

Comparação do modelo de mistura com os índices de vegetação NDVI e EVI oriundos das imagens MODIS para o Estado de Minas Gerais

Ricardo José de Paula Souza e Guimarães¹

Corina da Costa Freitas¹

Luciano Vieira Dutra^{1,2}

Yosio Edemir Shimabukuro¹

Omar dos Santos Carvalho⁴

Ana Clara Mourão Moura²

Ronaldo Santos Amaral³

Sandra Costa Drummond⁵

Ronaldo G. Carvalho Scholte⁴

Charles R. Freitas²

Gustavo dos Reis Melo²

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

² Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
anaclaramoura@terra.com.br
{charlesrzf, grsminas}@yahoo.com.br

³ Secretaria de Vigilância em Saúde/MS
ronaldo.amaral@funasa.gov.br

⁴ Centro de Pesquisas René Rachou/Fiocruz-MG
{omar, ronaldo}@cpqrr.fiocruz.br

⁵ Secretaria Estadual de Saúde/MG
sandradrummond@uol.com.br

Abstract. This work compares the vegetation indices NDVI and EVI with the vegetation, soil and shadow images-fraction, obtained through the application of the linear mixture model in the images MODIS of January and July 2002. The results showed that there is a high correlation between vegetation image-fraction and EVI, and between soil image-fraction and NDVI.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, linear mixture model, vegetation index, sensoriamento remoto, processamento de imagens, modelo de mistura, índice de vegetação.

1. Introdução

Uma vez que a esquistossomose é uma doença determinada no espaço e no tempo por fatores ambientais (vegetação, temperatura, tipo de solo, etc.) o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta muito útil que pode ser empregada para melhor conhecer a distribuição da prevalência da doença e de seus hospedeiros intermediários (Carvalho et al., 2004).

A extensa distribuição desses hospedeiros intermediários (moluscos do gênero *Biomphalaria*) em 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. Recentemente, foi elaborado um projeto conjunto entre FioCruz/INPE/UFMG/MS intitulado “Desenvolvimento de um sistema de informação para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais”, com o objetivo de identificar áreas de risco de concentração de moluscos e da prevalência da doença, através da análise das variáveis ambientais. 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 indicar uma melhor distribuição de recursos que permita um direcionamento mais adequado para o controle da doença (Carvalho et al., 2004). Grande parte do esforço de pesquisa na área de sensoriamento remoto se concentra na tarefa de extrair informações de imagens obtidas por satélites orbitais. Este esforço é particularmente importante no caso do Brasil, um país de grande extensão territorial, onde o uso de sensores de alta resolução temporal contribuem no estudo das variáveis ambientais. Recentemente, satélites utilizando sensores de alta resolução temporal e média resolução espacial como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) tornaram-se operacionais.

Os produtos MODIS relativos aos índices de vegetação permitem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, para monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte à detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia (Anderson et al., 2003).

Entretanto, o uso de dados de sensores de baixa resolução espacial inevitavelmente ocasiona uma classificação errônea, devido à falha em descobrir pequenos objetos no subpixel (como por exemplo, as clareiras dentro das florestas), ou devido à resposta espectral misturada dos pixels de borda que estão em contato com as classes floresta e não floresta. 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 (ou componente) de interesse são identificados, e seus espectros usados para definir a assinatura do *endmember* no Modelo de Mistura Linear Espectral (MLME) (Cross et al., 1991).

Neste sentido, o presente trabalho compara a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral com o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e com o índice de vegetação melhorado (EVI) no estado de Minas Gerais, com o objetivo de determinar a existência de correlação entre as variáveis ambientais que serão utilizadas no projeto “Desenvolvimento de um sistema de informação para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais”.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo do trabalho compreende o estado de Minas Gerais. Foram utilizadas quatro imagens MODIS MOD13Q1 (h14v10, h14v11, h13v10 e h13v11) para cada data selecionada (17/01/2002 e 28/07/2002). As oito imagens foram reprojetaadas através do software MODIS Reprojection Tool 3.2. Todos os demais processamentos foram realizados no software SPRING 4.1, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em ambiente Windows.

2.2 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, individualmente, 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:

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

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).

