

Mapeamento de uso da terra na região Centro-Sul do Paraná com imagem CBERS a partir da técnica de modelo linear de mistura espectral.

Emerson Luiz Servello¹
Attilio Antonio Disperati¹
Ana Lia de Barros Lopes²
João Roberto dos Santos²
Paulo Costa de Oliveira Filho¹

¹ Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO
Caixa Postal 21 – 84500 000 - Irati - Pr, Brasil
elservello@gmail.com; disperati@avalon.sul.com.br, paulocostafh@irati.unicentro.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{analia; jroberto}@ltid.inpe.br

Abstract. The purpose of this study is to elaborate a land use map of an area located in central-south part of Paraná State, Brazil, using a methodological approach based on linear mixture model, segmentation and supervised classification (Bhattacharya). The study area is located in araucaria forest environment. The image used was generated by the CCD sensor on CBERS II and processed by SPRING software. The final classification map ($\kappa = 0,6675$) has eight classes, showing that near 32% of the study area is covered by a forest with different levels of natural succession.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, processamento de imagem, modelo linear de mistura, CBERS, floresta com Araucária, remote sensing, image processing, linear mixture model, CBERS, Araucarian forest.

1. Introdução

O Estado do Paraná tem sofrido uma substancial alteração de paisagem desde o início do século XX. No início, 83,4% de sua área era recoberta por florestas, enquanto que atualmente a cobertura florestal natural é inferior a 5% (Dias, 1998). As florestas desapareceram, dando lugar à agricultura, pastagens, áreas urbanas, entre outras formas de ocupação, tornando as florestas, alvo de intensa fiscalização por parte de técnicos municipais, do governo estadual e federal. Assim, é importante a disponibilidade de mapas de uso do solo, seja para todo o Estado ou de alcance regional, com ênfase maior no mapeamento dos fragmentos florestais, constituindo uma importante ferramenta de gestão regional.

O sensoriamento remoto permite observar as variações de resposta espectral em relação aos diferentes elementos que compõe a imagem, classificando e quantificando feições naturais ou submetidos à ação antrópica, constituindo informações importantes na elaboração de estratégias municipais e/ou regionais. As técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas na caracterização do uso do solo em diversos ecossistemas brasileiros, como na Mata Atlântica por Freitas e Cruz (2005), no Pantanal por Shimabukuro et al. (1998), no Cerrado por Coutinho (1997); e na Floresta Amazônica por Vasconcelos et al. (2006).

Entre as diversas técnicas de tratamento de imagens pode-se destacar o modelo linear de mistura espectral, a segmentação por regiões e a classificação supervisionada. O modelo linear de mistura espectral visa estimar a proporção das componentes solo, vegetação e sombra, para cada *pixel*, a partir da resposta espectral nas diversas bandas espectrais, gerando assim imagens sintéticas dessas frações (Shimabukuro e Smith, 1991).

Por sua vez, a segmentação por regiões caracteriza-se por uma técnica que visa facilitar a interpretação de imagens, tendo por base delimitar regiões contíguas compostas por *pixels*

com atributos espectrais similares, obedecendo a certos limiares pré-estabelecidos de similaridade e de área (Moreira, 2001); como a estratificação da imagem faz uso, no presente caso, da técnica de segmentação, adotou-se para o mapeamento, uma abordagem classificatória supervisionada, aproveitando o conhecimento dos polígonos traçados para associar com classes temáticas de acordo com amostras previamente selecionadas pelo usuário. Posteriormente, todos os *pixels* agrupados numa dada região, de características similares, são mapeados para uma mesma classe temática.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é a caracterização de uso e cobertura da terra de uma parte da região Centro-Sul do Paraná, sob domínio da Floresta Ombrófila Mista (FOM), a partir de técnicas que integram conhecimentos derivados do modelo linear de mistura espectral, de segmentação de imagem sintética e de um classificador baseado na distância Bhattacharya.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

A área de estudos localiza-se na Região Centro-Sul do Estado do Paraná compreendida entre os paralelos 25°15' e 25°30' S e meridianos 50°30' e 50°45' W, constituindo uma área aproximada de 70.000 hectares e abrangendo parte dos Municípios de Fernandes Pinheiro, Imbituva, Irati e Prudentópolis, com a seguinte porcentagem de área: 48%, 29%, 18% e 5%, respectivamente. A área coincide com a folha DSG 1:50000 Irati (SG.22-X-C-I-4).

