

Dinâmica da resposta espectral de duas sub-regiões do Pantanal Sul-Matogrossense

Ramon Morais de Freitas ¹
Marcos Adami ¹
Luciana Miura Sugawara ¹
Yosio Edemir Shimabukuro ¹
Mauricio Alves Moreira ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ramon, adami, lmiura, yosio, mauricio}@dsr.inpe.br

Abstract. Pantanal wetland is characterized by variations in vegetation density, floristic composition and soil moisture regulated by floodplain pulse. In this context, this paper presents preliminary results of MODIS time-series analysis in the Pantanal region. The EVI, NDVI, NIR and MIR surface reflectance from MOD13 Vegetation Index product, 16 day composite images, from 2000 to 2006 year were acquired for investigation. Contour lines derived from SRTM data were used as systematic samples. The methodology uses the autocorrelation function and cluster analysis in the spatial and time domain. The results showed that the spectral response has a spatial and temporal dependence on the floodplain pulse. Cluster analysis explained the influence of the altimetry and landscape on the spectral response.

Palavras-chave: MODIS, autocorrelation, cluster analysis, time-series; MODIS, Autocorrelação, análise de agrupamentos, série temporal.

1. Introdução

O Pantanal é a maior área úmida tropical do planeta e está presente nos estados brasileiros do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, se estendendo até a Bolívia e Paraguai. A vegetação na planície pantaneira forma um mosaico fragmentado, dominado por Savana (cerrado), com formações que variam de cerradão a campo (inundáveis ou inundados), podendo, também, se encontrar Floresta Estacional em locais com pouca ou nenhuma inundação, tais como cordilheiras, capões e borda da planície (Abdon et al., 1998; Pott e Pott, 2004). Em sua maioria são terrenos quaternários aluviais em altitudes abaixo de 200 m (Pott e Pott, 2004). O solo é altamente arenoso, com predominância do Podzol Hidromórfico e das Areias Quartzozas Hidromórficas (Santos et al., 1997). O relevo do Pantanal é constituído por planícies de acumulação fluviolacustre, onde o padrão, a duração e a profundidade da inundação variam de acordo com a localização das chuvas, da forma de drenagem e da própria planície de inundação (Borges et al., 1997). O clima pode ser classificado como clima tropical de Savana (AW), de acordo com a classificação de Köppen, que é caracterizado por períodos anuais de chuva e estiagem coincidindo ou não com os períodos de cheia e seca.

Segundo Adamoli (1995) o regime de inundações é o fator ecológico fundamental do Pantanal e determina os pulsos dos principais processos bióticos e abióticos, bem como as composições específicas das unidades de paisagem. As alterações no regime de inundações fazem com que ocorram mudanças na cobertura vegetal (Padovani et al, 2000), o que acaba influenciando todo o bioma. De acordo com Shimabukuro et al (1998), alterações na cobertura vegetal do solo podem ser detectadas através da análise de imagens índices de vegetação. Porém, o monitoramento destas áreas é uma tarefa difícil devido às grandes extensões e à dificuldade de acesso (Pott e Pott, 2004). Neste sentido este trabalho tem como objetivo avaliar dados multitemporais obtidos pelo sensor MODIS para estudo da dinâmica espaço-temporal do pulso de inundação e sua influência na resposta espectral.

2. Material e Métodos

O estudo foi realizado em 2 sub-regiões do Pantanal, sendo uma delas a do Paiaguás (considerada a maior sub-região) com 27.082 km² e a sub-região da Nhecolândia com 26.921 km² (Silva & Abdon, 1998), que pode ser observada na **Figura 1**.