2.3 NDVI e EVI

O NDVI retém certas propriedades favoráveis que reduzem o ruído e a incerteza associada às características do instrumento e fontes externas de ruído (por exemplo, sombra de nuvem), mas existem certas desvantagens, como por exemplo, a não linearidade, problemas de saturação do sinal em regiões de alta concentração de biomassa e sensibilidade para expor fundos de solo em áreas de vegetação escassa (Running et al., 1994; Justice et al., 1998). O NDVI pode ser calculado através da fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (3)$$

onde: ρ_{IVP} = reflectância do infravermelho próximo; ρ_V = reflectância do vermelho.

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação através da redução das influências atmosféricas e da influência do solo no fundo do dossel (Justice et al., 1998; Weir & Herring, 2004). O EVI pode ser calculado através da seguinte equação:

$$EVI = G * \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C_1 * \rho_V - C_2 * \rho_A + L} \quad (4)$$

onde: ρ_{IVP} = reflectância do infravermelho próximo; ρ_V = reflectância do vermelho; ρ_A = reflectância do azul; C_1 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no vermelho; C_2 = coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera no azul; L = fator de ajuste para o solo; G = fator de ganho.

Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$ e o fator de ganho $G = 2,5$ (Justice et al., 1998).

2.4 Aplicação do MLME nas imagens MODIS

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; para ambas as imagens (janeiro e julho de 2002).

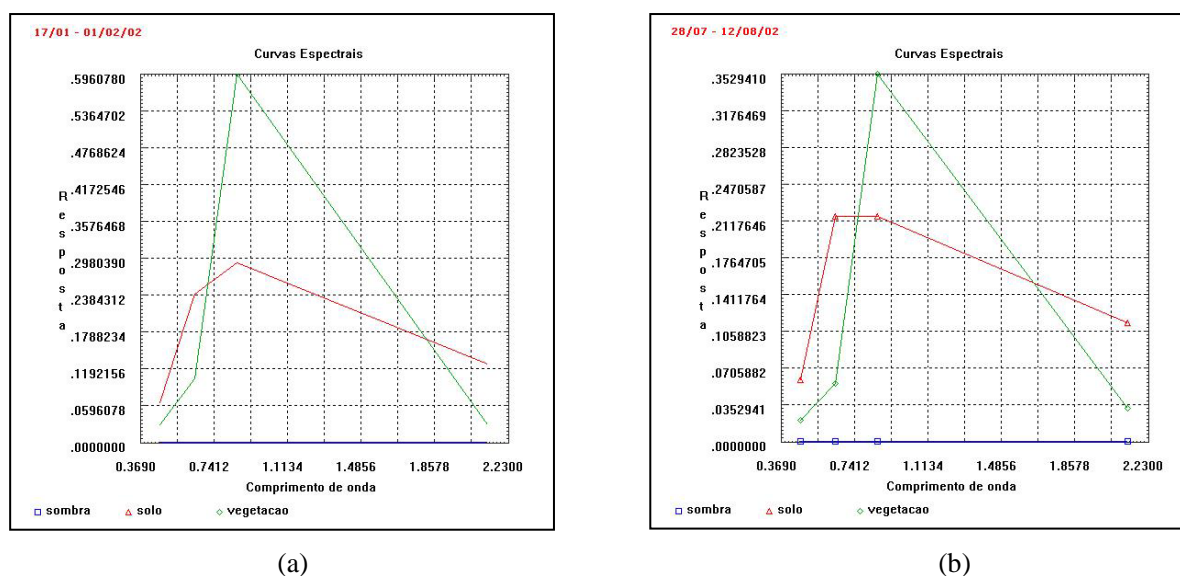


Figura 1. Resposta espectral dos componentes *vegetação*, *solo* e *sombra* extraídos das imagens MODIS 17/01/2002 (a) e 28/07/2002 (b).

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.

São apresentados os índices de vegetação (NDVI e EVI) e as imagens-fração de janeiro e de julho de 2002, para o estado de Minas Gerais, na **Figura 2** e na **Figura 3** respectivamente.

Nas **Figuras 2 e 3**, podem ser observados que os valores mais altos (pixel claro) apresentam um comportamento semelhante na imagem-fração *vegetação* e no EVI. Também observa-se que o NDVI apresenta um comportamento semelhante, porém inverso com a imagem-fração *solo*.