A região Centro-Sul caracteriza-se por ser uma região de relevo acidentado, hidrologicamente rica, destacando o Rio Imbituvão, Rio das Antas e o Rio dos Patos, pertencentes à Bacia do Rio Tibagi. O clima, segundo Köepen, é do tipo Cfb (temperado), com geadas frequentes no inverno e precipitações distribuídas ao longo do ano. As temperaturas oscilam entre uma média máxima de 24°C e uma média mínima de 11°C, a precipitação pluviométrica e a humidade relativa média mensal são de 194 mm e 80% respectivamente.

A economia baseia-se na produção agrícola (soja, milho, batata, cebola), pecuária (avicultura, suinocultura e gado leiteiro), indústria e prestação de serviços. De uma maneira geral, a estrutura fundiária predominante é de pequenas propriedades. Está presente, na parte central da área de estudo a Floresta Nacional de Irati, uma Unidade de Conservação (UC) pertencente ao SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Esta UC com 3.495 ha, dos quais cerca de 1.300 hectares de um fragmento de FOM importante para a manutenção da vida e desenvolvimento sustentável na região e cerca de 1.300 hectares de reflorestamento de *Pinus sp.*, além do seu entorno, onde verifica-se a ocorrência de extensas áreas agrícolas mecanizadas.

2.2. Processamento da imagem

Utilizou-se uma imagem do sensor CCD (*Charge-Coupled Device*), a bordo do satélite CBERS II (Satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto), de órbita-ponto 158/128 datada de 21/11/2005. Essa mesma foi recortada no *software* Impima 4.3, nas coordenadas de saída indicadas na **Tabela 1**, e registrada no *software* SPRING 4.3, com uma imagem Landsat TM *geocover*, disponível para *download* gratuito no site da NASA (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>).

Tabela 1: Coordenadas de saída X e Y do módulo utilizado.

	X(px)	Y(px)
1	2433	2633
2	6249	6433

Inicialmente, a imagem digital, nas bandas verde, vermelho e infravermelho próximo, foi tratada utilizando o modelo linear de mistura espectral, de acordo com a equação:

$$r_i = a \cdot \text{vege}_i + b \cdot \text{solo}_i + c \cdot \text{sombra}_i + e_i$$

onde r_i é a resposta do pixel na banda i do CCD/CBERS-2; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água); e_i é o erro na banda i .

Nesse modelo as bandas do CCD/CBERS-2 formaram um sistema de equações lineares, que foram resolvidas através do método dos Mínimos Quadrados Ponderado (Shimabukuro e Smith, 1991).

No presente trabalho foi utilizada somente a imagem fração-sombra, após uma análise das outras imagens-componentes, pois essa imagem sintética proporciona um grande contraste entre áreas florestadas (de média quantidade de sombras), daquelas de áreas com pouca cobertura vegetal (baixa quantidade de sombras), o que facilita em alguns casos, uma melhor capacidade de discriminação temática.

Essa imagem-fração sombra foi realçada aplicando-se um contraste linear, sendo posteriormente, submetida ao processo de segmentação por crescimento de regiões para agrupar, de acordo com os limiares pré-definidos de similaridade e de área, os *pixels* com valores de proporções semelhantes. Foram testados diferentes limiares com base nos trabalhos de Freitas e Cruz (2005), Vasconcelos et al (2006), Shimabukuro et al (2006) e, a partir destes, outros valores pela complexidade temática dessa região, variando para similaridade de 8 a 15, e área de 10 a 50.