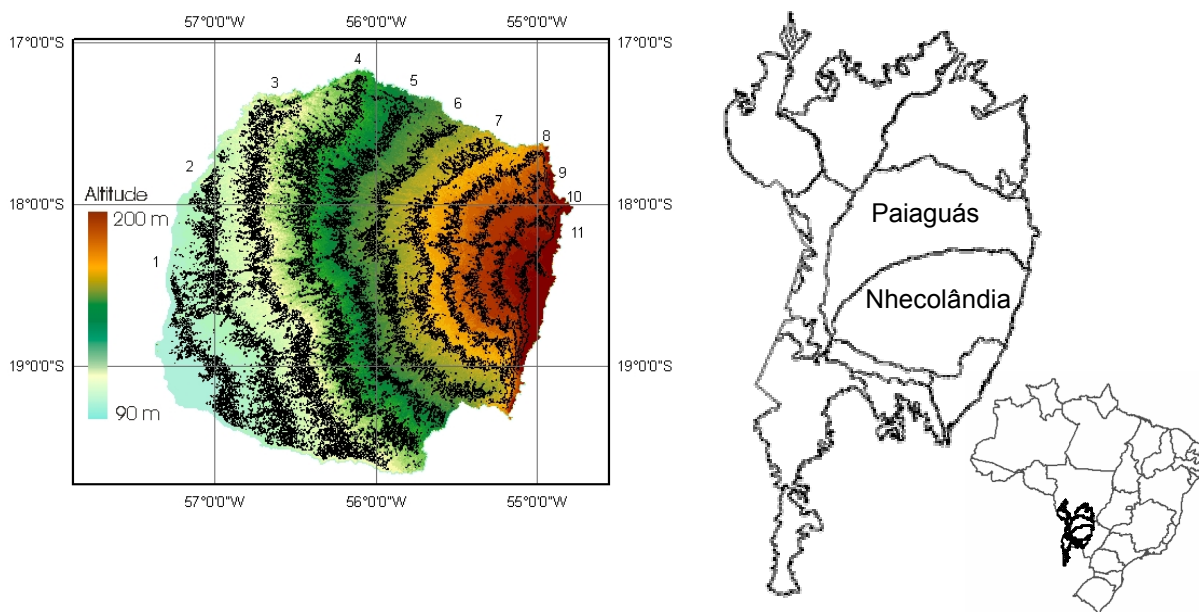


Figura 1. Localização da área de estudo e das amostras utilizadas para a análise, numeradas em ordem crescente de altitude.

Para o estudo foram selecionadas imagens MODIS/TERRA, produto MOD13-*Vegetation Index*, composição de 16 dias, referentes ao período de 2000 a 2006, totalizando 144 imagens. Paralelamente foram obtidos os dados de precipitação pluviométrica de 2000 a 2006, gerados pelo TRMM (NASA, 2006a).

A avaliação da influência do pulso de água na resposta espectral foi realizada com o uso de amostragem sistemática, sendo que as amostras foram obtidas nas curvas de nível. Desta forma, a abordagem metodológica consistiu na obtenção de curvas de nível espaçadas de 10 em 10 metros a partir dos dados altimétricos gerados pela missão SRTM (Rabu et al., 2003), totalizando 11 amostras, que se encontram numeradas na **Figura 1**. Para cada ponto da amostra foram obtidos os valores dos índices *Enhanced Vegetation Index* (EVI) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e dos valores de reflectância de superfície do Infravermelho Próximo (NIR) e do Infravermelho Médio (MIR) em cada data das imagens MODIS/TERRA. O valor de médio, por data e por amostra, foi utilizado para a análise de agrupamentos e para o cálculo da função de autocorrelação (ACF). A análise de agrupamentos hierárquicos foi realizada com o objetivo de investigar a similaridade entre a resposta espectral das diferentes amostras. Neste método, a distância máxima, estimada por meio da matriz de distância euclidiana entre pares de amostras, foi utilizada no processo de agrupamento, por meio do método de ligação completa (*farthest neighbor*) (Sharma, 1996).

