

## **Detecção de Mudanças nas Unidades Territoriais Básicas através da Subtração de Imagens-Proporção de Vegetação, Solo e Sombra**

**Cláudio José da Silva de Sousa**

CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, 30510 - 000 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil  
claudio@ccc.cefetmg.br

**Abstract:** In this work, change in the land use/land cover of the terrain mapping units area detected using subtractive processing of the vegetation, soil and shade fraction images. Images from the date of 8-20-98 and 9-2-96 are used, in the study area of Médio Vale do Paraíba, SP, Brazil. The pre-processed images were transformed by the linear mixing model. The fraction images pairs, with equalized histograms, were subtracted generating vegetation, soil and shade subtractive images, and in their RGB color composite, a segmentation was performed. The polygons that were classified in change and non change areas, were updated in the terrain mapping units attributes table. By the attributes consult operations, were quantified the units that showed internal changes in the land use/land cover.

**Keywords:** Change detection, mixing model, soil erosion, ecologic economic zoning.

### **1 - INTRODUÇÃO**

Os procedimentos metodológicos apresentados em Crepani et al. (1996) foram empregados por Sousa (1999) para geração de uma carta de vulnerabilidade à erosão em uma área intensamente antropizada do Médio Vale do Paraíba – SP.

Naquela ocasião, as imagens orbitais de 06/01/87 e 03/07/88 foram interpretadas, segundo os padrões texturais de relevo e drenagem, culminado na geração de unidades homogêneas de relevo. Através das imagens-proporção de vegetação, solo e sombra, de 02/09/96, derivadas das imagens TM/LANDSAT, pelo modelo linear de mistura, foram delimitados os padrões de uso/cobertura vegetal, internamente a cada unidade homogênea de relevo.

As unidades homogêneas de relevo e os padrões de uso/cobertura vegetal culminaram na obtenção de um mapa cadastral constituído de 480 polígonos, as unidades territoriais básicas (utbs), cujos atributos foram organizados em uma tabela.

Essas unidades foram avaliadas quanto à sua vulnerabilidade à erosão com base nos temas: geologia, geomorfologia, pedologia e uso/cobertura vegetal, através dos operadores algébricos pontuais e zonais da Linguagem Especial para Geoprocessamento Algébrico, LEGAL, do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, SPRING. Essas operações permitiram a obtenção de uma carta temática de vulnerabilidade à erosão da área de estudo.

Ao término daquele trabalho, concluiu-se que o mapa cadastral de utbs permite que a carta de vulnerabilidade à erosão seja periodicamente atualizada, através das operações de álgebra de mapas e das imagens multitemporais de Sensoriamento Remoto.

Partindo-se dessa sugestão, pretende-se neste trabalho *detectar as mudanças nos padrões de uso/cobertura vegetal das utbs, empregando-se a subtração das imagens-proporção de vegetação, solo e sombra, derivadas das imagens TM/LANDSAT, de 20/08/98 e 02/09/96*. Ainda são utilizadas as operações de álgebra de mapas na quantificação da utbs que apresentaram mudanças mais significativas.

A área de estudo com uma extensão aproximada de 280 km<sup>2</sup>, localiza-se a leste do Estado de São Paulo, na zona Médio Vale do Paraíba, nos Municípios de São José dos Campos e Caçapava (Figura 1).

