

Análise de Séries Temporais MODIS e TRMM nas áreas de caatinga, cerrado e floresta

Egídio Arai
Marcos Adami
Ramon Morais de Freitas
Yosio Edemir Shimabukuro
Vadlamudi B. Rao
Mauricio Alves Moreira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Av. dos Astronautas, 1758
CEP 12227-010, São José dos Campos, SP, Brazil
{egidio, adami, ramon, yosio, mauricio}@dsr.inpe.br, vbrao@cptec.inpe.br

Abstract. The Brazilian northeast in most part is characterized by the semi-arid climate, presenting high temperatures and little amount of rains. Meanwhile in January 2004 occurred strong rainfalls that motivated this study of vegetation green up in that region. The aim of this paper is to evaluate the vegetation response in the Northeast Brazil through Linear Spectral Mixture Model and precipitation data analysis. The Linear Spectral Mixture Model was applied to Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data to generate vegetation, soil, and shade fraction images. The MODIS images were acquired from January 2001 to December 2007 time period. The MOD13A3 Vegetation Indices monthly product with 1 km spatial resolution was used. The precipitation data was derived from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). The study area encompasses thorny scrub (caatinga), transitional rain forest, savanna (cerrado), transitional palm forest, tropical semideciduous forest and agricultural areas. Time series analysis techniques were used to compare the response of land cover in the vegetation, soil and shade fraction images with precipitation data. The Principal Component Analysis was applied to fraction images to obtain the spatial variability in the study area. The autocorrelation results showed the temporal dependence between spectral response and precipitation data. The thorny scrub response showed in the vegetation, soil and shade fraction images presented significant correlation with precipitation and showed more variability than transitional rain forest.

Palavras-chave: Linear Spectral Mixture Model, MODIS, TRMM, Precipitation, Modelo Linear de Mistura Espectral, precipitação

1. Introdução

Compreender como a vegetação responde às variações climáticas é um ponto crítico para modelar os processos de mudanças globais. O Nordeste Brasileiro (1° a 18° S e 35° a 47° W) é caracterizado, em sua maior parte por um clima semi-árido com altas temperaturas e baixa quantidade de chuva. Alguns estudos sugerem a presença de três regimes de chuva: No norte o regime de chuva é regulado pela ITCZ (*Atlantic Intertropical Convergence Zone*), na costa leste as chuvas são reguladas pelos ventos frontais e no sul dependem das entradas de frentes frias (Strang, 1972, Kousky, 1979, Rao et al., 1993). Esta região possui alta diversidade biológica e os principais biomas são: caatinga, mata atlântica, cerrado, matas dos cocais e floresta estacional semidecidual (IBGE, 1993).

Diversos estudos indicam que os dados e técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizados no monitoramento da vegetação natural utilizando séries temporais que comparam dados espectrais da vegetação com dados de precipitação (Batista et al., 1997; Liu e Juaréz, 2001; Gurgel et al., 2003; Barbosa et al., 2006). Esses trabalhos utilizaram índices de vegetação derivados de imagens do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*). Este sensor, em virtude da sua resolução espacial, falta de correções atmosféricas nas imagens e dificuldade para registro das mesmas, acrescenta restrições ao processo de obtenção e análise dos dados em escala regional. Os dados MODIS (*Moderate*

Resolution Imaging Spectroradiometer) apresentam uma melhora em relação aos dados AVHRR nas questões relacionadas ao projeto do sensor, processamento e distribuição dos dados. Nesse sentido, a qualidade do georeferenciamento das imagens MODIS (Wolfe et al., 2002) permite a elaboração de séries temporais com boa precisão. Combinando as características das imagens (qualidade geométrica, radiométrica, espectral e temporal) com os algoritmos de geração de produtos validados (Justice et al., 2002), é possível estimar, por exemplo, parâmetros biofísicos da vegetação. Nesse sentido, os produtos voltados para aplicações terrestres gerados pelo MODIS estão direcionados para o monitoramento da cobertura vegetal do planeta, identificando mudanças e variabilidade com o clima e tempo (Justice et al., 2002). Estes avanços no projeto de sensores e distribuição de dados aconteceram também com relação a estimativa de precipitação. Prova disto é o programa TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) que fornece estimativas de 3 em 3 horas, integradas para o dia e mês, da quantidade de precipitação nas regiões intertropicais do planeta (Huffman et al., 2007).

