapas resultantes das metodologias de classificação digital aplicou-se uma máscara, construída com o vetor de município da área de estudo.

O processamento das imagens digitais e a mineração de dados para o classificador Árvore de Decisão foram realizados nos aplicativos disponíveis no Laboratório de Geoprocessamento e Análise de Imagens do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras.

No trabalho de campo foram usados os seguintes equipamentos: GPS (sistema de posicionamento Global), máquina fotográfica digital, notebook, trena, fichas de campo e veículo para deslocamento. As imagens Landsat utilizadas neste trabalho foram adquiridas a partir do site do INPE, no qual são disponibilizadas gratuitamente. A cena que recobre a área é datada de 06/08/2000 e 25/07/1989 sendo a órbita/ponto 219-73.

Os seguintes aplicativos foram utilizados:

- a) Envi 4.2 (registro e recorte das imagens).
- b) ArcGis 9.0 (digitalização e análise espacial);
- c) C5 (Árvore de decisão)

Para a definição das classes de mapeamento do uso e ocupação do solo foram levados em consideração vários fatores: levantamento bibliográfico sobre o mapeamento do uso e ocupação do solo, atividades econômicas predominantes na área de estudo, dados e sazonalidade das imagens de satélite Landsat.

De acordo com Escada (2003), o comportamento espectral da floresta primária é caracterizado pela baixa refletância na banda 3 (vermelho) e valores moderados na banda 4 (infravermelho próximo) devido à grande quantidade de sombras associadas a uma estrutura mais complexa do dossel. As florestas secundárias nos estágios iniciais têm um alto valor de refletância na banda 4, decrescendo nos estágios mais avançados, devido ao aumento da complexidade do dossel. Na banda 5, a refletância decresce gradualmente e, na banda 3, a refletância permanece baixa durante todo o período de sucessão. Em estágios avançados de sucessão, o comportamento espectral é parecido com o de florestas primárias. As pastagens na estação seca apresentam valores mais altos nas bandas 5 e 3, quando comparadas com as outras duas coberturas vegetais, podendo apresentar valores parecidos com os de vegetação secundária no período chuvoso, devido a presença de pastos altos, uniformes e bem manejados.

Desta forma, foram definidas seis classes temáticas de ocorrência na região de estudo, Mata (floresta estacional semidecidual), Cerrado, Reflorestamento, Áreas úmidas, Regeneração, Pasto alto, Pasto baixo e Queimadas.

As amostras utilizadas na classificação digital e verificação da exatidão do mapeamento constituem-se de conjunto de pixels, divididos em três grupos: treinamento, teste e validação. As amostras de treinamento foram utilizadas para descrever os casos de treinamento que compõem o arquivo de dados para a mineração por árvore de decisão. As amostras teste foram aplicadas para descrever os casos que foram utilizados na avaliação do erro da árvore de decisão gerada pela mineração de dados.

A preparação das amostras de treinamento e teste foi realizada em fases: análise visual das imagens Landsat e realização de trabalho de campo. Seleção de áreas onde não houve mudança de vegetação ao longo do tempo, este histórico foi verificado junto ao Instituto Estadual de Florestas e para as áreas agrícolas e de pastagens foram analisadas propriedades que tem histórico agrícola desde 1989. Primeiramente, estas áreas foram selecionadas e então foram coletados pontos com GPS, distribuídos entre as classes temáticas definidas anteriormente.

Os pontos coletados com GPS foram alocados nas imagens de satélite, em subgrupos correspondentes às classes temáticas e, a partir da análise visual, foram selecionadas as coleções de amostras.

Utilizando-se o mapa de curvas de nível das cartas topográficas do IBGE pôde-se elaborar o Modelo de Elevação Digital, o qual possibilita que as áreas sejam interpretadas segundo sua topografia.

No pré-processamento das imagens foi realizada a correção geométrica a fim de corrigir distorções existentes na imagem e calibração radiométrica que possibilita um melhor monitoramento do comportamento de uma determinada cobertura, uma vez que mudanças na sua resposta espectral estariam relacionadas somente as mudanças nas propriedades estruturais/espectrais da cobertura e não as mudanças no ângulo de iluminação solar ou variações dos sensores.

