

Cobertura da terra do Estado de São Paulo utilizando técnicas de sensoriamento remoto e dados do sensor MODIS

Jane Delane Verona¹
Mariane Mayumi Garcia Takeda¹
Kleber Trabaquini¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
André Lima¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{jane, takeda, kleber, yosio, andre}@dsr.inpe.br

Abstract. This paper aims to present a methodology for mapping land cover using the sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Were used the bands 1, 2 and 6 of product MOD13 (tile H13V11). The data have been redesigned and converted to then be imported into the software SPRING. The linear spectral mixture model was applied to generate fraction images for enhancing the information of land cover. Then the image segmentation by region growing, using the thresholds 8 and 4 for similarity and area, respectively was performed. Following the unsupervised classification from ISOSEG classifier was performed, testing the acceptance thresholds of 75 and 90% for each date. The evaluation was done by comparing the resulting map with the Forest Institute vegetation cover map and the CANASAT/INPE sugar cane map as the reference maps. The image edition was necessary to correct areas where there was more confusion, improving the classification. The resulting map includes the following classes: Urban, Water Bodies, the Remaining native vegetation, Forest, Sugar cane, and Other. The results showed that the MODIS sensor data can be used in monitoring and mapping land cover in the State of São Paulo, at the regional level, and can also be tested for other regions.

Palavras-chave: Remote sensing, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), Linear Spectral Mixture Model (MLME), Land cover Mapping. Sensoriamento Remoto, MODIS, Modelo Linear de Mistura Espectral, Mapeamento da cobertura da terra.

1. Introdução

O Estado de São Paulo representa a área mais desenvolvida do País, onde se encontra o principal polo industrial nacional, atraindo milhares de pessoas para este estado. Além disso, apresenta também forte participação no setor agrícola, principalmente com o cultivo da cana-de-açúcar, o qual participou na safra 2008/2009, com 60,8% da produção nacional e 68,5% da produção na região centro-sul (UNICA, 2010). Sendo notável, portanto, a importância deste estado para o Brasil, tanto no aspecto industrial como no setor agrícola.

No entanto, a ocupação urbana, a expansão da fronteira agrícola, e a exploração dos recursos naturais mudaram a paisagem de forma intensa tanto na sua composição florística quanto na sua estrutura, modificando de forma significativa a cobertura da terra nesta região. Utilizando imagens do sensor ALOS no período de 2008 a 2009, o Instituto Florestal de São Paulo (IF) obteve 17,5% ou 4.343,000 ha de cobertura vegetal nativa neste estado. Já no período de 1962 a 1963, o mesmo Instituto havia identificado 7.257,300 ha de remanescentes florestais, demonstrando, portanto, que a dinâmica de ocupação e mudanças de cobertura da terra do presente estado é bastante significativa.

Para quantificar estas mudanças, as técnicas de sensoriamento remoto juntamente com as análises de informações espaciais em ambientes de sistemas de informações geográficas tornaram possíveis a análise e o monitoramento multitemporal e espacial das mudanças ocorridas na superfície terrestre (DeFries et al., 2002).

Para tanto, o uso do sensoriamento remoto se mostra indispensável, e tem sido utilizado para diversas aplicações, tanto locais como regionais ou globais. Neste sentido, os dados de

sensores a bordo dos satélites Landsat (desde 1972), SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terra*) (1986), RADARSAT (1996) e do CBERS (1999) (*China Brazil Earth Resources Satellite*) e ainda com o lançamento da plataforma Terra em 1999, e, posteriormente, o da plataforma Aqua em maio de 2002, ambos portando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), são empregados com o objetivo de quantificar e detectar as mudanças da cobertura terrestre, como nos processos naturais e antrópicos. Estes dados auxiliam no entendimento e conhecimento das atuais mudanças, e através dos resultados, pode fornecer informações para futuros planejamentos regionais.

A partir do contexto acima, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar uma metodologia de mapeamento da cobertura da terra utilizando o sensor MODIS e a técnica do modelo linear de mistura espectral (MLME), a fim de identificar os principais usos da terra do Estado de São Paulo.

3. Área de Estudo

Localizado na região sudeste do Brasil, o Estado de São Paulo abrange uma área de 248.209 km² (IBGE, 2002) e está situado entre as coordenadas geográficas de 44° W a 54° W e 19° S a 26° S (Figura 1).