Dadas as características de resolução espacial das imagens do sensor MODIS, o problema da mistura espectral é intrínseco ao processo de formação do pixel. Para tentar solucionar esse problema pode-se utilizar o modelo linear de mistura espectral. Basicamente, o modelo é uma técnica de processamento de imagem que decompõem o espectro formador do pixel para determinar a fração da área ocupada pelos componentes (Shimabukuro e Smith, 1991). Normalmente são utilizados os componentes vegetação, solo e sombra que podem ser obtidos diretamente na imagem através da seleção de pixels puros ou derivados de bibliotecas espectrais. Em geral, a fração vegetação, similar aos índices de vegetação, possui relação intrínseca com a fenologia da vegetação.

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a variabilidade da resposta espectral dos diferentes biomas do Nordeste Brasileiro e a sua relação com os regimes de precipitação, utilizando as séries temporais de imagens fração vegetação, derivadas de imagens MODIS, e de precipitação, obtidas pelo TRMM.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo está localizada na zona equatorial, entre 0 a 10°S de latitude e 35 a 50°O de longitude. A Figura 1 apresenta o mapa de cobertura da vegetação com os três principais biomas: cerrado, caatinga e floresta tropical (IBGE, 1993) usado como informação auxiliar.

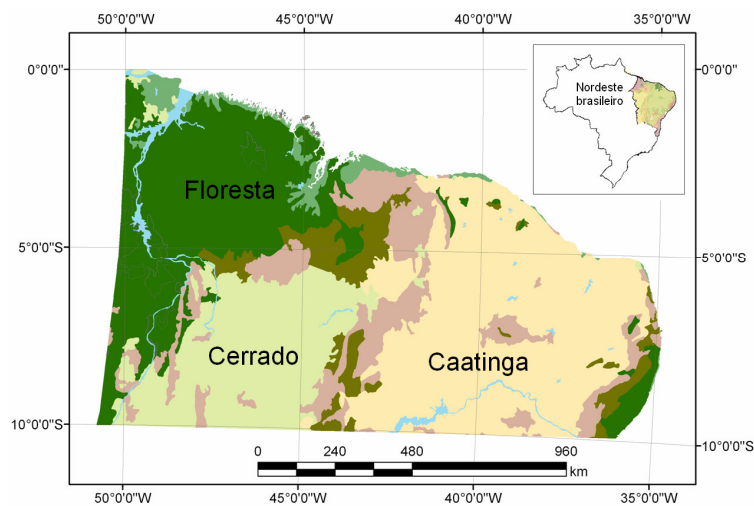


Figura 1. Mapa da cobertura vegetal da área de estudo (IBGE, 1993).

Este trabalho utilizou imagens MODIS, do produto MOD13A3, com resolução espacial de 1km e composição mensal. Este produto é composto pelas imagens NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), banda do vermelho (*Red*, 620-670 nm), infravermelho próximo (NIR, banda 841-876 nm), azul (*Blue*, 459-479 nm) e infravermelho médio (MIR, 2105-2155 nm). Foram utilizados dois *tiles* (H13V09 e H14V09) que cobrem a maior parte do nordeste brasileiro e uma pequena parte da região norte com amostra da floresta amazônica. Este produto foi adquirido a partir de janeiro 2001 a dezembro de 2007 totalizando 84 imagens. Os dados foram pré-processados no software MRT (MODIS Reprojection Tool 4.0) realizando o mosaico, reprojeção das imagens para projeção geográfica e Datum WGS-84 e conversão do formato HDF para GeoTiff, com resolução espacial de 1 km.