Em uma etapa preliminar à aplicação dos algoritmos de classificação digital foram geradas imagens fração ou sintéticas oriundas da análise de mistura espectral e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) com o propósito de extração de informações que serão utilizadas na fase de classificação digital

Para a classificação pelo algoritmo de árvore de decisão foi utilizado um aplicativo de mineração de dados, na geração do conjunto de regras da árvore de decisão e, posteriormente, um software de processamento de imagens para a classificação digital.

Os atributos usados nesta técnica de classificação foram: Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do Landsat; imagem fração solo, sombra, vegetação e de erro geradas pela decomposição linear espectral e índice de vegetação NDVI. Essas onze variáveis foram organizadas em um único arquivo de imagem.

No levantamento de uso e ocupação do solo e para a comparação entre os algoritmos de classificação computou-se a estatística das classes temáticas para todos os anos, calculando-se o percentual de área coberta pelas classes em relação à área da fazenda.

3. Resultados e Discussão

A correção geométrica das imagens pelo método de transformação polinomial de 1º grau e reamostragem dos pixels pela alocação do vizinho mais próximo (*nearest neighbour*) obteve resultados satisfatórios, gerando um erro inferior a meio pixel para todas as imagens.

A aplicação do algoritmo de decomposição espectral linear gerou as imagens sintéticas sombra, solo e vegetação, que realçaram as feições dos componentes puros, além da imagem de erro que contém a distribuição espacial dos erros residuais dos alvos que não se enquadram no padrão dos componentes puros selecionados.

Na Figura 1 são apresentadas a imagem Landsat na composição colorida das bandas 5, 4 e 3 e as imagens geradas no modelo linear de mistura espectral de uma mesma área contendo as feições dos componentes puros.

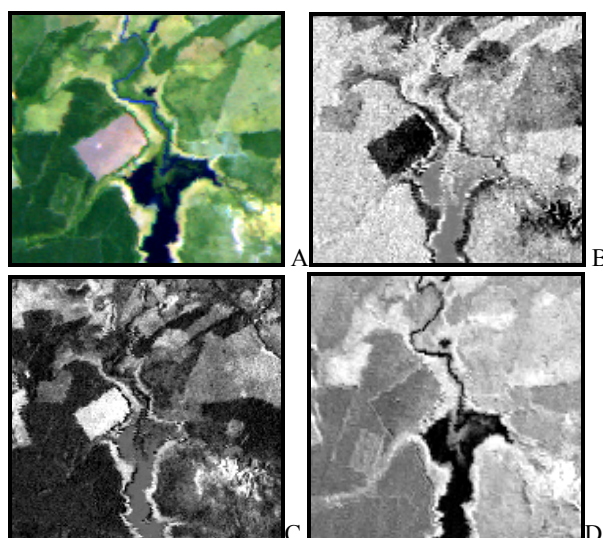


Figura 1 – Imagem Landsat TM, ano 2000, na composição colorida RGB das bandas 5, 4 e 3 (A), imagem fração sombra (B), imagem fração solo (C) e imagem fração vegetação (D).

Na imagem Landsat TM (Figura 1A) a área de floresta possui cor verde-escuro, água na cor azul, solo exposto na tonalidade magenta mais claro e áreas com vegetação arbustiva e gramíneas em tons de verde-claro.

Na imagem fração sombra (Figura 1B) foram realçadas água e floresta, que apresentam tons de cinza mais claro. Neste caso, floresta foi realçada em comparação as demais formas de vegetação, devido à maior quantidade de sombra sob o dossel, diferenciando-a da vegetação onde penetra maior quantidade de luz.

As áreas de solo exposto foram bem destacadas na imagem fração solo (Figura 1C) em tons de cinza claro. Quanto mais claro o pixel na imagem maior a proporção do componente puro que está presente no pixel. Onde ocorre vegetação mais rasteira com relativa exposição de solo, foram verificados tons de cinza-médio e nas áreas com maior cobertura do solo, como no caso das florestas, tons de cinza mais escuro.

A imagem fração vegetação (Figura 1D) realçou mais a vegetação rasteira e aquelas em estágio intermediário de regeneração, com cobertura de solo mais homogênea, como as observadas na área marginal das curvas do rio na parte superior direita da imagem e em algumas regiões de borda com floresta.