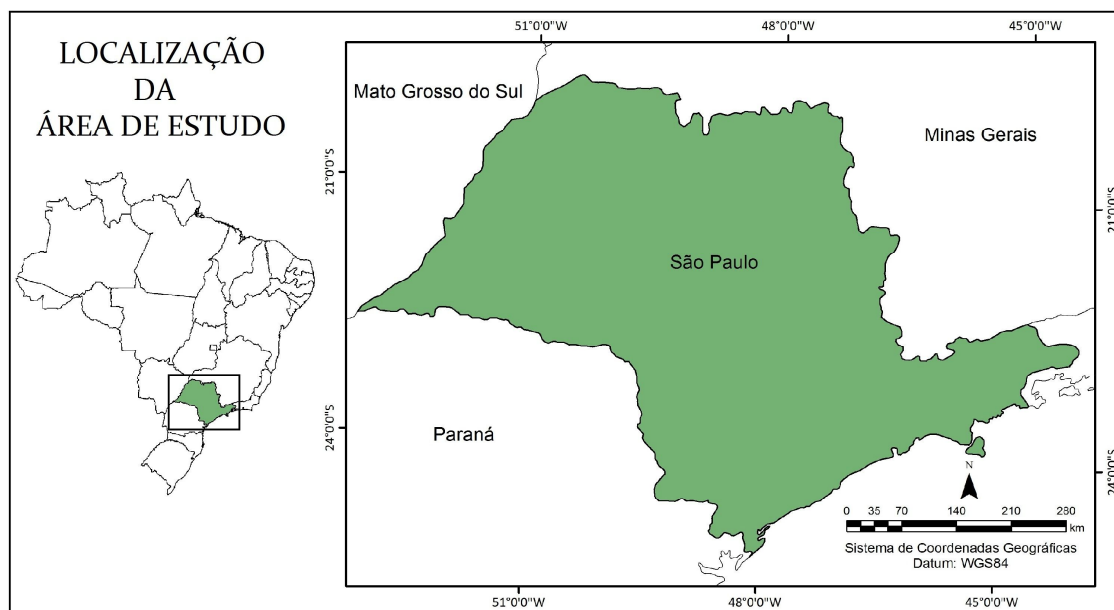


Figura 1. Localização da área de estudo: Estado de São Paulo.

Este Estado apresenta uma grande diversidade de tipos de formações vegetais, bem como, usos antrópicos, principalmente agrícolas. Além disso, há décadas nesta região vem ocorrendo uma alta taxa na conversão da cobertura vegetal, devido à utilização da agricultura mecanizada, em especial a cana-de-açúcar, bem como o desmatamento e queimadas nas áreas de floresta. Neste contexto, o Estado de São Paulo mostra-se extremamente interessante para os fins deste estudo.

4. Materiais

4.1. O sensor MODIS

A parceria com as agências aeroespaciais do Canadá e Japão resultou no lançamento da plataforma orbital Terra em 18 de dezembro de 1999, como parte do programa da NASA

(National Aeronautics and Space Administration) denominado Earth Observing System (EOS). A bordo desta plataforma encontra-se, entre outros, o sensor MODIS, que oferece uma base sistemática de dados na elaboração de produtos sobre as interações entre atmosfera, terra e oceano. Sua utilização está associada na medição de propriedades das nuvens, fluxo de energia radiante, propriedades dos aerossóis, mudanças no uso e cobertura das terras, queimadas e atividades vulcânicas, entre outras. (EMBRAPA, 2009).

O sensor MODIS opera em 36 canais espectrais em comprimentos de onda que variam de 400 a 14400 nm e resolução espacial que varia de 250 a 1.000 metros. Além do satélite Terra, o MODIS está a bordo também do satélite Aqua, que foi lançado em 2002, estes juntos, conseguem adquirir imagens do planeta Terra de 1 a 2 dias.

As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm e 2155 nm, de forma que as bandas 1-7 estão direcionadas para as aplicações terrestres (Tabela 1); as bandas 8-16 para as observações oceânicas e as bandas 17-19 para as medições atmosféricas. As bandas 20-36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660 nm a 14385 nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Justice et al., 2002).