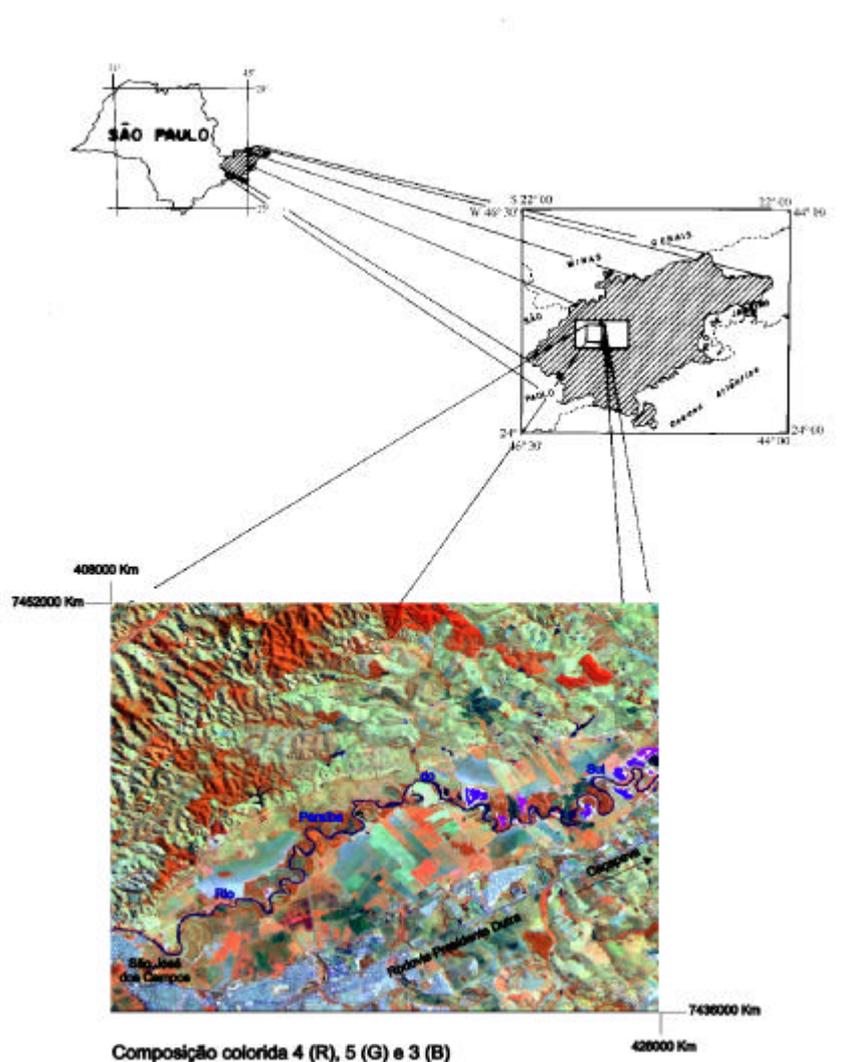


Figura 1 – Área de estudo.

## 2 – MATERIAIS

Neste trabalho foram empregadas os seguintes materiais:

- imagens orbitais do sensor TM/LANDSAT 5, WRS 219-76, bandas 2 a 5 e 7, de 02/09/96, com ângulo de elevação solar de 37° e azimute de 59° - WRS 219-76, bandas 3, 4 e 5, de 20/08/98, com ângulo de elevação solar de 38° e azimute de 51°.

- cartas topográficas São José dos Campos e Taubaté, folhas SF-23-Y-D-II-1 e SF-23-Y-D-II-2, respectivamente, ambas na escala 1:50.000 e,
- Sistema SPRING, em ambiente Windows.

### 3 - MÉTODOS

A imagem de 02/09/96 foi corrigida geometricamente, mediante o registro imagem-carta, sendo, posteriormente, utilizada como referência para o registro da imagem de 20/08/98. Os pontos de controle coletados tiveram seus erros analisados, selecionando-se aqueles que apresentaram erros menores do que 0,5 mm da escala da carta. As distorções geométricas foram modeladas empregando uma função polinomial de 1º grau. Os valores dos níveis de cinza na imagem corrigida foram recalculados, mediante a interpolação, empregando-se o método do *vizinho mais próximo*. As imagens foram importadas para o projeto ZEE, definido no banco de dados Médio Vale, do SPRING.

As imagens foram submetidas à correção dos efeitos atmosféricos, através do método proposto por Chavez Jr. (1988). A análise dos histogramas das bandas TM-2 e TM-3, de 02/09/96 e 20/08/98, respectivamente, levou ao modelo de espalhamento do tipo *atmosfera muito limpa*, para ambas as imagens. Desse modelo e dos valores extraídos dos histogramas foram estimados os níveis de cinza, a serem subtraídos das demais bandas espectrais.

Em seguida, as imagens foram transformadas através do modelo linear de mistura espectral (Shimabukuro, 1987; Shimabukuro e Smith, 1991). Para tanto, através da análise das imagens definiram-se os componentes de mistura solo, sombra e vegetação que, em diferentes proporções, melhor definem as classes de uso/cobertura vegetal, presentes na área de estudo. As assinaturas espectrais daqueles componentes foram obtidas por “pixels” considerados puros e selecionados, através do cursor (Tabela 1).

**TABELA 1 – COMPONENTES PUROS DO MODELO DE MISTURA**

Data	Componentes puros		
	Vegetação	Solo	Sombra
02/09/96	Floresta Estacional Semidecidual,	Campo limpo	Lago de água limpa
11/02/99	Reflorestamento	Campo limpo	Lago de água limpa

As imagens-proporção de vegetação, solo e sombra foram obtidas empregando-se o Método dos Mínimos Quadrados Ponderados, sem restrição das proporções ao intervalo [0,1].

