
LEVANTAMENTO DE ÁREAS DESFLORESTADAS NA
AMAZÔNIA ATRAVÉS DE PROCESSAMENTO DIGI-
TAL DE IMAGENS ORBITAIS

YOSIO E. SHIMABUKURO
PhD, Eng. Florestal, DSR-INPE
VALDETE DUARTE
Mestre, Eng. Agrônomo, DSR-INPE
JOÃO ROBERTO DOS SANTOS
Dr, Eng. Florestal, DSR-INPE
ELIANA M. K. MELLO
ESP, Eng. Cartógrafa, DSR-INPE
JOSÉ CARLOS MOREIRA
Bs, Ciência de Computação, DPI-INPE

R E S U M O

Este trabalho apresenta a seqüência metodológica para identificar e mapear as áreas desflorestadas, na Amazônia, através de processamento digital de imagens do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat. O modelo linear de mistura espectral foi utilizado para a geração das imagens fração vegetação, solo e sombra a partir das bandas originais das imagens TM adquiridas em 1997 e 1998. Um exemplo desta abordagem é apresentado em área no estado de Rondônia, característica da ocupação humana na forma de espinha de peixe. A imagem fração sombra de 1997 é utilizada para o mapeamento da extensão do desflorestamento (incluindo tanto as áreas recém desflorestadas, bem como as áreas de pastagem e áreas em processo de regeneração). Este mapeamento é feito através da utilização do algoritmo de segmentação e classificação não supervisionada por regiões. A seguir, essas áreas desflorestadas são sobrepostas à imagem fração solo de 1998, permitindo o mapeamento do incremento de desflorestamento utilizando idêntico processo de classificação. O resultado dessas duas classificações, em formato digital, podem ser incluídas em um banco de dados sobre a Amazônia. Atualmente, este método está sendo utilizado, de modo operacional, em 47 imagens que formam a área crítica (PROARCO - IBAMA) em termos de desflorestamento da região Amazônica.

Palavras-chaves: Amazônia, Sensoriamento Remoto, Desflorestamento, Processamento Digital de Imagens

A B S T R A C T
IDENTIFYING DEFORESTED AREAS IN AMAZONIA
USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

This work presents the methodological sequence for identifying and mapping the deforested areas, in Amazonia, using digital image processing of Landsat TM data. The spectral linear mixing model was used to generate vegetation, soil, and

shade fraction images derived from the original bands of TM acquired in 1997 and 1998. An example of this approach is presented in area of Rondônia State, characteristic of the human occupation in a fishbone pattern. The shade fraction image of 1997 is utilized for mapping the extension of the deforestation (including areas of deforestation, pasture, and forest regrowth). This mapping is performed using the image segmentation and non-supervised classification algorithms. Hence, these deforested areas are overlaid on the soil fraction image of 1998, allowing to mapping the increment of deforestation using the identical classification procedure. The result of these both classifications, in digital format, can be included in an Amazon database. Currently, this method is being used, in an operational way, for 47 TM images that cover the critical area (PROARCO - IBAMA) in terms of deforestation in the Amazon region.

Key words: Amazonia, Remote Sensing, Deforestation, Tropical Rainforest, Image Digital Processing

INTRODUÇÃO

Em nível governamental, uma das prioridades na tomada de decisões, para efetivar um processo de fiscalização adequada e/ou de planejamento econômico-ecológico de determinada região, diz respeito à disponibilização de levantamentos temáticos, que mostrem o estado atual dos recursos naturais e seu uso pelo homem. Neste contexto, tornar operacional e de acesso público a cartografia temática das áreas desflorestadas, em extensão e em incrementos anuais, num banco de dados, é de suma importância, tanto para os tomadores de decisões, quanto para aqueles que estão modelando os efeitos dos processos antrópicos em áreas tropicais.

A operacionalização da abordagem apresentada neste trabalho vem empregando técnicas de segmentação de imagens, utilizando o modelo linear de mistura espectral e a classificação por regiões, cujo desenvolvimento teórico e potencialidade têm sido descritos por diversos autores (Batista et al., 1994; Shimabukuro et al., 1998). Tais técnicas inclusive, têm sido investigadas no estudo da relação espectro-textural da cobertura florestal e valores de biomassa,

coletados em campo, de forma a acompanhar a cartografia desta biomassa e das transformações ocasionadas pela ação humana (Santos et al., 1998 e Santos et al., in press).