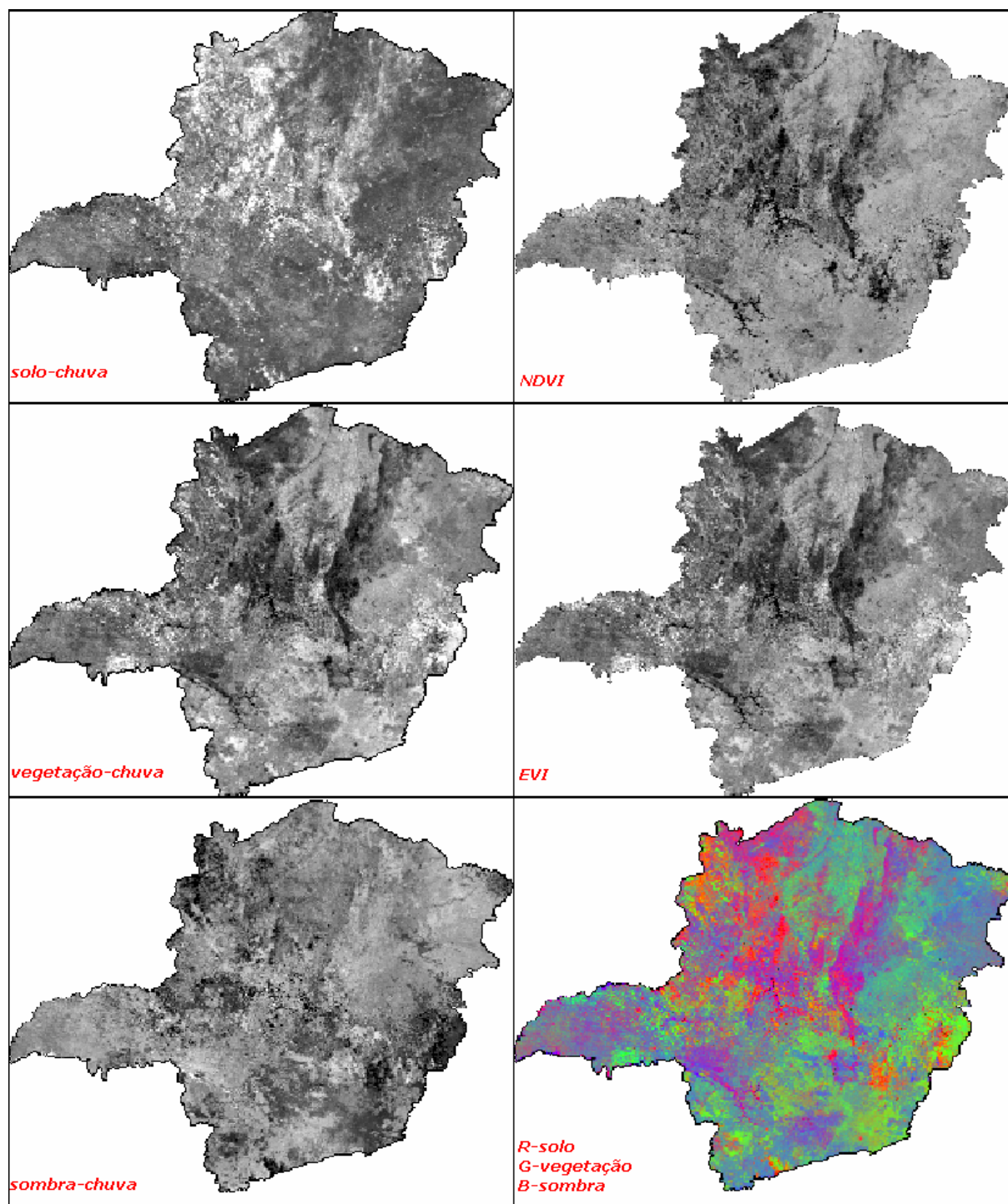


Figura 2. Imagens-fração *solo*, *vegetação* e *sombra*; índice de vegetação NDVI e EVI; e composição colorida R = *solo*, G = *vegetação* e B = *sombra*; de 17/01/2002.

