

## Utilização do modelo de mistura espectral do sensor MODIS no estudo da distribuição da esquistossomose e de *Biomphalaria glabrata* no Estado de Minas Gerais

Ricardo José de Paula Souza e Guimarães<sup>1,2</sup>  
Corina da Costa Freitas<sup>1</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Fernanda Rodrigues Fonseca<sup>1</sup>  
Flavia de Toledo Martins<sup>1</sup>  
Ana Clara Mourão Moura<sup>3</sup>  
Ronaldo Santos do Amaral<sup>4</sup>  
Sandra Costa Drummond<sup>5</sup>  
Ronaldo Guilherme Carvalho Scholte<sup>2,6</sup>  
Omar dos Santos Carvalho<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{ricardo, corina, dutra, ffonseca, flavinha}@dpi.inpe.br  
yosio@ltd.inpe.br

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação da Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG  
anaclaramoura@terra.com.br

<sup>4</sup>Secretaria de Vigilância em Saúde/MS  
ronaldo.amaral@funasa.gov.br

<sup>5</sup>Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais  
sandra.drummond@saude.gov.br

<sup>6</sup>Centro de Pesquisas René Rachou/Fiocruz-MG  
{omar, ronaldo}@cpqrr.fiocruz.br

**Abstract.** This work compares the prevalence of schistosomiasis and presence of *Biomphalaria glabrata* from the State of Minas Gerais with the vegetation, soil and shade fraction images, obtained through the application of the linear spectral mixture model in the MODIS data acquired in January and July 2002. The results showed that there is a positive correlation between prevalence and vegetation fraction image (July 2002), a negative correlation between prevalence and soil fraction image (July 2002), and a positive correlation between *B. glabrata* and shade fraction image (July 2002).

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, linear spectral mixture model, schistosomiasis, sensoriamento remoto, processamento de imagens, modelo de mistura, esquistossomose.

### 1. Introdução

No Brasil o hospedeiro intermediário mais importante do *Schistosoma mansoni* é a *Biomphalaria glabrata* em decorrência de sua extensa distribuição geográfica, altos índices de infecção e eficiência na transmissão da esquistossomose. A extensa distribuição deste molusco no Estado de Minas Gerais confere à esquistossomose caráter expansivo até mesmo para as áreas consideradas indenes. Nas áreas endêmicas, as grandes concentrações desses

moluscos aliadas a outros fatores de risco favorecem a existência de localidades com altas prevalências da esquistossomose. Além disso, sua distribuição quase sempre está associada à ocorrência da esquistossomose no Brasil (Lutz, 1917).

A utilização do SIG e Sensoriamento Remoto na identificação de características ambientais permitem determinar e delimitar, respectivamente, os fatores e as áreas de risco possibilitando um direcionamento mais adequado de recursos para o controle da doença (Carvalho et al., 2005).

Grande parte do esforço de pesquisa na área de sensoriamento remoto se concentra na tarefa de extrair informações de imagens obtidas por satélites orbitais. Esforço particularmente importante no caso do Brasil, país de grande extensão territorial, no qual o uso de sensores de alta resolução temporal é relevante para o estudo das variáveis ambientais. Recentemente, satélites utilizando sensores de alta resolução temporal e moderada resolução espacial como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) tornaram-se operacionais.

Entretanto, o uso de dados de sensores de baixa resolução espacial inevitavelmente ocasiona uma classificação errônea, devido à falha em identificar pequenos objetos no pixel ou devido à resposta espectral misturada dos pixels de borda. Erros devido a objetos pequenos podem se tornar significantes quando mapeadas grandes áreas heterogêneas (Cross et al., 1991). Para tratar estes problemas existe um interesse crescente no uso de técnicas que estimam proporções de classes (em lugar de uma única classe) para pixels individuais (Cross et al., 1991; Quarmby et al., 1992).

A resposta espectral devido à mistura de classes varia linearmente com as proporções relativas dessas classes. Locais de cobertura terrestre “puros” para cada classe de interesse são identificados, e seus espectros usados para definir a assinatura do *endmember* para o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) (Cross et al., 1991).