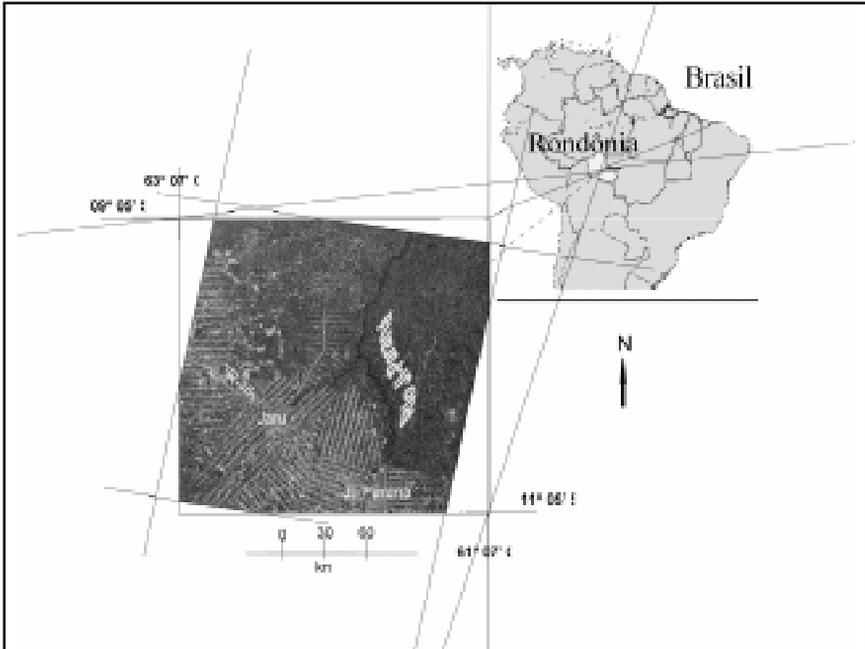
A principal vantagem do uso das técnicas que lidam com processamento digital de dados orbitais, em relação às técnicas que usam o método analógico, está na precisão do georreferenciamento dos polígonos de desflorestamento. Isto elimina o problema das distorções geométricas e a conseqüente falta de ajuste dos polígonos quando se trabalha com imagens multitemporais, comum no método visual de interpretação (analógico) de áreas desflorestadas que vem sendo utilizado no PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia; INPE, 1996). O produto gerado através do método digital é um mapa contendo informações que representam de 80 a 90% do esforço despendido atualmente pelo método analógico. O restante do trabalho é feito por um fotointérprete, que analisa os resultados dos polígonos de desflorestamento aceitando ou reclassificando-os em outras categorias de uso da terra. É importante destacar que todas as fases passam por um processo de controle de qualidade, executado por auditores especializados nas várias funções envolvidas.

MATERIAIS E MÉTODO

1. Localização da área de estudo

Para demonstrar a operacionalização da abordagem adotada neste trabalho, foi selecionada uma área situada entre as coordenadas W 63° 07' 00" / S 11° 05' 00" e W

61° 07' 00" / S 09° 05' 00" (Figura 1). Ao sul a área é cortada pela BR-364 no sentido diagonal, onde estão localizadas as cidades de Nova Vida, Jaru, Ouro Preto e Ji-Paraná. Ao norte da área situa-se a Estação Ecológica do Jaru, no estado de Rondônia.



Figur 1 - Localização da área de estudo no estado de Rondônia.

Para o PRODES analógico, esta região é considerada como tendo um alto grau de dificuldade de interpretação das imagens e cálculo da taxa anual de desflorestamento. Isto se deve ao grande número de polígonos que compõem o chamado formato “espinha de peixe” que dificulta a justaposição dos desflorestamentos dos incrementos da área desflorestada identificada em levantamentos sequenciais.

Essa região tem um padrão de ocupação bastante típico, com um número razoável de pequenas propriedades distribuídas ao longo de estradas (Alves et al., 1996; Schmidt et al., 1996). É uma das regiões mais difíceis para a elaboração de mapas, devido a necessidade de um traçado da extensão e do incremento anual do desflorestamento, que ocorre em pequeno, mas variado, nível de escala.