A estimativa de precipitação utilizada foi derivada dos dados TRMM, produto 3B43, com resolução espacial de ~30 km e resolução temporal mensal. Este produto é gerado por um algoritmo que estima a precipitação global combinando estimativas de múltiplos sensores orbitais passivos e ativos (Huffman et al., 2007). Estes dados de janeiro de 2001 a dezembro de 2007 foram obtidos do sítio: <http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/>. Os dados TRMM foram pré-processados no software ENVI para converter do formato binário para o GeoTiff e para mesma resolução espacial (1 km) e projeção dos dados MODIS usando reamostragem por convolução cúbica.

O modelo linear de mistura espectral foi aplicado nas bandas azul, vermelho, NIR e MIR das imagens MODIS usando o mesmo conjunto de pixels puros (*endmembers*) para todas as datas. Após a aplicação do modelo obteve-se as 84 imagens para cada componente: fração vegetação, solo e sombra.

A fim de analisar a variabilidade dos diferentes usos e coberturas do solo, a técnica de componentes principais foi aplicada em todo o conjunto de imagens fração vegetação. Exemplos de caatinga, floresta e cerrado foram selecionados para análise visual do comportamento da fração vegetação e precipitação. Para cada exemplo, foi obtida a média dos dados em uma janela de tamanho 3x3 pixels. Após esta análise foi calculada a correlação temporal entre a precipitação e a fração vegetação para cada pixel da área de estudo.

3. Resultados

A técnica de componentes principais (CP) aplicada a todo conjunto das imagens fração vegetação permite analisar o uso e cobertura do solo bem como a variabilidade espacial e temporal. A Figura 2 apresenta uma composição RGB com as três primeiras componentes. Nesta Figura a caatinga aparece em coloração laranja, áreas de floresta em verde e cerrado em ciano, áreas agrícolas em rosa e corpos d'água em azul. A técnica de componentes principais evidenciou os principais tipos de cobertura vegetal relatados pelo IBGE (1993) com riqueza de detalhes. Áreas agrícolas, de drenagem e de contato entre os diferentes tipos de vegetação também foram destacadas.