Antecedendo à subtração de pares de imagens-proporção, procedeu-se à equalização dos seus histogramas, em termos dos valores de média ( $\mu$ ) e desvio padrão ( $\sigma$ ) (Crósta, 1992). Isso foi realizado, empregando-se a Equação 1. Para o cálculo dos fatores de *ganho* ( $A$ ) e “*off set*” ( $B$ ), tomou-se, como imagem-referência ( $r$ ), aquela cujas estatísticas foram obtidas, a partir das médias das estatísticas das *imagens originais* ( $o$ ), mostradas na Tabela 2.

$$G_1(i,j) = G_2(i,j) \cdot A + B \quad (1)$$

onde:

$$G_1(i,j) = \text{Imagem resultante da equalização,}$$

$G_2(i,j) = \text{Imagem original},$

$A = \text{Fator de ganho } (S_r / S_o) \text{ e}$

$B = \text{Fator de "off set"} (m - S_r / S_o \cdot m).$

**TABELA 2 – ESTATÍSTICAS DAS IMAGENS-PROPORÇÃO**

<b>Imagem-proporção</b>	<b>Média (m)</b>	<b>Desvio Padrão (s)</b>
Vegetação referência	118,86	16.165
Vegetação 98	122.46	18.19
Vegetação 96	115,26	14,14
Solo referência	143.125	20.16
Solo 98	141.87	19.27
Solo 96	144,38	21,05
Sombra referência	136.55	16.69
Sombra 98	134.17	17.87
Sombra 96	138,93	15,51

Visando à análise das áreas de mudança, sobre a composição colorida das imagens-subtração, vegetação (R), solo (G) e sombra (B) foi efetuada uma segmentação, empregando-se o método de crescimento de regiões. (Batista et al.,1994 e Bins et al.,1996). Nesse processamento, foram utilizados os limiares de similaridade e de área 15 e 50, respectivamente.

Os polígonos resultantes da segmentação foram editados e classificados em *áreas de mudança* e de *não mudança*, criando-se, assim, um geo-campo temático.

Nesse geo-campo, as classes *áreas de não mudança* e *de mudança* foram convertidas em valores de 0 e 1, respectivamente, através da operação pontual de ponderação, da Linguagem LEGAL do SPRING, gerando-se um geo-campo numérico.

Os valores do geo-campo numérico foram atualizados na tabela de atributos das utbs, através da operação zonal de média (Barbosa, 1997). O resultado dessa operação permitiu saber quais as utbs em cujo interior verificou-se a ocorrência de *áreas de mudança*. Por fim, na tabela de atributos, selecionando-se a coluna de valores atualizados, obteve-se o quantidade de utbs que apresentaram *áreas de mudança* em seu interior.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 – Imagens-Subtração**

Devido ao intervalo de dois anos entre a aquisição das duas imagens, as mudanças detectadas, através do processamento subtrativo são significativas. Na composição colorida das imagens-subtração, vegetação(R), solo (G) e sombra(B), Figura 2, as *áreas de mudança*, em termos de cada um dos componentes de mistura, mostram-se com tonalidades mais altas. Já as *áreas de não mudança* apresentam-se em tonalidades mais baixas.