O presente trabalho utiliza o MLME para determinar as imagens-fração vegetação, solo e sombra de janeiro e julho de 2002 e verificar a existência de correlação com a prevalência da esquistossomose e com a presença ou não de *B. glabrata* em Minas Gerais.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Área de estudo**

A área de estudo compreendeu o Estado de Minas Gerais. Foram utilizadas quatro imagens MODIS MOD13Q1 (h14v10, h14v11, h13v10 e h13v11) para cada data selecionada (17/01/2002 - época chuvosa e 28/07/2002 - época seca). As oito imagens foram reprojetaadas através do software MODIS Reprojection Tool 3.2. Todos os demais processamentos foram realizados no software SPRING 4.2, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em ambiente Windows.

### **2.2 Prevalência da esquistossomose e presença de *Biomphalaria glabrata***

Foram estudados 96 municípios do Estado que tinham informações de prevalência da esquistossomose e da presença de *B. glabrata*. Os valores de prevalência da esquistossomose foram fornecidos pela Fundação Nacional de Saúde e pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais. As informações sobre a presença da *B. glabrata* foram obtidas de Souza et al. (2001).

### 2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

Este modelo fundamenta-se no pressuposto de que a resposta espectral de um pixel é uma combinação linear da resposta espectral de cada componente dentro do pixel (Shimabukuro, 1987; Shimabukuro & Smith, 1991; Holben & Shimabukuro, 1993). Assim, para qualquer imagem, e sendo as respostas espectrais dos componentes conhecidas, as proporções de cada componente podem ser estimadas pela seguinte equação:

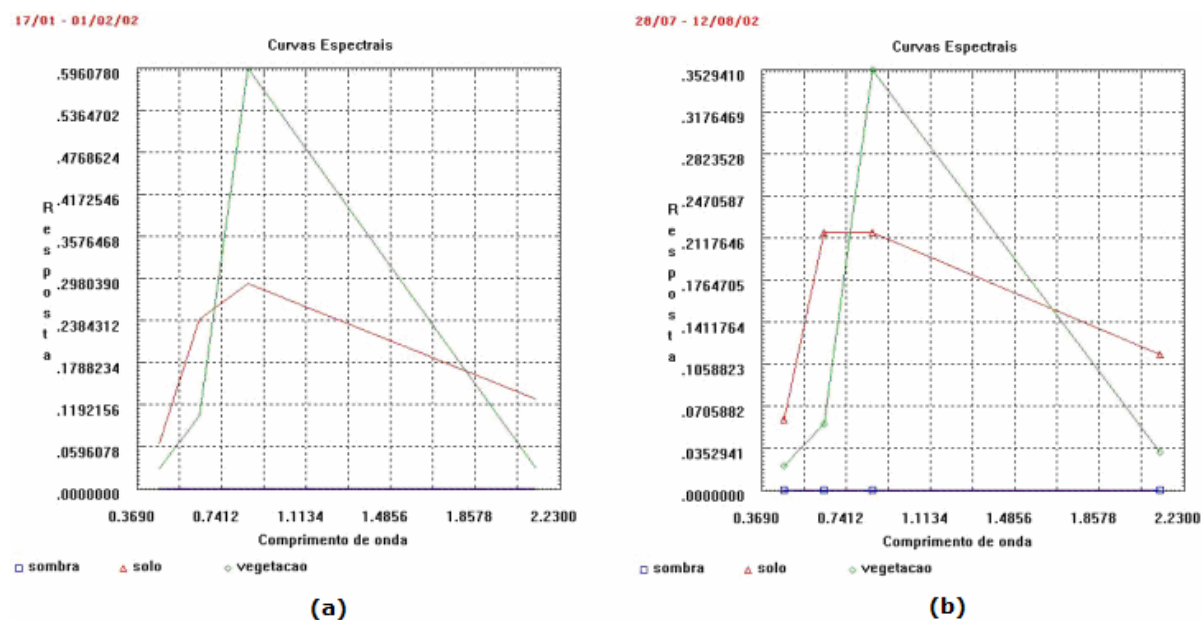
$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij}x_j) + e_i \quad (1)$$

onde:  $r_i$  = reflectância espectral para cada banda espectral  $i$  de um pixel que contém um ou mais componentes;  $a_{ij}$  = reflectância espectral da componente  $j$  em cada banda espectral  $i$ ;  $x_j$  = valor da proporção da componente  $j$  dentro de um pixel;  $e_i$  = erro para cada banda espectral  $i$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  = número de componentes);  $i = 1, 2, \dots, m$  ( $m$  = número de bandas espectrais), com as restrições:

$$\sum x_j = 1 \quad \text{e} \quad x_j \geq 0 \quad \text{para todas as componentes} \quad (2)$$