2. Imagens TM/LANDSAT e sistema de análise

Foram selecionadas as datas de passagem do TM-Landsat de 07 de julho de 1997 e 12 de setembro de 1998, com nível 5 de correção geométrica (correções geométricas básicas com reamostragem por vizinho mais próximo), utilizando-se as bandas 3 (0,63 - 0,69 mm), 4 (0,76 - 0,90 mm) e 5 (1,55 - 1,75 mm), da órbita 231 ponto 67 para serem analisadas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING; INPE-DPI, 1996), instalado em microcomputador pentium-200, com 96 Mbytes de memória RAM, disco rígido de 4 Gbytes.

3. Modelo linear de mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral visa estimar a proporção dos componentes, tais como solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do TM, gerando as imagens fração solo, vegetação e sombra (Shimabukuro e Smith, 1991). O modelo de mistura espectral pode ser escrito como:

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

onde r_i é a resposta do pixel na banda i ; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; vege_i , solo_i e sombra_i , são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra (ou água), respectivamente; e_i é o erro na banda i e i indica a banda do TM.

Foram utilizadas as bandas 3 (região do vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) do TM Landsat, formando um sistema de equações lineares que pode ser resolvido utilizando o método dos mínimos quadrados (Shimabukuro e Smith, 1991). As três bandas sintéticas geradas representam a proporção de vegetação, de solo e de sombra existente em cada pixel da imagem. Neste trabalho, das três bandas

sintéticas geradas para o ano de 1997, foi utilizada a imagem fração sombra para o mapeamento de extensão de desflorestamento, pois ela proporciona um grande contraste entre áreas florestadas (média quantidade de sombras) e áreas desflorestadas (baixa quantidade de sombras). Para o mapeamento do incremento das áreas desflorestadas entre o período de aquisição das duas imagens TM Landsat, foi utilizada a imagem fração solo de 1998 que proporciona um grande contraste entre as áreas florestadas (baixa quantidade de solos) e áreas recém desflorestadas (alta quantidade de solos).

4. Segmentação e clas-sificação de imagem digital

4.1. Segmentação de imagem

A segmentação de imagem é uma técnica de agrupamento de dados, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes podem ser agrupadas (INPE-DPI, 1996). Inicialmente, o processo de segmentação rotula cada "pixel" como uma região distinta. Em seguida, é utilizado um critério de similaridade para cada par de regiões espacialmente adjacente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre regiões. Finalmente, a imagem é dividida em um conjunto de sub-imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de similaridade.

Para realizar a segmentação é necessário definir dois limiares: a) o limiar de similaridade, limiar mínimo, abaixo do qual duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região; e b) o limiar de área, valor de área mínima, dado em número de pixels, para que uma região seja individualizada (Bins et al., 1993).

No presente trabalho o limiar de similaridade igual a 8 foi definido após vários testes. O limiar de área foi definido como 16, isto significa que a área mínima considerada na segmentação equívale a 5,76 ha no terreno. No PRODES (INPE, 1996), a área mínima mapeada

visualmente equívale a 6,25 ha, ou seja, 1 x 1 mm na imagem na escala de 1:250.000.

4.2 Geração do arquivo de contexto e extração de regiões

Para realizar a classificação é necessário criar um arquivo de contexto, onde são armazenadas as informações: a) tipo de classificação (por regiões ou por pixel); b) bandas utilizadas; e c) imagem segmentada (INPE-DPI, 1996). No presente trabalho, a classificação foi realizada utilizando o método não supervisionado por região.

A extração das regiões é um procedimento em que o algoritmo extrai os atributos estatísticos (médias e matrizes de covariância) do conjunto de regiões definido pelo arquivo de contexto.

4.3 Classificação e mapeamento

O classificador *ISOSEG* (Bins et al., 1993) é um algoritmo disponível no *SPRING* para classificar regiões de uma imagem segmentada. 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. Foi definido o classificador *ISOSEG* a ser aplicado sobre a imagem segmentada. Neste trabalho foi utilizado o limiar de aceitação de 99%. Após a classificação, os temas foram associados às classes definidas anteriormente no banco de dados da Amazônia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento para se fazer o mapeamento da extensão do desflorestamento bruto ocorrido até o ano de 1997, é demonstrado na imagem TM Landsat da órbita 231/67, através da