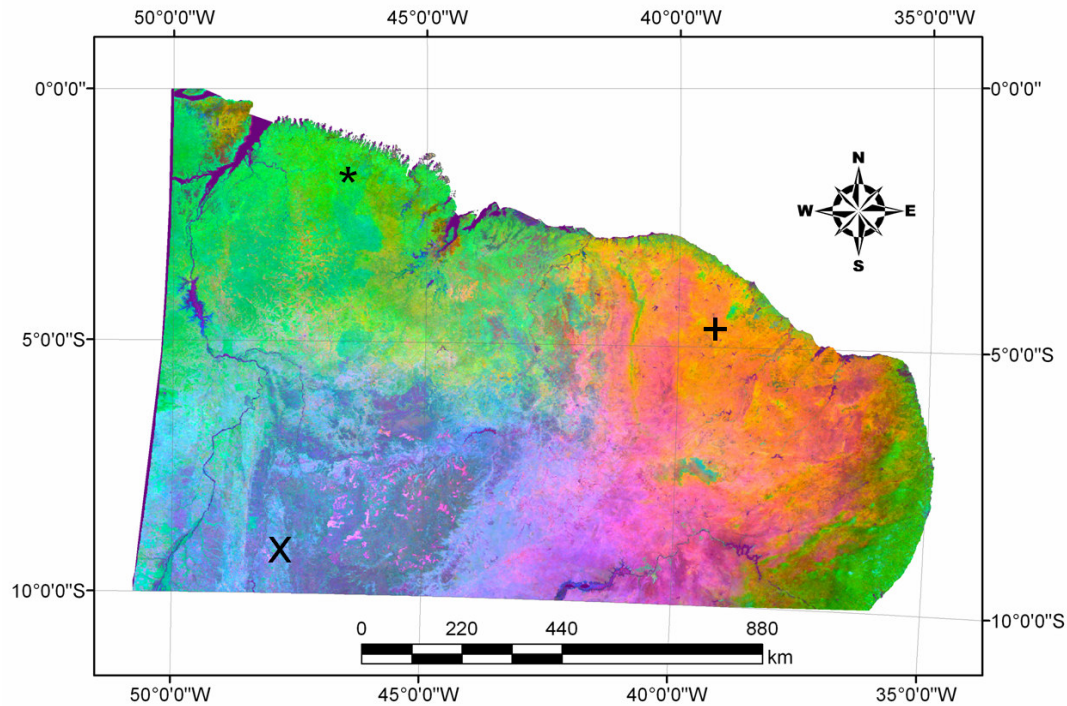


Figura 2. Composição colorida com as três primeiras componentes principais das imagens fração vegetação (CP2R, CP1G, CP3B). Localização da amostra de floresta (*), amostra de caatinga (+) e de cerrado(X).

Para melhor compreender a influência da precipitação na resposta espectral dos tipos de cobertura vegetal no Nordeste do Brasil, este estudo comparou algumas áreas exemplos. Estas áreas foram selecionadas a partir da composição colorida das 3 primeiras componentes (Figura 2) e do mapa de vegetação (Figura 1), selecionando amostras nas regiões de caatinga (+), cerrado (X) e floresta (*). A Figura 3 apresenta esta relação para a área exemplo de caatinga. Nesta Figura é possível observar dois períodos bem definidos nas variáveis precipitação e fração vegetação. Verifica-se que com o início da época chuvosa ocorre o rápido incremento dos valores da fração vegetação, enquanto que com o final do período chuvoso há um retardo entre o final da estação chuvosa e o decréscimo dos valores da fração vegetação. Os valores de precipitação mensal estimados pelo TRMM, durante o período chuvoso atingiram o máximo de 400 mm. Em média, durante este período os valores de precipitação ficam em torno de 150 mm, nos meses de seca a precipitação situa-se próxima a 0 mm, o que concorda com IBGE (1993). A fração vegetação durante o período chuvoso atinge valores superiores a 0,8, o que corresponde a uma cobertura de 80% de vegetação nos pixels analisados. Durante a época seca este valor chega a ficar abaixo de 0,2, o que indica baixa atividade fotossintética e ressalta as características fenológicas do bioma caatinga. A correlação entre a precipitação e a fração vegetação, neste exemplo é de 0,74. Esses resultados encontrados concordam com as pesquisas realizadas anteriormente, em diferentes regiões de semi-árido, com NDVI (Hess et al., 1996; Batista et al., 1997; Liu e Juarez, 2001; e Al-Bakri e Suleiman, 2004).

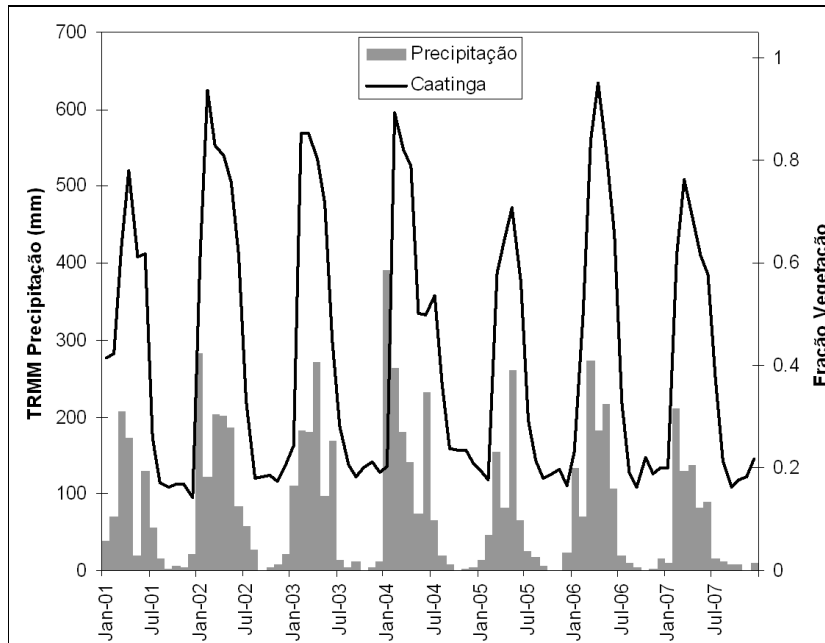


Figura 3. Série de precipitação e fração vegetação para a amostra de caatinga.