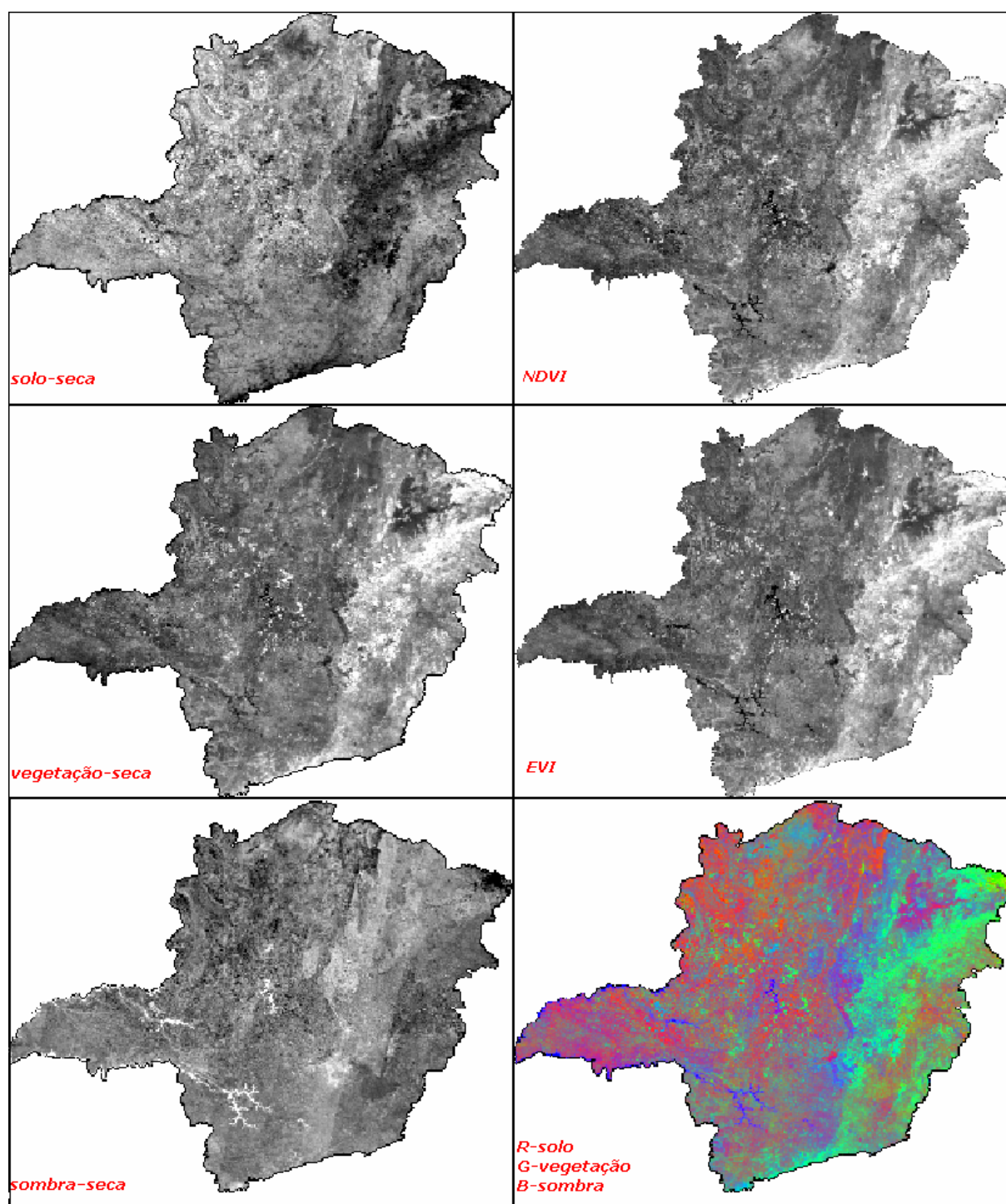


Figura 3. Imagens-fração *solo*, *vegetação* e *sombra*; índice de vegetação NDVI e EVI; e composição colorida R = *solo*, G = *vegetação* e B = *sombra*; de 28/07/2002.

Foram selecionadas aleatoriamente 851 pixels dentro do estado de Minas Gerais. As comparações entre as imagens-fração e os índices de vegetação foram através da análise de correlação entre cada variável, nos dois períodos (janeiro e julho de 2002).