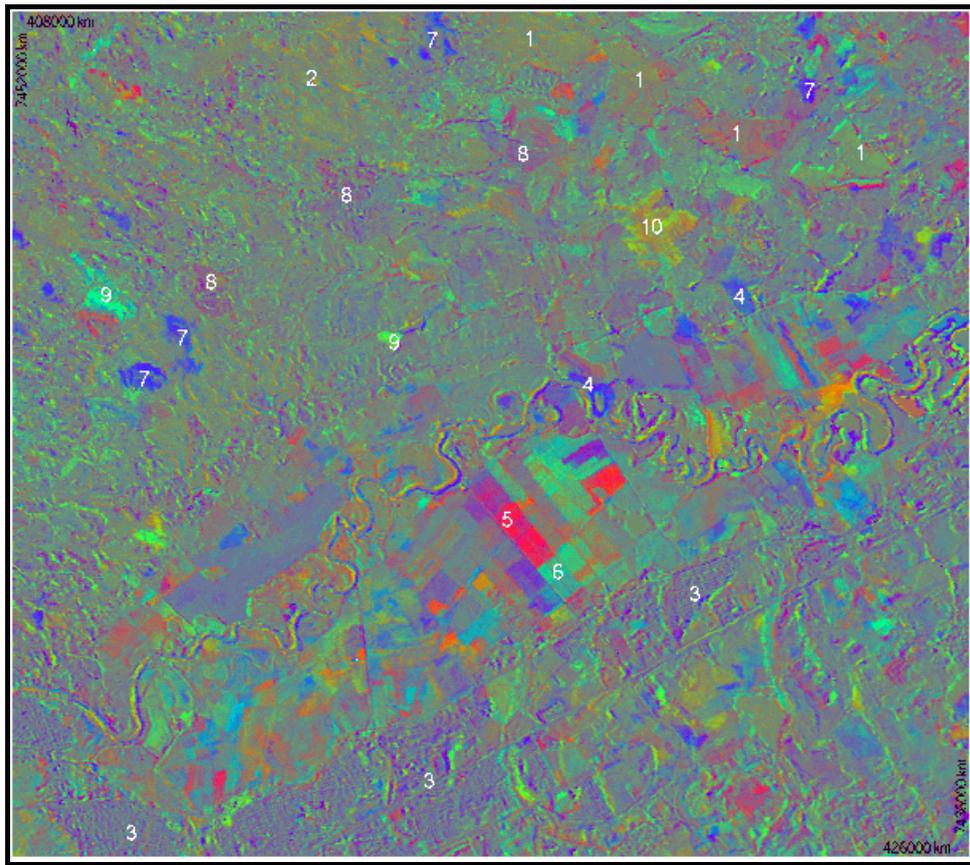


Figura 2 – Composição colorida das imagens-subtração vegetação (R), solo (G) e sombra (B).

As feições resultantes do processamento subtrativo podem estar associadas a erros de registro de imagens, mudanças no comportamento espectral dos alvos ou alterações nos padrões de uso/cobertura vegetal.

O registro entre as imagens de 98 e 96 pode explicar a ocorrência de pequenas *áreas de mudança*. Embora se tenha chegado a um erro de pontos de controle da ordem de 0,072, é possível que os “pixels” não apresentem a mesma localização geográfica. Com isso, uma determinada feição na imagem de 98 não estaria sobreposta inteiramente à de 96, gerando pequenas *áreas de mudança*, principalmente nas bordas dos alvos. Exemplos são observados nas estradas e no rio Paraíba.

No que diz respeito ao comportamento espectral, as alterações são explicadas pela sazonalidade, alterando a reflectância de alguns alvos como, por exemplo, reflorestamento (1), Floresta Ombrófila Densa (2) e áreas urbanas (3).

Quanto às alterações no uso/cobertura vegetal, estas adequam-se mais precisamente aos propósitos do trabalho, pois dizem respeito à proteção que a vegetação proporciona ao solo, como função de sua exuberância e massa foliar. A cobertura vegetal representa a defesa da utb contra os efeitos modificadores das formas de relevo (Tricart, 1977).

As feições texturais de relevo nas imagens-subtração são pouco evidentes, em virtude das imagens originais apresentarem valores de ângulos de elevação solar, aproximadamente iguais,

37° para a data de 02/09/96 e 38° para a de 20/08/98. Assim, para ambas as datas, nas imagens-proporção de sombra, as feições de relevo apresentam-se bastante evidentes. Portanto, no produto da subtração, a suavização da imagem é verificada.

A suavização dos padrões texturais de relevo dificulta a discriminação das *áreas de mudança*, segundo os níveis topográficos que são evidentes na área de estudo. Dessa forma, na composição colorida das imagens-subtração, é possível distinguir com clareza dois níveis: o da planície e o do restante da área. Este último, constituído pelos terraços, colinas, morrotes e morros.

Na área da planície aluvial do Rio Paraíba, as *áreas de mudança* são detectadas, principalmente pelo componente sombra (B) (4), que denota os diferentes teores de umidade dos solos hidromórficos. Estes são solos com nível do lençol freático elevado, mal drenados e apresentam o horizonte A escuro e espesso, em função do teor elevado de matéria orgânica (Projeto RADAMBRASIL, 1983).