A imagem resultante do NDVI gerou um arquivo com uma única banda, reduzindo a dimensionalidade dos dados e realçando as feições com vegetação, conforme pode ser verificado na Figura 2. As áreas com vegetação arbustiva e arbórea possuem tons de cinza mais claro, enquanto as áreas com exposição do solo tons de cinza-escuro. A imagem NDVI foi utilizada como um importante atributo no algoritmo árvore de decisão, auxiliando na divisão do conjunto de dados em subconjuntos mais homogêneos até a diferenciação entre as classes temáticas.

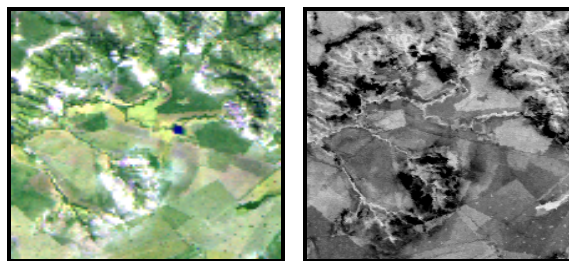


Figura 2 - Imagem Landsat TM, ano 2000, na composição colorida RGB das bandas 5, 4 e 3 (à esquerda) e imagem NDVI (à direita)

A classificação pelo algoritmo árvore de decisão foi excelente, com valor de Kappa acima de 0,84. A exatidão global foi de 88,3% e 92,1% em 1989 e 2000, respectivamente. As classes de mata, água e queimada apresentaram os melhores desempenhos, com exatidão do usuário e produtor acima de 94%. A classe de cerrado manteve-se com 82% a 88% de exatidão do produtor e a classe de solo exposto acima de 72%. As maiores variações na exatidão foram verificadas nas classes de pasto alto e pasto baixo. Em 2000, essas classes variaram de 82% a 95% de acurácia.

Após a fase de interpretação das imagens efetuou-se uma máscara com o limite da fazenda a fim de obter a classificação somente desta área. Posteriormente foi realizada uma edição sobre a classificação obtida para a fazenda a fim de melhor adequar as classes de vegetação à área em estudo.

Na classificação da fazenda para o ano de 1989 (Tabela 2) foram encontradas seis classes de vegetação. A maior área de vegetação nativa encontrada foi para a classe de floresta estacional semidecidual seguido da classe cerrado com área equivalente a 1614,41 ha e 1081,68 ha, respectivamente. Observou-se uma grande proporção de várzea (371,55ha) devido ao grande número de cursos d'água, no entanto foi detectado que grande parte destas áreas estavam demasiadamente secas, isto se deve ao fato da imagem ser do período de inverno onde a baixa na precipitação faz com que a lamina d'água diminua e estas áreas antes alagadas, fiquem expostas.

Com relação ao cultivo do solo por pastagens, encontrou-se uma grande proporção de pasto alto e pastagem degradada (2.951,8 ha e 2361,26 ha, respectivamente) este fato também se deve provavelmente com a falta de precipitação da época.

Tabela 2 - Área das fisionomias mapeadas no ano de 1989

Fisionomia	Área (m²)	Área (ha)
Cerrado	10816800	1.081,68
Floresta estacional semidecidual	16144100	1.614,41
Pastagem degradada/Solo exposto	23612600	2.361,26
Pasto baixo	23788200	2.378,82
Pasto alto	29518000	2.951,8
Várzea	3715500	371,55
Outros	119600	11,96
Área Total	107714800	10.771,48

Com relação ao mapeamento no ano de 2000 (Tabela 3), foi incluída a classe regeneração equivalente a 386,07 ha, podendo ocorrer devido a supressão da vegetação de floresta ou até mesmo pelo efeito de borda já que grande parte da vizinhança desta floresta são pastagens. Os cultivos de pastagens deixam as bordas da vegetação exposta aos efeitos bióticos e abióticos,

ocasionando em queda de árvores nas bordas e com isto o aparecimento da regeneração. Outro fator relevante é o abandono de áreas de pastagem próximo a vegetação nativa, dando lugar a espécies colonizadoras.