Para determinar as imagens-fração empregou-se o método dos mínimos quadrados, o qual estima a proporção de cada componente pela minimização da soma dos quadrados dos erros (Shimabukuro & Smith, 1991).

Foram extraídas das imagens MODIS os componentes *vegetação*, *solo* e *sombra*. A **Figura 1** mostra a resposta espectral do componente *vegetação* (em verde) obtido em áreas de Mata Ciliar, o componente *sombra* (em azul) obtido na área correspondente a uma represa e, o componente *solo* (vermelho) obtido em áreas de solo exposto; em ambas as imagens (janeiro e julho de 2002).



**Figura 1.** Resposta espectral dos componentes *vegetação*, *solo* e *sombra* extraídos das imagens MODIS: **(a)** 17/01/2002 e **(b)** 28/07/2002 .

### 3. Resultados e Discussões

Utilizando os componentes *solo*, *vegetação* e *sombra*, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas do MODIS, foram geradas imagens-fração *solo*, *vegetação* e *sombra*, respectivamente. Como os dados de prevalência e de presença de molusco são dados por município, as médias por município das imagens-fração *solo*, *vegetação* e *sombra* foram calculadas com o intuito de estabelecer uma correlação entre as variáveis.

A **Tabela 1** mostra os valores das correlações entre prevalência, presença de *B. glabrata* e as imagens-fração *solo*, *vegetação* e *sombra* das imagens MODIS de 17/01/2002 e 28/07/2002.

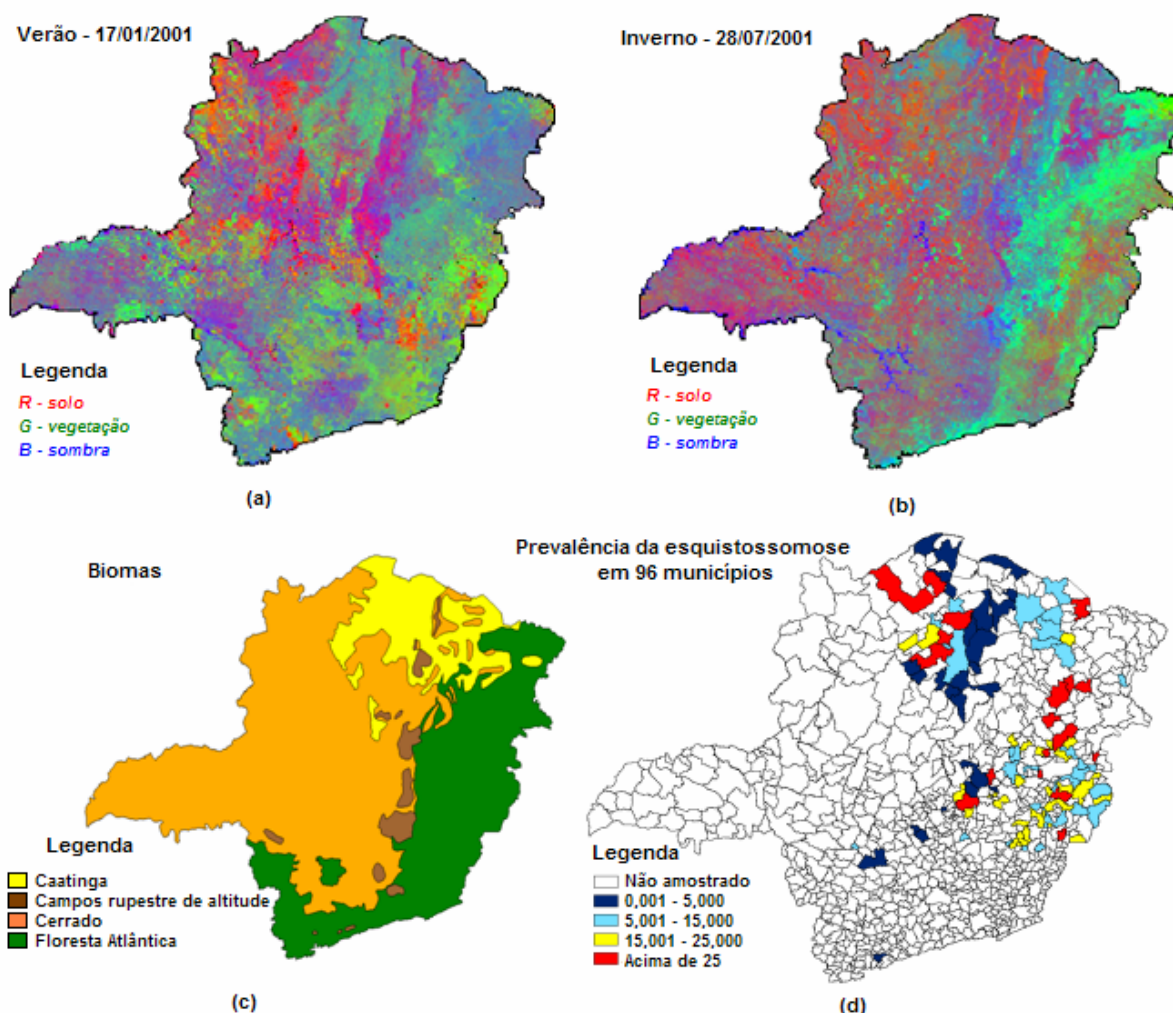
**Tabela 1.** Correlação das variáveis.