Na planície, o componente vegetação (R) demonstra o avanço das atividades agrícolas, principalmente da cultura do arroz, característica dessa região (Pereira et al., 1998). Os diferentes estágios da cultura são verificados pelas variações na tonalidades de vermelho (5). Os talhões em tonalidades magenta (B + R) distinguem-se daqueles em tonalidade amarela (R + G), quanto ao componente sombra que, neste caso, pode estar associado ao conteúdo de umidade ou de matéria orgânica do solo ou à idade jovem da cultura.

O componente solo (G) aparece, freqüentemente, nos talhões preparados para o cultivo (6). Alguns apresentam tonalidade cian (G + B), que pode ser explicada pelo teor de umidade ou de matéria orgânica ou, então, por restos de cultura no solo, conforme observado em inspeção de campo.

No restante da área, as mudanças no componente sombra (B) são freqüentes e estão, em sua maioria, associadas às feições de queimadas (7), em virtude da imagem de 20/08/98 ter sido adquirida na época seca. Nesta época, é habitual a realização dessa prática na área de estudo.

Na porção da área de estudo, caracterizada pelas colinas e morrotes, é freqüente a presença de extensas áreas de pastagem. Estas, quando do predomínio de indivíduos arbustivos e em diferentes estágios de crescimento, recebem a denominação de *pastagem e/ou campo antrópico* (Pereira et al., 1998). Nesta classe de uso, as *áreas de mudanças* são caracterizadas pela presença dos componentes vegetação (R) e sombra (G), conferindo uma tonalidade magenta (8).

As áreas de *pastagem melhorada*, que constituem o segundo tipo de pastagem, são caracterizadas por uma vegetação de gramíneas. Essa classe de uso é identificada como *área de não mudança*, com tonalidades baixas, em virtude das imagens-proporção, em ambas as datas, apresentarem tonalidades semelhantes. São observadas áreas de mudança do componente solo (G) e algumas feições em tonalidade amarela (G + R), que podem estar associados, respectivamente, a solo exposto (9) e a áreas de vegetação arbustiva com baixa cobertura do solo (10). Estas últimas, conforme inspeção de campo, dizem respeito a áreas de queimada com presença de espécies invasoras.

## 4.2 – Quantificação das Áreas de Mudança

Os resultados da segmentação foram mais significativos nas áreas de cultura onde os níveis de cinza foram mais homogêneos. Nas demais áreas, a heterogeneidade nas classes de uso contribuiu para a maior variabilidade espacial de níveis de cinza, reduzindo a eficiência do segmentador na extração dos polígonos.

Dessa forma, os limiares de similaridade e área empregados, 15 e 50, respectivamente, foram os que melhor capturaram as mudanças dos padrões de uso/cobertura vegetal.

A ponderação das *áreas de mudança* e *de não mudança* em valores de 0 e 1, respectivamente, foi um procedimento empregado para saber quais as utbs que apresentaram mudanças internas nos padrões de uso/cobertura vegetal.

Pelo operador média zonal, foi calculada a média aritmética dos valores presentes dentro dos limites das utbs. Se não se verificou mudanças, todos os valores presentes em seu interior são nulos, por conseguinte, o resultado da operação será nulo. A indicação de mudanças na utb é garantida pela presença de, pelo menos, um valor não nulo em seu interior. Dessa forma, a média tem o resultado compreendido no intervalo ]0, 1]. O caso extremo desse intervalo ocorre quando todos os valores no interior da utb são iguais a 1.

Através das operações de consulta por atributos, chegou-se ao resultado mostrado na Tabela 3. Nela são apresentadas as utbs com variações internas no uso/cobertura vegetal. As mudanças ocorrem nas áreas de maior fragilidade da paisagem. Esta constatação pode ser observada na carta de vulnerabilidade à erosão da área de estudo, apresentada na Figura 3.

**TABELA 3 – UTBS POR ÁREAS DE MUDANÇA E CLASSES DE VULNERABILIDADE À EROSÃO**

<b>Classes de vulnerabilidade</b>	<b>Área de mudança</b>	<b>Área de não mudança</b>
<b>Moderadamente estável/vulnerável</b>	75	174
<b>Vulnerável</b>	32	22
<b>Moderadamente estável</b>	18	92
<b>Área urbana</b>	15	6
<b>Moderadamente vulnerável</b>	13	32
<b>Estável</b>	1	0
<b>Total</b>	154	326

## 5 - CONCLUSÕES

O processamento subtrativo das imagens-proporção apresentou resultados significativos na área de estudo, uma vez que discriminou as mudanças em termos dos componentes de mistura vegetação, solo e sombra. A partir desses componentes, torna-se mais fácil definir o grau de proteção do solo, oferecido pela cobertura vegetal contra os agentes erosivos.