Cada segmentação efetuada era comparada visualmente com a composição colorida da imagem, utilizada até o momento como a única expressão da verdade terrestre. Obtida a melhor segmentação, aplicou-se a classificação supervisionada com o objetivo de categorizar as classes de uso da terra (Adami et al. 2002). O classificador utilizado emprega a distância Bhattacharya, o qual utiliza amostras de treinamento para estimar a função de probabilidade para as classes consideradas, calculando a distância média de probabilidade entre duas classes, e por ferramentas estatísticas para gerar a classificação final. Para a classificação supervisionada foi escolhido um limiar de aceitação de 95%. Num primeiro momento do procedimento automatizado foram definidas oito classes de uso do solo, com 30 a 50 áreas de treinamento para cada classe, enfatizando a representatividade da paisagem (**Tabela 2**).

Tabela 2. Relação entre classes geradas no *software* através das amostras de treinamento e classes reais (com base em informações de campo).

Classe gerada	Classe real
Solo I	Solo para uso agrícola em pousio (arenoso/folhelho)
Solo II	Solo para uso agrícola em pousio (solo avermelhado)
Pastagem I	Área de pastagem
Pastagem II	Pastagem Suja
Agricultura	Agricultura
Floresta I	Floresta em estágio secundário de sucessão
Floresta II	Floresta em estágio avançado de sucessão (incluindo reflorestamentos adultos)
Corpos d'água	Alagados

Num segundo momento do procedimento metodológico, houve a realização de um trabalho para a precisa definição tipológica das variações tidas na paisagem, inclusive para apoiar o estabelecimento das unidades amostrais de teste, importantes ao processo de avaliação do desempenho classificatório. Nessa fase de campo contou-se com o auxílio de uma carta-imagem sobre a qual foi inserida uma base cartográfica digitalizada, extraída do mapa topográfico do DSG 1:50.000 (rios, estradas principais e secundárias, linha férrea e contorno das áreas urbanas), a imagem em composição colorida 3R 4G 2B do CCD/CBERS-2, para facilitar a visualização dos temas, um receptor GPS de navegação modelo Garmin 12 para orientar o acesso aos pontos amostrais, os quais tiveram também seu uso do solo registrado fotograficamente.

Para validar a exatidão da classificação, partiu-se da matriz de classificação para calcular o índice Kappa (Moreira, 2001; Freitas e Cruz, 2005), que traduz uma medida de concordância que define o grau de dependência entre duas classificações, sendo um parâmetro quantitativo de desempenho.

3. Resultados e discussão:

Na análise das segmentações geradas sobre a imagem-fração sombra (**Figura 1**) decorrentes das variações dos limiares de similaridade e de área, foi estabelecido que os valores 10 e 25, respectivamente, foram os mais adequados para refletir os contornos e a variabilidade temática encontradas na área investigada. Em alguns locais da imagem segmentada verificaram-se segmentos que englobavam diferentes classes de uso do solo, tendo como possíveis causas a estrutura fundiária regional (pequenas propriedades) e a ocorrência de áreas sombreadas provenientes da geometria de visada e do ângulo de iluminação solar no momento de captura da imagem associados ao relevo do terreno. Em seguida, sobre a imagem segmentada escolhida, foi efetuada a classificação supervisionada por regiões.