Um exemplo do comportamento temporal da precipitação e da fração vegetação sobre as áreas de cerrado é apresentado na Figura 4. Nesta área também há dois períodos de chuva bem definidos, porém a amplitude da precipitação é maior do que da caatinga, com valores máximo acima de 500 mm e valores médios em torno de 250 mm por mês, o que concorda com os resultados encontrados por Batista et al. (1997). No período seco, as precipitações situam-se próximas a zero, entretanto ao se comparar com a caatinga, o intervalo de tempo em que isso acontece é menor. Neste exemplo, a correlação entre a precipitação e a fração vegetação foi de 0,67. Os valores de fração vegetação durante o período chuvoso situam-se acima de 0,5. Porém, dada a estrutura da vegetação do cerrado, os valores não ultrapassam 0,8. Diferente do exemplo de caatinga, o aumento da fração vegetação não ocorre de imediato com início da estação chuvosa. Os valores mínimos da fração vegetação durante a época seca são superiores a 0,2, o que indica maior presença de atividade fotossintética do que na caatinga. Também se observa um retardo entre o final da época chuvosa e o início da redução dos valores da fração vegetação. Supõe-se que essa diferença esteja relacionada com balanço hídrico de água no solo.

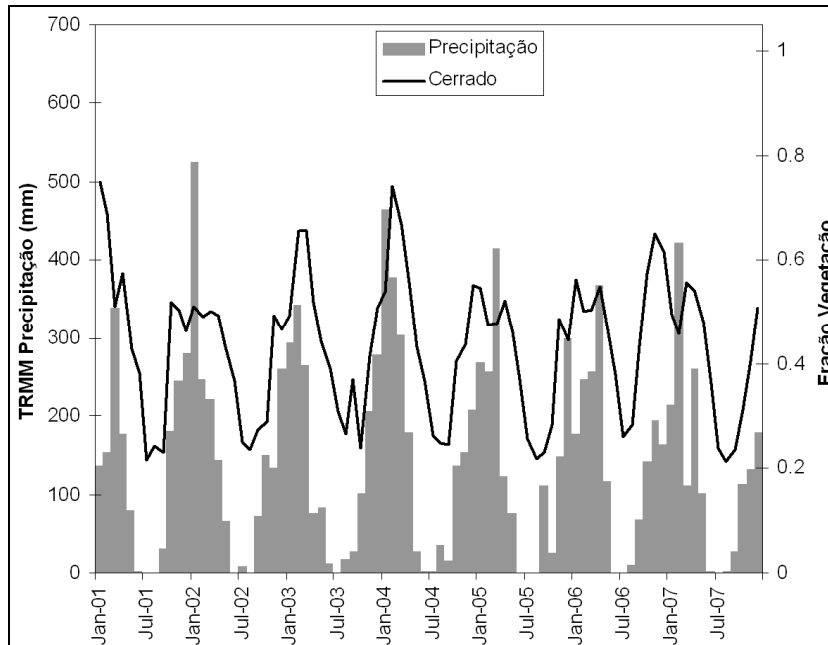


Figura 4. Série de precipitação e fração vegetação para a amostra de cerrado.