Tabela 1. Principais características do sensor MODIS para aplicações terrestres.

Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica	Área Imageada
1	620-670 nm	250 m	1 a 2 dias	12 bits	2330 x 5000 km
2	841-876 nm				
3	459-479 nm	500 m	1 a 2 dias	12 bits	2330 x 5000 km
4	545-565 nm				
5	1230-1250 nm				
6	1628-1652 nm				
7	2105-2155 nm				

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2009).

Para alcançar os objetivos propostos foram utilizadas imagens multitemporais de um produto do sensor MODIS, o MOD13 (Índices de Vegetação MODIS). O produto MOD13 se refere às imagens índices de vegetação (NDVI e EVI), incluindo as bandas utilizadas para a geração destes índices: vermelho, infravermelho próximo, além de uma banda localizada na faixa do infravermelho médio (banda 6). O algoritmo de geração do produto índice de vegetação (MOD13) é baseado nos dados de refletância da superfície (MOD09), e a composição temporária destes dados gera um produto cujo período de imageamento é de 16 dias (Vermote et al., 2002).

5. Metodologia

5.1 Imagens MODIS

As imagens MODIS foram adquiridas gratuitamente através do site <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>. Foram utilizadas as cenas de 18/02/2009 e 28/07/2009. Essas imagens, originalmente na projeção sinusoidal contínua e em formato HDF (*Hierarchy Data Format*) foram convertidas para a projeção Lat/Long e formato Geotiff 16 bits através do programa MRT (*MODIS Reprojection Tool*). Este programa foi desenvolvido para reprojeter os dados para projeções mais usuais, reamostrar os dados para outras resoluções espaciais, mosaicar, recortar e alterar o formato dos dados, como para Geotiff e binários.

O modelo da terra adotado nesta pesquisa foi o WGS-84. A escolha da projeção Lat/Long teve o intuito de fornecer a resolução espacial do *pixel* em graus, pois efetuando a simples

conversão, tem-se que 250m equivale aproximadamente a 0,0022496°, considerando que a distância de cada grau é 60nm.

O aplicativo ConvGeotiff (Arai et al., 2005) desenvolvido pelo INPE, foi utilizado para converter os dados MODIS disponíveis em 16 bits para 8 bits, para que desta forma possam ser processados pelo programa SPRING 4.3.3, o qual foi utilizado para a aplicação do modelo linear de mistura espectral nas imagens MODIS.

5.2 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

O modelo linear de mistura espectral (MLME) consiste em estimar a proporção de cada tipo de cobertura do terreno em cada elemento de imagem (*pixel*) da cena em questão. Para tanto, o MLME fundamenta-se no pressuposto de que a resposta espectral de um *pixel*, numa banda qualquer (bandas 1, 2,...n) é a combinação linear dos diversos materiais contidos na superfície. Portanto, para qualquer imagem (multiespectral ou hiperspectral), conhecendo-se as respostas espectrais dos componentes, as proporções destes podem ser estimadas de forma individual por meio da geração de imagens fração (Shimabukuro e Smith, 1991).

O modelo linear de mistura espectral pode ser através da Equação 1:

$$r_i = a \times vege_i + b \times solo_i + c \times \acute{a}gua_i + e_i \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

r_i é a resposta do *pixel* na banda i ;

a é a proporção de vegetação;

b é a proporção de solo;

c é a proporção de sombra ou água;

$vege_i$ é a resposta espectral do componente vegetação na banda i ;

$solo_i$ é a resposta espectral do componente solo na banda i ;

$\acute{a}gua_i$ é a resposta espectral do componente sombra ou água na banda i ;

e_i é o erro na banda i ; e o índice i são as bandas do sensor (Shimabukuro et al., 1998).

O MLME foi então aplicado utilizando-se as bandas 1 (620 - 670 nm), 2 (841 - 876 nm) e 6 (1628 - 1652 nm) do sensor MODIS. Com a imagem de 18/02/2009, obtiveram-se as áreas urbanas através da fração solo, e os corpos d'água por meio da fração sombra, esta data foi a que melhor realçou a diferença entre vegetação e solo, por se apresentar bem vegetada (período chuvoso). A imagem de 28/07/2009 através da fração solo, data que melhor discriminou as classes, obteve-se: Vegetação nativa remanescente; Reflorestamento; Cana-de-açúcar e Outros usos, onde se estão incluídas as áreas como pastagem, solo exposto e outros cultivos agrícolas.