Para a análise da dependência espaço-temporal dos dados foi utilizada a função de autocorrelação, que é tradicionalmente utilizada na análise de sinais e no estudo das séries temporais. Esta função calcula a correlação de uma série em diferentes passos no espaço e no tempo. Ou seja, permite que se entenda melhor o comportamento da dependência estatística entre os dados. A função de autocorrelação é a representação gráfica do coeficiente de autocorrelação em função dos diversos lags (passo entre os elementos da série) que podem ser atribuídos aos dados (Box e Jenkins 1994; Hamilton, 1994) e na sua forma simplificada é definida como:

$$R(t, s) = \frac{E[(X_t - \mu)(X_s - \mu)]}{\sigma^2}, \quad (1)$$

em que, E é a esperança do produto das variáveis aleatórias, X_t é o valor da variável aleatória no tempo t, X_s o valor da variável aleatória no lag s, σ^2 é a variância e μ é média da série. O domínio da função está ente [-1,1], onde valores próximos a um indicam a dependência estatística entre os dados.

3. Resultados e discussão

Os espectros amostrados apresentaram um comportamento temporal periódico, coincidindo com a variabilidade climática da área de estudo. Na **Figura 2** pode-se verificar que os picos dos índices de vegetação EVI, NDVI, e o NIR coincidiram com o mês de janeiro, época em que o desenvolvimento vegetativo atinge a plenitude em função da precipitação (**Figura 3**). Já o comportamento temporal dos valores de MIR apresentou um retardo quando comparado aos demais. Os maiores valores foram referentes à época seca, denotando a influência do solo exposto. Analogamente, os menores valores se referiam à estação chuvosa, e trazem a informação da quantidade de água sobre o solo. Além disso, o comportamento da variável MIR apresenta maior variabilidade entre as amostras.

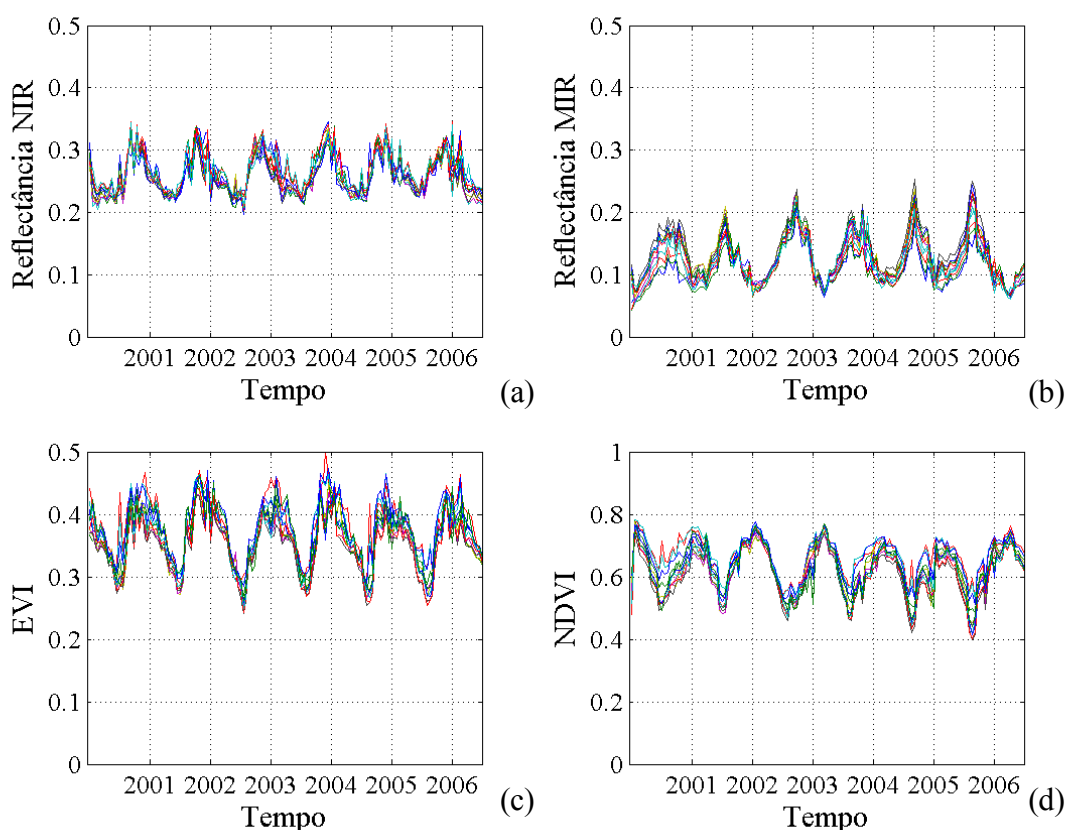


Figura 2. Comportamento temporal das variáveis analisadas. a) Valores de reflectância de superfície da banda do NIR; b) Valores de reflectância de superfície da banda do MIR; c) Valores de EVI; d) Valores de NDVI