Na **Figura 4** são apresentados o diagrama de dispersão e as correlações entre os índices de vegetação e as imagens-fração *vegetação*, *solo* e *sombra* para as datas de janeiro e julho. Pode-se observar que existe uma alta correlação entre a imagem-fração *vegetação* e o EVI (0,90 e 0,96; para as imagens de janeiro e julho respectivamente), e entre a imagem-fração

solo com o NDVI (-0,86 e -0,88; janeiro e julho respectivamente). Estes resultados parecem indicar que os efeitos da atmosfera e do solo influenciaram no resultado do NDVI principalmente na época de chuva onde o efeito do solo é maior entre as áreas de vegetação escassa. Também pode ser observado que tanto a imagem-fração *vegetação* como o EVI, apresentaram maior correlação com o NDVI na imagem de julho (0,85 e 0,91), do que na imagem de janeiro (0,65 e 0,63). Isto pode ser explicado por julho apresentar uma quase ausência de chuvas, tornando a vegetação seca e assim atenuando o efeito da influência do solo no NDVI.

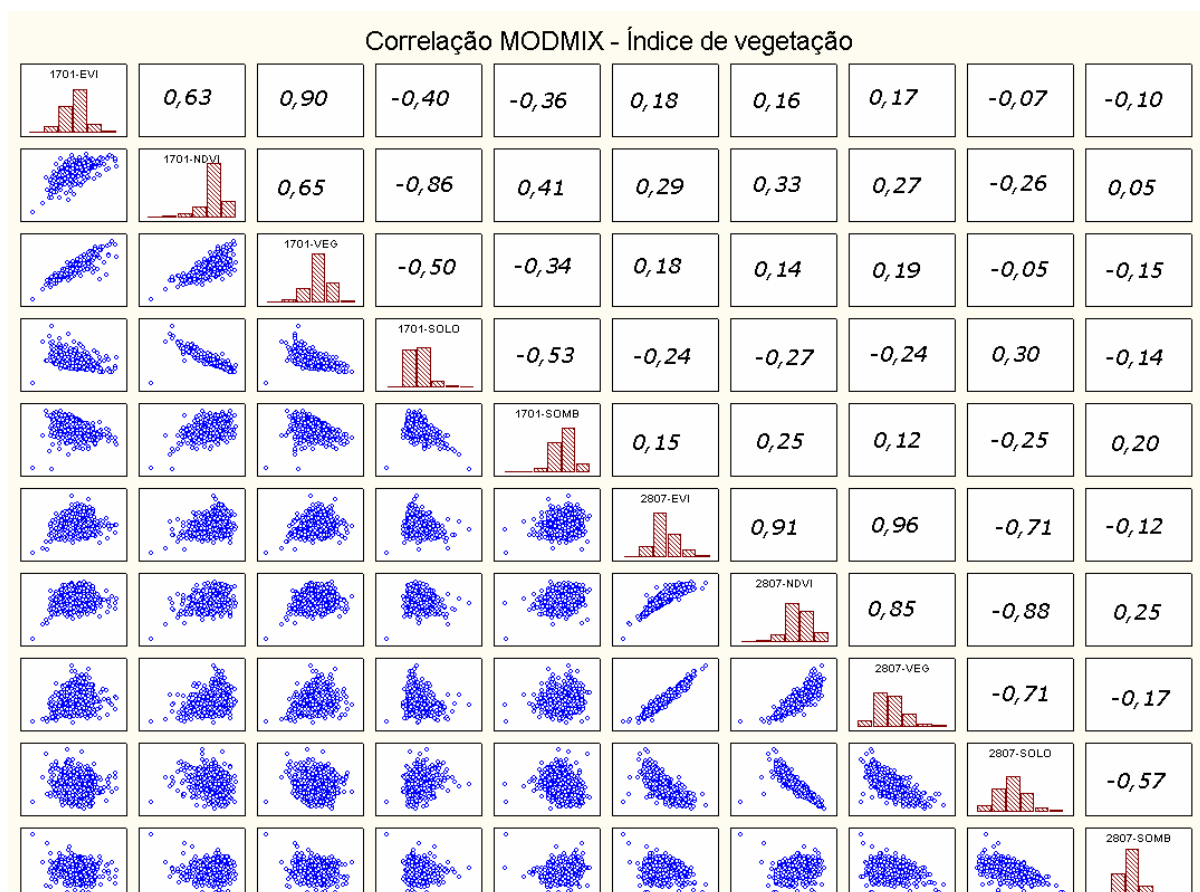


Figura 4. Matriz de correlação entre os seguintes termos de cima para baixo e da esquerda para a direita: EVI (17/01), NDVI (17/01), *vegetação* (17/01), *solo* (17/01), *sombra* (17/01), EVI (28/07), NDVI (28/07), *vegetação* (28/07), *solo* (28/07), *sombra* (28/07).

Ainda na **Figura 4**, observa-se que as correlações foram maiores em julho do que em janeiro para todas as variáveis, exceto para a imagem-fração *sombra* que apresentou valores de correlação mais altos com as demais variáveis em janeiro quando comparados aos de julho. Provavelmente, isto se deve ao aumento de chuvas em janeiro e também, a maior incidência de sombra das árvores.

4. Conclusões

A imagem-fração *vegetação* do MLME apresentou maior correlação com o EVI, enquanto que a imagem-fração *solo* apresentou maior correlação com o NDVI, para ambas as datas. O índice de vegetação EVI atenua a influência atmosférica e do solo, como reportado por Justice et al. (1998), Weir & Herring (2004) e, portanto, os resultados obtidos indicam que o mesmo

ocorre com as imagens-fração *vegetação* do MLME, o que torna essas imagens mais adequadas que o NDVI para aplicações na detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia da vegetação.