| Variáveis              | Prevalência da esquistossomose | <i>Biomphalaria glabrata</i> |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sombra (17/01/2002)    | - 0,10                         | - 0,07                       |
| Solo (17/01/2002)      | 0, 01                          | 0,17                         |
| Vegetação (17/01/2002) | 0,11                           | - 0,11                       |
| Sombra (28/07/2002)    | - 0,10                         | <b>0,30</b>                  |
| Solo (28/07/2002)      | <b>- 0,38</b>                  | - 0,12                       |
| Vegetação (28/07/2002) | <b>0,50</b>                    | - 0,05                       |

Observa-se, em vermelho os valores significativos para o nível de significância de 5%. Nota-se ainda que não existe uma correlação significativa para as imagens-fração da época chuvosa (17/01/2002) tanto para a prevalência como para a existência do *B. glabrata*. Por outro lado, a prevalência apresentou correlação positiva com a fração *vegetação* (28/07/2002), porém negativa com a fração *solo* (28/07/2002), mostrando que a prevalência está associada ao tipo de vegetação, uma vez que na época seca, observa-se uma melhor diferenciação entre os biomas. A prevalência também, esta associada às áreas que apresentam uma menor presença da componente solo, como por exemplo, áreas de solo exposto (**Figura 2**).

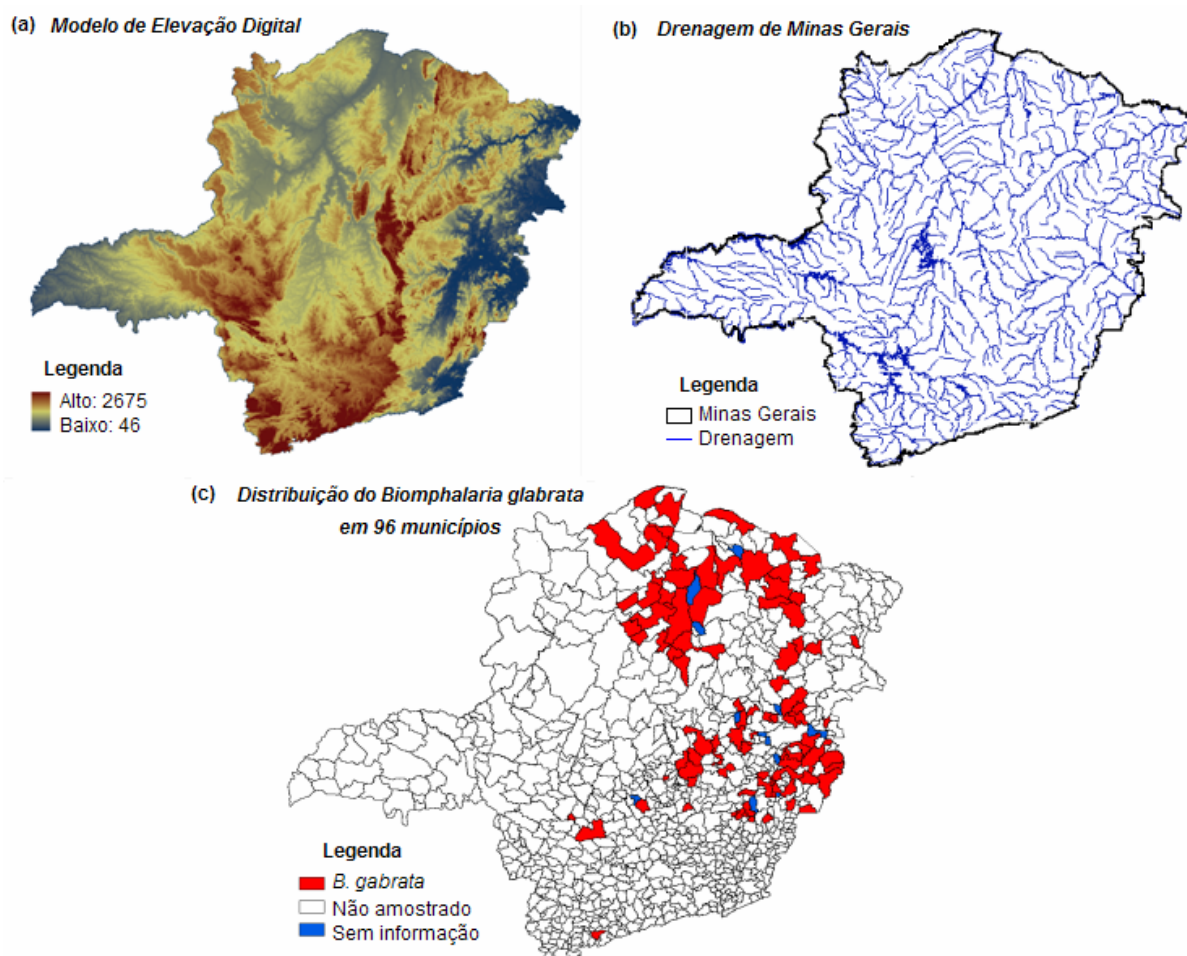
Na **Figura 2** podemos observar: **(a)** composição colorida R = *solo*, G = *vegetação* e B = *sombra* de 17/01/2002; **(b)** composição colorida R = *solo*, G = *vegetação* e B = *sombra* de 28/07/2002; **(c)** mapa de biomas do Estado de Minas Gerais: amarelo representa a caatinga, marrom campo rupestre de altitude, laranja cerrado e em verde Floresta Atlântica; **(d)** mapa da prevalência da esquistossomose: branco indica área que não utilizada na pesquisa, azul prevalência de 0,001 a 5, cian prevalência de 5,001 a 15, amarelo prevalência de 15,001 a 25 e em vermelho prevalência maior que 25. Nota-se que existe uma maior concentração de municípios com prevalência positiva no bioma Floresta Atlântica que, independente da época do ano, apresenta sempre um elevado valor da imagem-fração *vegetação*. Já o bioma Caatinga apresenta uma grande diferença entre verão (baixo valor da imagem-fração *solo*) e inverno (alto valor da imagem-fração *solo*).

A fração *sombra* (28/07/2002) tem correlação positiva com a presença de *B. glabrata*, mostrando uma associação entre a existência do molusco em áreas com diferentes formas de relevo, o que pode determinar o maior ou menor efeito de retenção de água no solo e também, em áreas com presença de coleções hídricas (rios, valas, lagoas, lagos, etc.), como pode ser observado na **Figura 3**.