Tabela 3 - Área das fisionomias mapeadas no ano de 2000

Fisionomia	Área (m²)	Área (ha)
Cerrado	11672000	1.167,2
Floresta Estacional Semidecidual	11509100	1.150,91
Pastagem degradada/Solo exposto	13390000	1.339,0
Pasto baixo	57152500	5.715,25
Pasto alto	6240800	624,08
Várzea	3847500	384,75
Regeneração	3860700	386,07
Outros	42200	4,22
Área Total	107714800	10.771,48

No período não houve mudanças bruscas na área de vegetação nativa, no entanto, para as classes de pastagem houve grandes diferenças principalmente para a classe de pasto alto que diminuiu consideravelmente sua área de 2951,8 ha para 624,08 ha. Isto já era esperado visto que, a classe de pasto baixo teve um aumento proporcional a diminuição das demais classes de pastagem.

Nas duas épocas em estudo, as áreas onde hoje são talhões de eucalipto foram mapeadas em sua totalidade como pastagens, comprovando a elegibilidade da área para fins de obtenção de crédito de carbono.

O mapeamento da vegetação referente ao ano de 2000 pode ser visualizado no mapa subsequente.

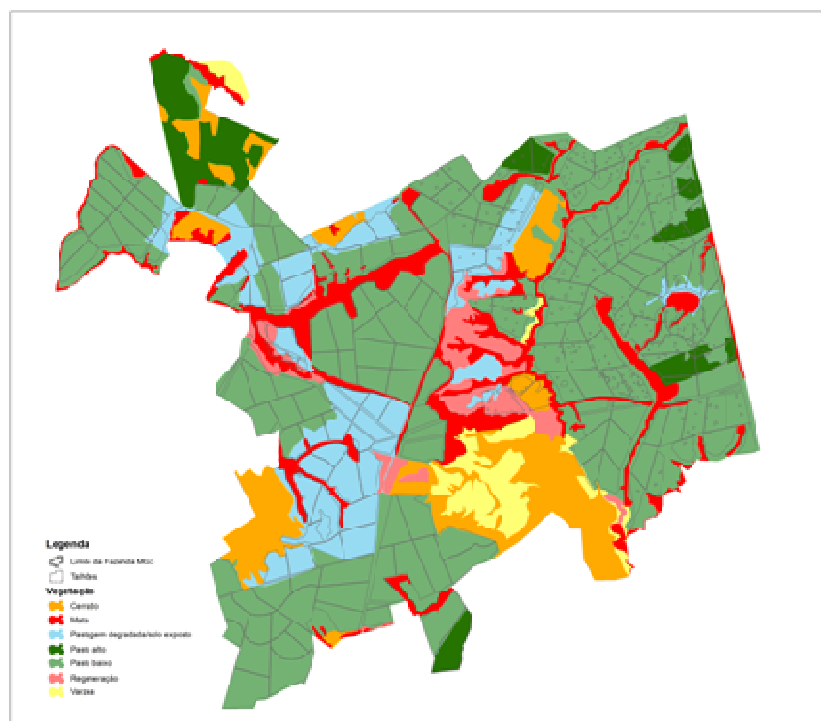


Figura 3 – Mapa da classificação da fazenda no ano 2000

4. Conclusões

As imagens Landsat e as técnicas de análise empregadas neste trabalho demonstraram ser adequadas para mapear o uso/cobertura da terra, sendo que a área de estudo atende o critério de elegibilidade de acordo com o anexo 18 do relatório EB35, UNFCCC de 19 de outubro de 2007, já que toda área hoje ocupada por eucalipto não estava reflorestada em 1989 e em 2000.

5. Referencias Bibliográficas

ESCADA, M.I.S. Evolução de padrões da terra na região centro-norte de Rondônia. 2003. 264 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento remoto) –Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

Decisão 19/CP.9 - Modalidades e procedimentos para atividades de projetos de florestamento e reflorestamento no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto. Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12920.pdf Acesso em: 15/03/2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/> Acesso em: 13/05/2007

Programa de Uso Integrado de Geoprocessamento pelo Governo de Minas Gerais – Geominas. Disponível em: <http://www.geominas.mg.gov.br/> Acesso em: 09/03/2007