A Figura 5 mostra o exemplo das séries de fração vegetação e precipitação para uma área de floresta. Neste exemplo, a precipitação e a fração vegetação, tiveram uma correlação negativa. O valor foi de $-0,22$. Pode-se observar há existência de dois períodos de chuva bem definidos, o período chuvoso e seco. Durante o período chuvoso ocorre mais de 250 mm por mês, concordando com Batista et al. (1997). Embora exista a estação seca, a quantidade de chuva que ocorrem neste período é maior que nas áreas de caatinga e cerrado. Na série de fração vegetação não existe períodos bem definidos, fato que pode estar relacionado a presença de nuvens e a umidade do solo. Os valores de fração vegetação são superiores a 0,6 durante a maior parte do período analisado. Isto indica a presença de atividade fotossintética durante todo o período.

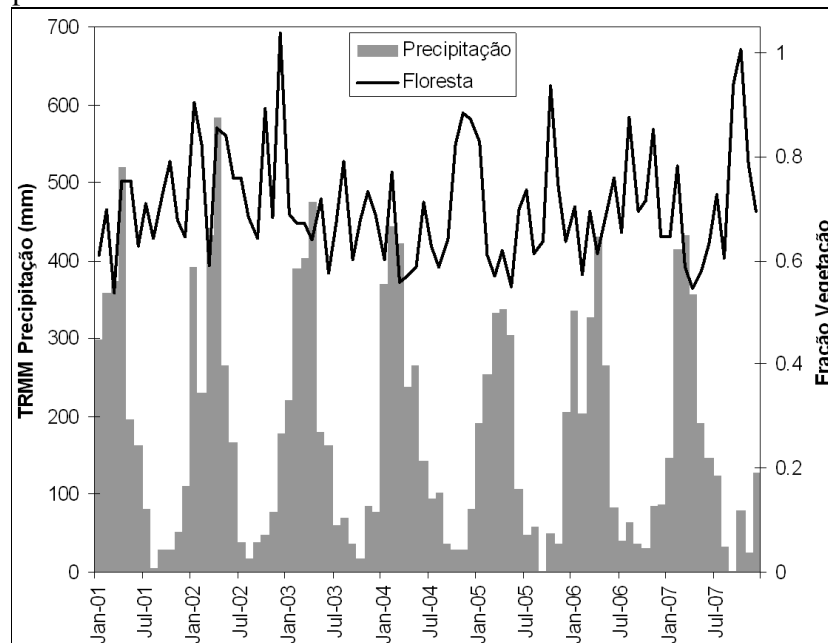


Figure 5. Série de precipitação e fração vegetação para a amostra de floresta.

Dada as correlações encontradas nos exemplos, realizou-se esta análise para toda a área de estudo. O resultado da correlação entre a precipitação e a fração vegetação para toda a área é apresentado na Figura 6. As áreas de caatinga e de cerrado apresentam correlações positivas com valores próximos a 0,8. Para as áreas de floresta as correlações são negativas com valores próximos $-0,4$. Pode-se observar que as áreas onde o déficit hídrico é menor, tais como áreas no entorno do rio São Francisco, rio Parnaíba e na Serra do Araripe, há uma redução nos valores de correlação, ficando próximos ou abaixo de 0,5. Esses valores encontram-se também nas áreas de transição entre os biomas, como observado nas áreas de contato entre a caatinga e o cerrado e floresta.