A detecção de mudanças no uso/cobertura vegetal torna-se mais eficiente, quando são usadas imagens correspondentes à mesma época do ano, visando reduzir a influência da

sazonalidade sobre o comportamento espectral dos alvos. Ainda, ressalta-se a eficiência do registro, visando reduzir o deslocamento entre alvos iguais.

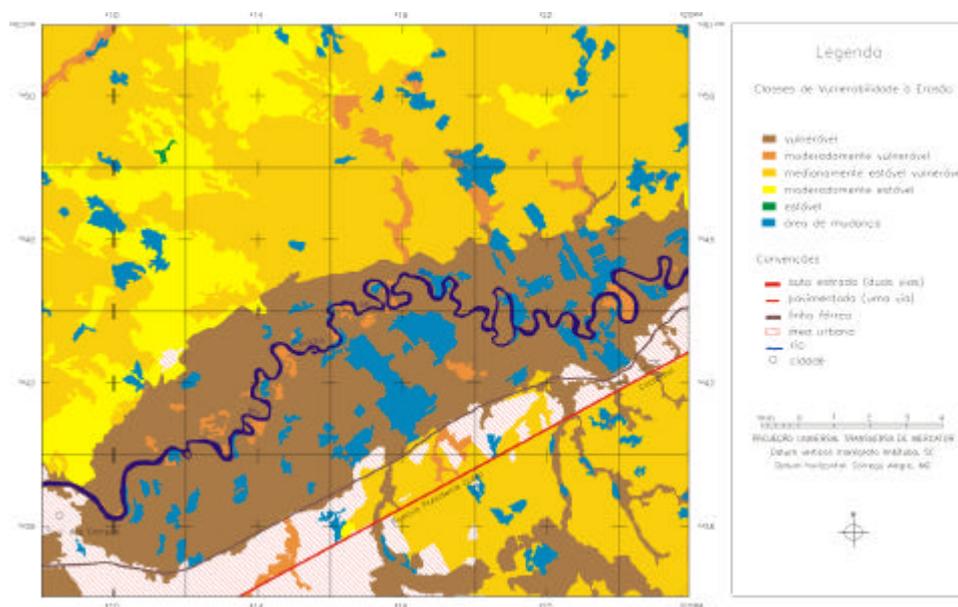


Figura 3 – Áreas de mudança segundo as classes de vulnerabilidade à erosão.

Os limiares de segmentação devem ser testados, segundo as características físicas de cada local, devendo apresentar melhores resultados em regiões de relevo plano a suave ondulado. Nessas regiões, as tonalidades dos padrões de uso/cobertura vegetal são menos influenciadas pelo sombreamento topográfico e pelas vertentes muito expostas à iluminação.

A atualização das variações internas das utbs, em termos do uso/cobertura vegetal, deve ser um processo periódico, cujo intervalo de tempo será inversamente proporcional aos processos morfodinâmicos verificados na área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1997.
- Batista, G.T.; Medeiros, J.S.; Mello, E.M.K; Moreira, J.C.; Bins, L.S. A new approach for deforestation assessment. In: International Symposium on Resource and environmental monitoring, Rio de Janeiro, 1994. **Proceedings**. Rio de Janeiro: ISPRS Commission VII, 1994, v. 30, p.170-174.
- Becker, B. K.; Egler, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: LAGET/UFRJ, 1997 43p.

- Bins, L.S.; Fonseca, L.M.G.; Erthal, G.J.; Li, F.M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de Comunicação.
- Chavez Jr., P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, Apr. 1988.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996. 18p. (INPE-6145 - PUD/028).
- Crósta, P. A. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- Pereira, M. N.; Novo, E. M. L. M.; Kurkdjian, M. L. N. O.; D'Alge, J. C. L.; Florenzano, T. G. **Atualização do uso da terra do município de São José dos Campos através de dados de sensoriamento remoto**. São José dos Campos. 71p. (INPE-4479-RPE/562). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1988.
- Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SF. 24/25 Rio de Janeiro/Vitória; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: 1983. 775p. (Levantamento de Recursos Naturais).
- Shimabukuro, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. Fort Collins. 274p. Thesis (Doctor of Philosophy) - Colorado State University, 1987.
- 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. 16-21, Jan. 1991.
- Sousa, C. J. S. **Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada**. São José dos Campos, 172p. (INPE-7030-TDI/662). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE SUPREN, 1977. 91p.