5.3 Segmentação e Classificação de Imagens

A classificação por *pixel* é o procedimento convencional mais utilizado para análise digital de imagens. Constitui um processo de análise de *pixels* de forma isolada. Essa abordagem implica na análise pontual ser baseada unicamente em atributos espectrais.

Para superar essas limitações, propõe-se o uso do processo de segmentação de imagem, anterior à fase de classificação, onde são extraídos os objetos relevantes para a aplicação desejada (Schowengerdt, 1997).

No processo de segmentação, a imagem é dividida em regiões que devem corresponder às áreas de interesse de aplicação. Entende-se por regiões, um conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade espectral.

Para se efetuar a segmentação de imagens por crescimento de regiões (implementado no programa SPRING) é necessário se estabelecer dois limiares: 1) limiar de similaridade – o

qual corresponde à distância Euclidiana entre as médias de duas regiões e 2) limiar de área – que se refere a área mínima a ser considerada como uma região, baseado no número de *pixels*. Para elaboração deste trabalho, o limiar de similaridade usado foi 8, escolhido após vários testes. Já o limiar de área utilizado foi igual a 4, no qual entende-se que a área mínima na segmentação corresponde a 25 ha no terreno.

O classificador ISOSEG empregado nesta pesquisa está implementado no programa SPRING. É um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionado, aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média e matriz de covariância, e também pela área (INPE, 2010). Foram testados para este classificador os limiares para a aceitação de cada classe de 75 e 90%. Apenas para os temas específicos água e urbano utilizou-se o limiar de 99,9%.

5.4 Avaliação da acurácia do mapeamento de cobertura

Apesar da evolução de sofisticados sistemas computacionais proporcionarem um significativo ganho de tempo na geração de dados da superfície terrestres e sua cobertura, através de algoritmos de classificação automática, por exemplo, seu desempenho ainda encontra-se fortemente dependente de características da área estudada como relevo, diversidade e tamanho de fragmentos da cobertura vegetal, uma vez que a análise digital se baseia, quase exclusivamente, na intensidade radiométrica de cada *pixel* das bandas utilizadas na interpretação (Chuvieco, 1990).

A análise visual apresenta a vantagem de incorporar elementos de reconhecimento bem mais complexos que a simples análise do valor digital do *pixel* na imagem. Informações adicionais sobre a cobertura vegetal, como aquelas inferidas pelas tradicionais técnicas de fotointerpretação visual, continuam sendo de grande valia, por exemplo, na definição de amostras de treinamento dos algoritmos de classificação automática (Bernardes et al., 2007).

Assim, nesta pesquisa, após a realização de todas as classificações, iniciou-se a avaliação das classes mapeadas, sendo realizada a edição matricial das mesmas. Para a realização deste procedimento utilizou-se o mapa final gerado por esta metodologia sobreposto sob o mapa de cana-de-açúcar, safra 2008/2009 gerado pelo projeto CANASAT/INPE (Ruddorf et al., 2010) e o mapa de remanescentes florestais e reflorestamento (Eucaliptos e Pinus) de 2009, gerado pelo Instituto Florestal de São Paulo (IF, 2010) Ambos projetos utilizaram imagens do satélite Landsat-5 TM com resolução espacial de 30 m. Após esta etapa então, calculou-se a área mapeada em cada tema, comparando-se com os mapas de referência.

6. Resultados e Discussão

Através dos dados MODIS foi possível obter o mapeamento das seguintes classes de uso da terra: Cana-de-açúcar; Vegetação nativa remanescente; Mancha urbana; Corpos d'água e Outros usos. A classe “Outros usos” inclui áreas como pastagem, solo exposto e outros cultivos agrícolas (Figura 2).

A classe “Corpos d'água” foi facilmente realçada através da fração sombra, totalizando 5.675 km². Já a classe “Cana-de-açúcar” foi bem evidenciada na região norte do estado, porém sua área total foi superestimada pelo sensor MODIS, com 59.376 km², quando comparada aos dados do projeto CANASAT/INPE, o qual apresenta 48.977 km². Esta incompatibilidade pode ser justificada pela resolução espacial de 250 m, ou 6,25 ha, do sensor MODIS, já que os dados de referência são produzidos a partir de sensores com 30 m de resolução espacial ou seja 0,09 ha, o que possibilita menor confusão com outros alvos agrícolas ou florestais (Tabela 2).