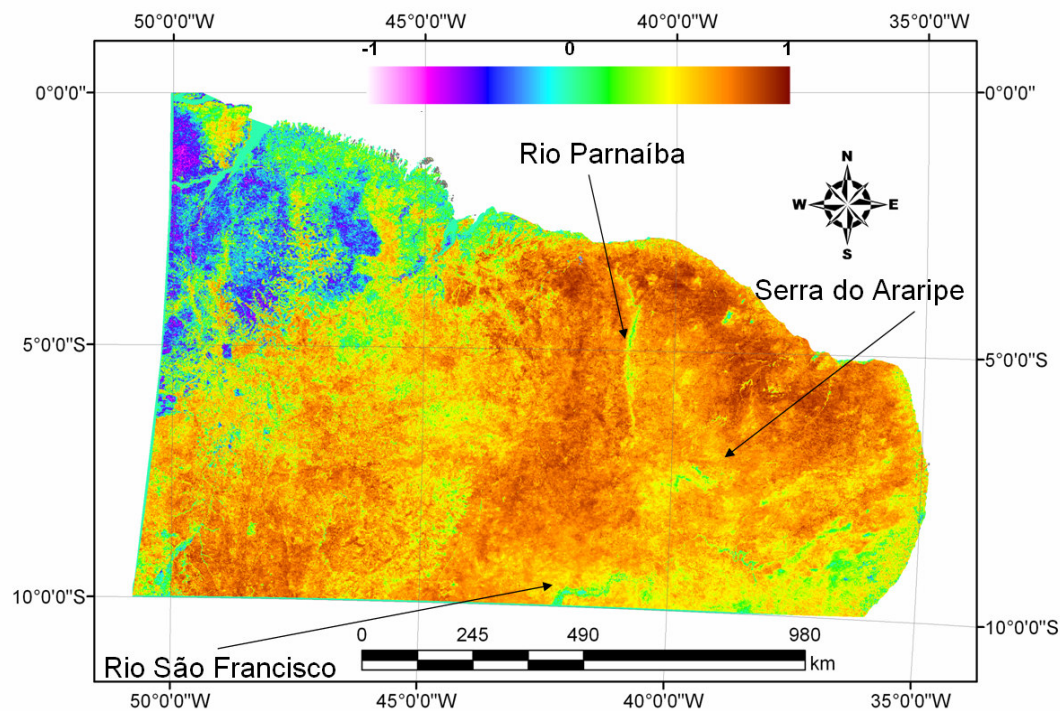


Figura 6. Correlação entre séries temporais de precipitação e fração vegetação.

4. Conclusões

A análise de componente principal, aplicada às séries de imagens fração vegetação, obteve a espacialização da variabilidade temporal dos biomas presentes na área de estudo. Os resultados da análise mostraram dependência temporal entre os dados de resposta espectral e precipitação nos biomas caatinga e cerrado. A resposta espectral na imagem fração vegetação nas áreas de caatinga e cerrado apresentaram correlação positiva com a precipitação. Nas regiões de florestas essa relação não foi tão evidente.

Referências Bibliográficas

Aguiar, A.P.D., Shimabukuro, Y.E. and Mascarenhas, N.D.A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.4, pp. 647–657, 1999.

Al-Bakri, J.T.; Suleiman, A.S. NDVI response to rainfall in different ecological zones in Jordan. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n. 19, p. 3897-3912, 2004.

Barbosa, H. A., Huete, A. R., Baethgen, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, p. 288-307, 2006.

- Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n. 15, p. 3195-3210, 1997.
- Gurgel, H.C.; Ferreira, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.18, p.3595-3609, 2003.
- Hess, T., Stephens, W. & Thomas, G. Modelling NDVI from decadal rainfall data in the North East Arid Zone of Nigeria. **Journal of Environmental Management**, v.48, p.249-261, 1996.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- Huffman, G.J., R.F. Adler, D.T. Bolvin, G. Gu, E.J. Nelkin, K.P. Bowman, Y. Hong, E.F. Stocker, D.B. Wolff, 2007: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, Feb. 2007.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil.**, Departamento de Recursos naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 1993, p. 154.
- Liu, W.T. and Juarez, R. N. ENSO drought Prediction of Northeast Brazil Using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n.17, p.3483-3501, 2001.
- Kousky, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, p.1140-1153, 1979.
- Shimabukuro, Y. E. and 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, Jan. 1991.
- Strang, D. M. G., **Climatological analysis of rainfall normals in Northeast Brazil.** Instituto de Atividades Espaciais, São José dos Campos, SP., Brazil, I.A.E.-MD2/72. 1972.
- Rao, V. B.; De Lima, M. C.; Franchito S. H. Seasonal interannual variations of rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal Climate**, Boston. v.6, p. 1754-1763, 1993.
- Wolfe, R.E.; Nishihama, M.; Fleig, A.J.; Kuyper, J.A.; Roy, D.P.; Storey, J.C.; Patt, F.S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 31-49, 2002.