segmentação e classificação da imagem fração sombra. Esse procedimento permite discriminar as áreas de fisionomia florestal daquelas áreas antropizadas (desflorestadas e/ou áreas em estádios de sucessão secundária). O incremento das áreas desflorestadas ocorrido no ano de 1998 foi obtido através da segmentação e classificação da imagem fração solo, cuja dinâmica anual de uso da terra foi investigada no período 97/98. O resultado (Figura 2) obtido da extensão e do incremento de desflorestamento passa por um processo de edição, onde o fotointérprete analisa os polígonos obtidos pela segmentação e classificação das imagens fração sombra e solo e então, decide sobre a aceitação ou reclassificação dos polígonos em outras categorias de uso da terra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência adquirida nesta nova abordagem, utilizando o processamento digital de imagens, demonstra o avanço no processo de monitoramento de áreas desflorestadas da Amazônia. A metodologia de análise digital, baseada na segmentação por crescimento de regiões e classificação de imagem fração-sombra, apresenta-se como um procedimento adequado para o mapeamento da extensão de áreas desflorestadas em imagens TM/Landsat. Além disto, esta mesma abordagem aplicada à imagem fração-solo, permite caracterizar áreas de incrementos de desflorestamento. Por conseguinte, este procedimento metodológico consolida uma base georreferenciada confiável e de fácil manuseio para o usuário. Permite ainda, implementar o Banco de Dados Digitais da Amazônia (BADDAM), que é uma fonte de informação crescente para a comunidade técnico-científica e/ou tomadores de decisão, envolvidos na elaboração de políticas, análises, planejamento e fiscalização dos recursos da Amazônia brasileira, com fins de preservação e/ou de manejo auto-sustentado.



Fig.2- Mapeamento da imagem TM (231/67), mostrando a extensão do desflorestamento bruto ocorrido até a data de 07/07/97 (cinza claro, 10.252 km²); áreas ocupadas com floresta (cinza médio, 16.547 km²); incremento das áreas desflorestadas ocorrido até a data de 12/09/98 (cinza escuro, 695km²).

LITERATURA CITADA

Alves, D.S., Moreira, J.C., Mello, E.M.K., Soares, J.V, Silva, O.F., Almeida, S.A.S, Ortiz, J.D., Amaral, S. Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Salvador; 14-19 de abril de 1996.

Batista, G.T., Medeiros, J.S., Mello, E.M.K.,

Moreira, J.C., Bins, L.S. New Approach for Deforestation Assessment. Int. Symp. on Resource and Environmental Monitoring (ISPRS, Rio de Janeiro), *Proceedings*, v.30, Part 7a, p.170-174, 1994.

Bins, L.S., Erthal, G.J., Fonseca, L.M.G. Um Método de Classificação Não Supervisionada por Regiões. *SIBGRAP VI*, Recife, PE, *Anais*, p.65-68, 1993.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS

- ESPACIAIS (INPE). *Levantamento das áreas desflorestadas na Amazônia Legal no período de 1991-1994*. São José dos Campos, 1996. (Separata).
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – DIVISÃO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS (INPE-DPI). *SPRING, Manual do usuário*. [on line], São José dos Campos, 1996. (E-mail:<http://www.inpe.br/spring>). 6 de Abril de 1999.
- Santos, J.R.; Xaud, M.R.; Pardi Lacruz, M.S. Analysis of the backscattering signals of JERS-1 image from savanna and tropical rainforest biomass in Brazilian Amazonia. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Symposium-ISPRS. Budapest, Hungary. 1-4 Sept., *Proceedings*. v. XXXII, part 7, 523-526., 1998.
- Santos, J.R., Pardi Lacruz, M.S., Keil, M., Kramer, J.M.C. A linear spectral mixture model to estimate forest and savanna biomass at transition areas in Amazonia. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium-IGARSS'99*. Hamburg, Germany. 28 June-2 Jul., Accepted for presentation., 1999.(in press).
- Schmidt, M., Keil, M., Scales, D., Santos, J.R., Kux, H.J.H. Investigation of deforestation dynamics and landuse changes by ERS-1 SAR data in Rondonia, *Brazil*. In: International Seminar on the Use and Applications of ERS in Latin America. Viña del Mar, Chile. 25-29 Nov., 1996. *Proceedings*, 45-52. (ESA SP-405).
- 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, p.16-20, 1991.
- 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 the Amazon Region. *International Journal of Remote Sensing*, v.19, n. 3, p.535-541,