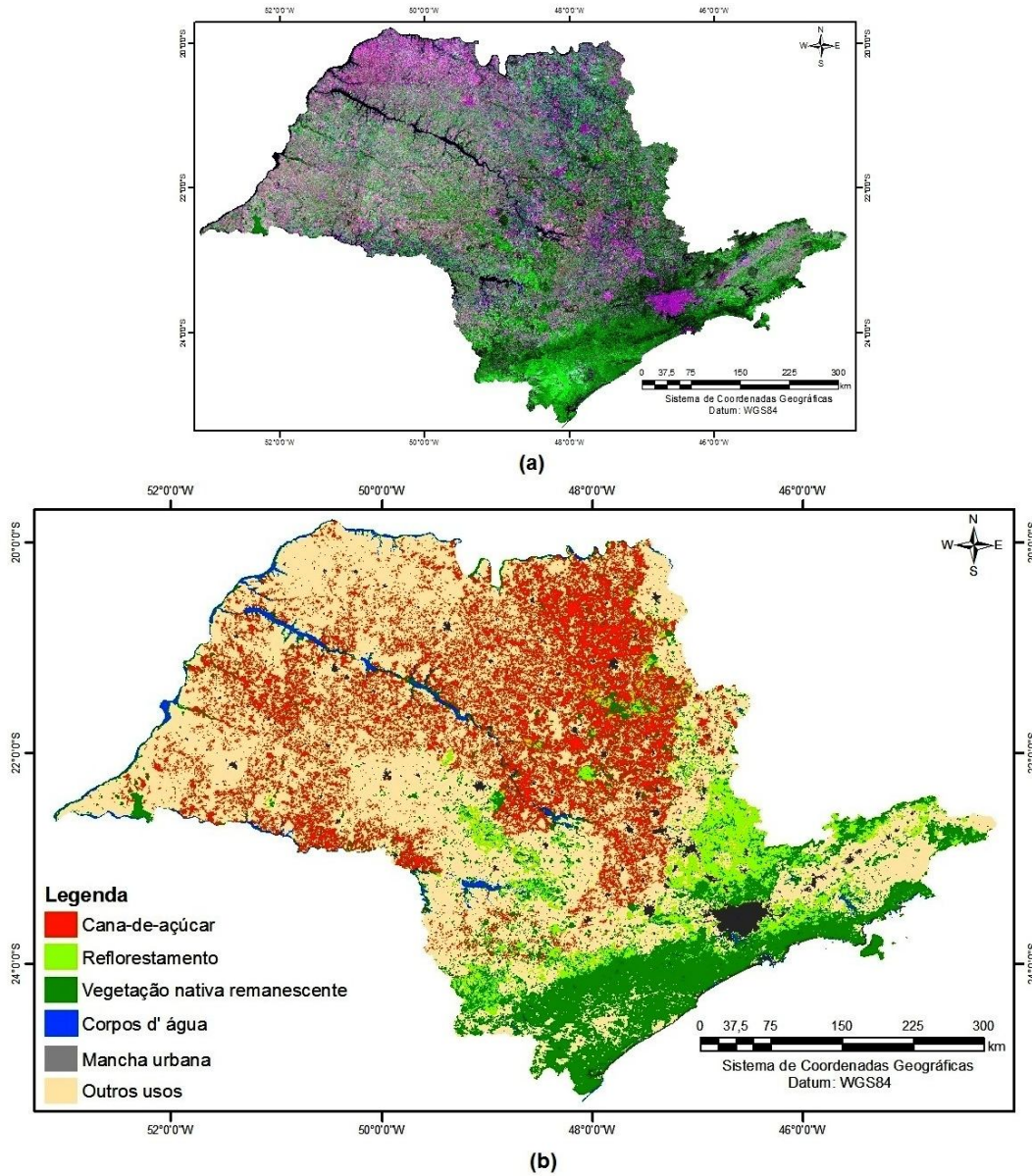


Figura 2. (a) Imagem do sensor MODIS, produto MOD13 na composição 1(B) 2(G) 6(R) de 28/07/2009. (b) Cobertura da terra do Estado de São Paulo, com as principais classes temáticas.