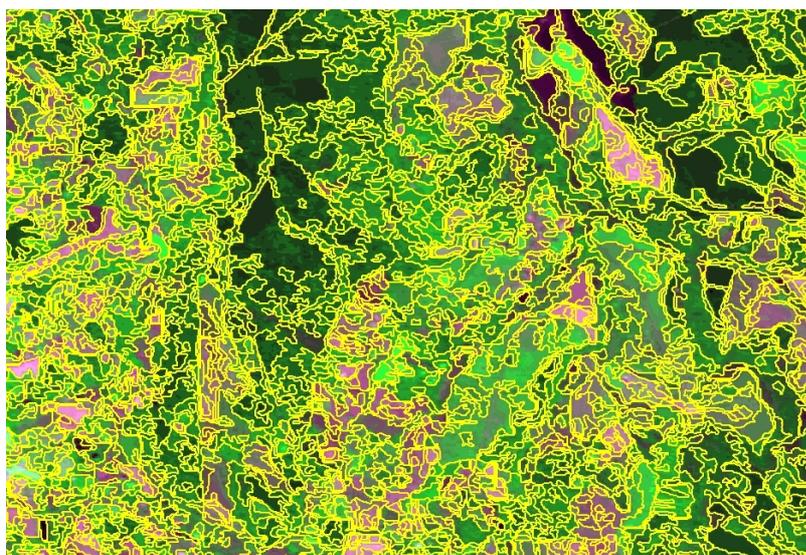


Figura 1. Segmentação de imagem fração-sombra da região de Centro-Sul, sobre a composição colorida 3R 4G 2B.

A **tabela 3** expressa a matriz de classificação resultante do processamento supervisionado, apresentando uma relação entre os pontos amostrados e os valores reais em campo.

Tabela 3. Matriz de classificação dos pontos amostrados.

Classes	total de pontos	Sol I	Sol II	Past I	Past II	Agri	Flo I	Flo II	Corpos d'água
(Imagem fração)	(Pontos amostrados em campo)								
Sol I	11	6	1	2	0	2	0	0	0
Sol II	10	0	7	0	1	1	1	0	0
Past I	12	1	1	8	0	2	0	0	0
Past II	13	0	1	0	9	1	2	0	0
Agri	10	0	2	2	0	6	0	0	0
Flo I	20	0	0	0	2	1	16	1	0
Flo II	17	0	0	0	1	0	1	13	2
Corpos d'água	11	0	0	0	0	0	0	2	9
Total	104								

Na matriz de classificação, as duas classes florestais apresentaram um bom resultado, sendo de 80% de acerto para a classe Floresta I e 76,4% para a Classe Floresta II. Foram observadas variações na estrutura florestal dessas áreas amostradas, as quais não foram consideradas primárias devido à antropização em tempos passados. Desta forma, se apresentam em estágios sucessionais intermediário ou avançado, não sendo possível um maior nível de separabilidade entre as classes.

Um outro ponto que pode ser também percebido, diz respeito a alguns polígonos florestados em zonas limítrofes aos corpos d'água, que se apresentaram não tão definidos em seus contornos, talvez devido ao valor de limiar de área, ocasionando uma mescla de representações, caso da classe FLO II. Áreas agrícolas, pastagens, e de solos em pousio, demonstraram certa confusão entre classes de uso da terra. Isto porque as variações encontradas dependem do estágio das culturas implantadas, do tempo de pousio e da camada herbácea que se estabelece no solo, da qualidade da pastagem e da presença de invasoras, do

resto de material após a fase de colheita, sem contar ainda a questão da variabilidade na tipologia dos solos e suas condições de uso.

A última etapa da avaliação quantitativa da classificação foi o confronto entre os resultados obtidos na matriz através da estatística Kappa. A análise Kappa gerou valores de 0,51 a 0,66 para as classes de uso da terra como solo em pousio, agricultura e pastagem. As classes de florestas em estágio primário e avançado, e corpos d'água obtiveram índice Kappa entre 0,70 e 0,80, conceitualmente de desempenho muito bom. O valor Kappa obtido para toda a classificação foi de **0,6675**, com variância de **0,0025867**; portanto, a relação existente entre a classificação derivada da imagem-fração sombra do CCD/CBERS-2 e a verdade terrestre, pode ser considerada perfeitamente adequada. Isto mostra que o procedimento metodológico adotado tem potencialidade para tratar do delineamento temático dessa região sob domínio da Floresta Ombrófila Mista e da dinâmica de transformação da paisagem decorrente da atividades humana.

Complementarmente, para contornar certas imperfeições apresentadas pela classificação e, fazendo uso da experiência do intérprete e do trabalho de campo, realizou-se posteriormente a edição de alguns polígonos, de forma a enriquecer ainda mais o delineamento temático e a acurácia do produto gerado.

A **figura 2** ilustra a composição colorida do CBERS II e a resultante imagem classificada e editada.