Outro aspecto que estamos considerando nessa pesquisa é a determinação de alta correlação dos índices de vegetação NDVI e EVI com as imagens-fração *vegetação* e *solo*, podem influenciar na escolha das variáveis para a realização da regressão múltipla do projeto “Desenvolvimento de um sistema de informação para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais” e, também o fato das variáveis não apresentarem uma alta correlação entre a época seca com a chuvosa demonstra que poderão ser utilizadas as variáveis de ambas as épocas na regressão.

Recomenda-se que utilizem imagens MODIS de outras datas e locais, para verificar a ocorrência da alta correlação entre imagem-fração *vegetação* e o EVI, e entre a imagem-fração *solo* e NDVI, como foi obtido neste trabalho.

Agradecimentos

Os autores reconhecem o suporte do CNPq (processos 309922/03-8; 300927/92-4) e processo 380203/2004-9 (bolsa DTI de Ricardo J. P. S. Guimarães); Fapemig (processo EDP 1775/03; bolsa IC para Gustavo R. Melo e bolsa DTI para Ronaldo G. C. Scholte).

Referências

- Anderson, L. O.; Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Carvalho Junior, O. A. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. 58p.
- Carvalho, O. S.; Dutra, L. V.; Amaral, R. S.; Mourão, A. C. M.; Freitas, C. C.; Correa, V. R.; Drummond, S.; Scholte, R. G. C.; Freitas, R. R.; Guimarães, R. J. P. S.; Melo, G. R.; Guerra, M. Desenvolvimento de um sistema de informações para o estudo, planejamento e controle da esquistossomose no Estado de Minas Gerais. In: Seminário de Geoprocessamento da UFMG, 1, 2004, Belo Horizonte. **CDROM**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.
- 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.
- Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J. R.G.; DeFries, R.; Roy, P.D.; Hall, D.K.; Salomonson, V.; Privette, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, B.; Knyazikhin, Y.; Running, W.S.; Nemani, R.R.; Wan, Z.; Huete, A.R.; Leeuwen, W.V.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1228-1247, July, 1998.
- 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.
- Running, S.W.; Justice, C.; Salomonson, V.; Hall, D.; Barker, J.; Kaufman, Y.; Strahler, A.; Huete, A.; Muller, J.P.; Vanderbilt, V.; Wan, Z.M.; Teillet, P.; Carneggie, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 17, p.3587-3620, 1994.
- 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.
- Weier, J.; Herring, D. **Measuring vegetation (NDVI & EVI)**. [on line] <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_4.html> nov. 2004.