Já a classe “Vegetação nativa remanescente” proveniente da classificação da imagem fração vegetação, apresentou uma diferença de 5.785 km² com os dados do mapa de referência produzido pelo Instituto Florestal de São Paulo, essa diferença pode ser ocasionada devido as diferenças de resolução espacial de ambos sensores imageadores. O mapa do Instituto Florestal é resultante dos dados fornecidos pelo satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), o qual possui uma resolução espacial de 10m, ou seja, permite melhor distinção entre os alvos.

Tabela 2. Classes temáticas segundo os principais usos da terra no Estado de São Paulo para o ano de 2009.

Classes de uso da terra	MODIS (km ²)	Dados de referência
Cana-de-açúcar	59.376	48.977 (CANASAT)
Vegetação nativa remanescente	37.644	43.430 (IF-SP)
Reflorestamento	16.839	-
Mancha urbana	5.675	-
Corpos d'água	5.423	-
Outros usos	144.489	-
Total	269.446	

A classe “Reflorestamento” apresentou confusão espectral com a classe “Cana-de-açúcar”, por isso para adequação de sua distribuição, foi necessário o emprego da edição matricial. Para este procedimento a interpretação visual foi essencial, sendo as correções efetuadas com base no mapa de reflorestamento (Pinus e Eucalipto) do ano de 2009 disponibilizado pelo Instituto Florestal de São Paulo.

7. Conclusões

Pode-se considerar que os dados oferecidos pelo sensor MODIS são fundamentais quando aplicadas em grandes superfícies terrestres, por se tratar principalmente da sua alta resolução temporal e elevado grau de pré-processamento, como correção atmosférica e georreferenciamento. No entanto o refinamento dos resultados se configura como etapa fundamental neste processo. O mapeamento da cobertura do estado de São Paulo, apresentado neste trabalho, mostrou grande similaridade com os dados de referências utilizados, quando visualmente comparados.

Agradecimentos

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); às agências de fomento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ao Instituto Florestal de São Paulo (IF-SP), e ao projeto CANASAT/INPE pelo fornecimento de dados para realização desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

- 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, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3983-3990. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.12.49/doc/3983.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2010.
- Bernardes, T.; Alves H. M. R; Vieira, T. G.C.; Andrade, H. Avaliação da acurácia do mapeamento do uso da terra no complexo Serra Negra, Patrocínio, MG, por interpretação visual e classificação automática de imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 5587-5594. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.10.39/doc/5587-5594.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2010.
- Chuvieco, E. **Fundamentos de teledetection espacial**. Madrid: Unigraf, 1990. 453 p.
- 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.

Embrapa monitoramento por satélite. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2009. Disponível em: <<http://www.sat.cnpem.br>>. Acesso em: 5 nov. 2010.

INPE. Departamento de Processamento de Imagens. **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - Spring**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.html>. Acesso em: 30 out. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução nº 05, de 10 de outubro de 2002**. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/cartografia/areaterritorial/pdf/areas_2001_35.pdf. Acesso em: 01 nov.2010.

Instituto Florestal. **Inventário florestal do Estado de São Paulo**. Instituto Florestal, São Paulo. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/sifesp/inventario.html>>. Acesso em: 24 out 2010.

Justice, C.O.; Giglio, B.; Korontzi, S.; Owens, J.; Morisette, J.T.; Roy, D.P.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, v.83, p.244-262, 2002.

Rudorff, B.F.T., Aguiar, D.A., Silva, W.F., Sugawara, L.M., Adami, M., Moreira, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. *Remote Sensing*. 2010; 2(4):1057-1076. doi: <10.3390/rs2041057>.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensing - models and methods for image processing**. Tucson - USA: Academic Press, 1997. 522 p.

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 Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Strahler, A; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; Moody, A. MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD). **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, p. 1254-1269, 1999.

UNICA - União da Agroindústria Canavieira de São Paulo. **Processamento de cana no Brasil**. Dados e Cotações-Estatísticas. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>. Acesso em 6 nov. 2010.

Vermote, E.; El Saleous, N.; Justice, C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 97-111, 2002.