Figura 2. Composição colorida e imagem classificada

Uma vez estabelecido o mapeamento temático, pode-se notar na **Tabela 4** os valores que cada classe ocupa na área investigada. Dos 70.000 hectares investigados com os dados CBERS-2, pode-se perceber que as áreas florestadas ocupam 32,61%, representados por alguns poucos maciços como a FLONA de Irati, por estreitas faixas ainda preservadas ao longo dos cursos d'água e dispersos fragmentos de pequenas dimensões. Essa quantidade de florestas existentes na área investigada é expressiva quando comparada à cobertura florestal do Estado.

Tabela 4. Área dos temas identificados através da imagem-fração sombra.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Solo para uso agrícola em pousio (arenoso/folhelho)	1799,64	2,58
Solo para uso agrícola em pousio (solo avermelhado)	16116,64	23,1
Pastagem	2271,44	3,26
Pastagem Suja	3404,48	4,88
Agricultura	21788,68	31,24
Floresta em estágio secundário de sucessão (capoira)	17846,28	25,59
Floresta em estágio avançado de sucessão	4895,04	7,02
Corpos d'água	1627,80	2,33
Área total do módulo/área total classificada	69750,00	100
Área total sem classificação	00,00	0,00

4. Considerações finais:

A utilização dessa abordagem metodológica que integra a técnica de modelo linear de mistura espectral, de segmentação e de classificação supervisionada viabilizou o conhecimento espacializado do uso e cobertura atual da terra nessa região, sob domínio da Floresta Ombrófila Mista. Isso permite demonstrar a capacidade do produto e de técnicas de extração de informações sensoriadas como suporte no estudo do monitoramento da dinâmica do espaço físico e como subsídio ao planejamento regional de ocupação racional da terra. Em se tratando de visualizar o emprego das imagens orbitais, no caso do CBERS-2, no mapeamento dos remanescentes florestais, quer seja para estudos de conservação da biodiversidade, da manutenção do potencial hídrico perante o processo de lixiviação dos sedimentos, ou mesmo para indicar a recomposição florestal em áreas degradadas ou em atendimento ao código florestal, pode-se afirmar a sua capacidade como ferramenta de diagnóstico e modelagem do meio físico.

Referências bibliográficas.

Adami, M.; Pinheiro, E. da S.; Moreira, M. A. “Aplicação de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/Landsat-7 no mapeamento agrícola”. São José dos Campos. Inpe. 2002. 40p.

Coutinho, A. C. “Segmentação e Classificação de imagens Landsat-TM para o mapeamento dos usos da terra na região de Campinas, SP”. Dissertação. São Paulo. USP. 1997. 145p.

Dias M. C. “Composição florística e fitossociologia do componente arbóreo das florestas ciliares do rio iapó, na bacia do Rio Tibagi, Tibagi, Pr”. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 21. n. 2. São Paulo. ago. 1998

Moreira, M. A. “Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação”. São José dos Campos-SP. 2001. 250p.

Richter, M. et al. “O uso de produtos de sensoriamento remoto como suporte ao planejamento e a gestão do parque nacional do Itatiaia”. Rio de Janeiro. UFRJ. Disponível em http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/248-SR29.pdf. Acessado em julho de 2006.

Shimabukuro, Y. S.; Novo, E. M.; Ponzoni, F. J. “Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal”. Brasília-DF. **Pesquisa agropecuária brasileira**. V.33. out-1998. p.1729-1737, Número Especial.

Shimabukuro, Y. S, et al, “Levantamento de áreas desflorestadas na Amazônia através de processamento digital de imagens orbitais”. Disponível em <http://www.ufrj.br/institutos/if/revista/pdf/p0038.pdf>, acessado em julho de 2006.

Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A. The least-squares 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

NASA. *National Aeronautics And Space Administration* Disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/> acessado em julho de 2006.

Vasconcelos, C. H.; Novo, E. M. L. de M. “Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagem-fração solo, sombra e vegetação derivados do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat-5, na região do reservatório do Tucuruí-PA”. São José dos Campos. INPE. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672004000300014 . Acessado em julho de 2006.