**Figura 2.** (a) Composição colorida RGB de 17/01/2002; (b) composição colorida RGB de 28/07/2002; (c) mapa de biomas do estado de Minas Gerais e; (d) mapa da prevalência da esquistossomose em 96 municípios pesquisados.

Na **Figura 3** podemos observar: (a) modelo de elevação digital: marrom representa as maiores altitudes e azul as menores altitudes; (b) drenagem do Estado de Minas Gerais; (c) mapa da distribuição do *B. glabrata* em 96 municípios pesquisados: azul representa a área sem informação de *B. glabrata*, vermelho a presença do *B. glabrata* e o branco área que não utilizada na pesquisa. Observa-se ainda, na **Figura 3**, nas áreas de baixa altitude uma maior concentração de municípios com *B. glabrata* e de coleções hídricas.



**Figura 3.** (a) Modelo de elevação digital; (b) Drenagem de Minas Gerais; (c) Distribuição do *Biomphalaria glabrata* nos 96 municípios pesquisados.

#### 4. Conclusões e Recomendações

Os dados apresentados mostram que as variáveis oriundas do MLME, da época seca, possuem uma correlação significativa com a prevalência e a presença do molusco. Isto pode ser explicado pelo fato que neste período ocorre maior concentração de caramujos e aumenta a transmissão da doença, devido respectivamente, à diminuição de chuvas e a uma maior procura da população por coleções hídricas, seja para utilização doméstica ou para lazer. Estas informações reforçam a importância do estudo das coleções hídricas, variável indispensável para a ocorrência do caramujo. A utilização da variável água visa à criação do índice de acessibilidade à água e análise da correlação entre esta variável e o fenômeno de transmissão da esquistossomose, assim como de sua participação no conjunto de variáveis que propiciam a ocorrência do caramujo e da doença.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que as variáveis oriundas do MLME podem ser úteis para determinar e delimitar áreas de risco para a presença do *B. glabrata* e da ocorrência da esquistossomose, possibilitando indicar um melhor direcionamento de recursos para o controle da doença.

## Agradecimentos

Os autores reconhecem o suporte do CNPq (processos 305546/2003-1; 380203/2004-9; 304274/2005-4; 384467/2006-7); Fapemig (processo EDP 1775/03; EDT 61775/03; CRA 0070/04).

## Referências

- Carvalho, O. S.; Dutra, L. V.; Moura, A. C. M.; Freitas, C. C.; Amaral, R. S.; Drummond, S. C.; Freitas, C. R.; Scholte, R. G. C.; Guimarães, R. J. P. S.; Melo, G. R.; Ragoni, V.; Guerra, M. Desenvolvimento de um sistema de informações para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Comunicações, p. 2083-2086. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.
- Cross, A. M.; Settle, J. J.; Drake, N. A.; Paivinen, R. T. M. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 1119-1129, 1991.
- Holben, B. N.; Shimabukuro, Y. E. Linear mixing model applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2231-2240, 1993.
- Lutz, A. Observações sobre a evolução do *Schistosoma mansoni*. **Rev Soc Brasil Ciências**, v. 1, p. 41-48, 1917.
- Quarmly, N. A.; Townshend, J. R. G.; Settle, J. J.; White, K. H.; Milnes, M.; Hindle, T. L.; Silleos, N. Linear mixing model applied to AVHRR data for crop area estimation. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 415-425, 1992.
- Shimabukuro, Y. E. **Shade images derived from linear mixing models of multispectral measurements of forested areas**. Ph. D. Dissertation, Department of Forest and Wood Sciences, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. 1987. 274p.
- 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.
- Souza, C. P.; Caldeira, R. L.; Drummond, S. C.; Melo, A. L.; Guimarães, C. T.; Soares, D. M.; Carvalho, O. S. Geographical Distribution of Biomphalaria Snails in the State of Minas Gerais, Brazil. **Mem Inst Oswaldo Cruz**, v. 96, n.3, p. 293-302, 2001.