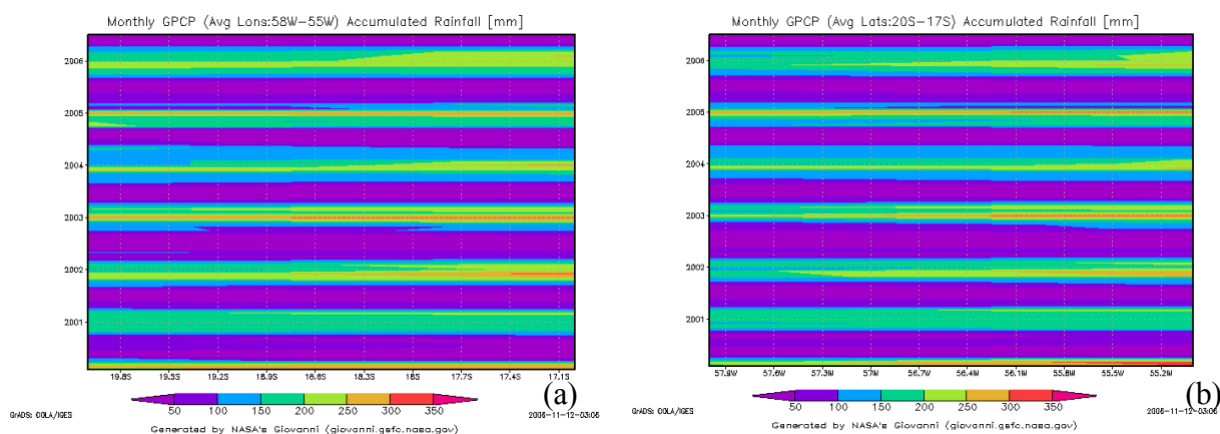


Figura 3. Estimativa de precipitação mensal para a área de estudo estimada pelo TRMM. a) Diagrama Hovmoller Longitude 55-58W. a) Diagrama Hovmoller Latitude 17-20S. Fonte: adaptada de NASA(2006)

Com o estabelecimento deste padrão periódico demonstrado na **Figura 2** passou-se a investigar a correlação das variáveis no domínio espaço-temporal (**Figura 4**). No domínio do espaço as variáveis NDVI, EVI e NIR apresentaram comportamento semelhante. Os correlogramas destas três variáveis indicaram que as mesmas sofreram influência de amostras localizadas a uma distância de lag igual a 2, com correlação positiva. Isso indica que há dependência espacial entre as amostras localizadas entre 20m de desnível. Com lag próximo de 6 a correlação se inverteu, mostrando que entre um desnível de 60m a 70m houve inversão nas relações entre os processos. Analisando a autocorrelação ao longo do tempo, pôde-se verificar que existe dependência espacial durante todo período no lag igual a 1. O comportamento para a variável MIR no domínio do espaço não apresentou padrão diferente das demais variáveis. Isso coloca em evidência a influência do solo nesta variável. O comportamento espectral do solo possui grande variabilidade devido à influência da sua cobertura e da composição. Com relação ao domínio do tempo a variável MIR também apresentou correlação com distância de lag igual a 1, entretanto, com valor de correlação menor do que as demais variáveis nesta distância. Nos lags com distância próximos a 6 também ocorreu a inversão da correlação, porém com valores de correlação menores do que os das demais variáveis a essa distância. Desta forma, o correlograma (**Figura 4**) corrobora o comportamento periódico apresentado na **Figura 2**.

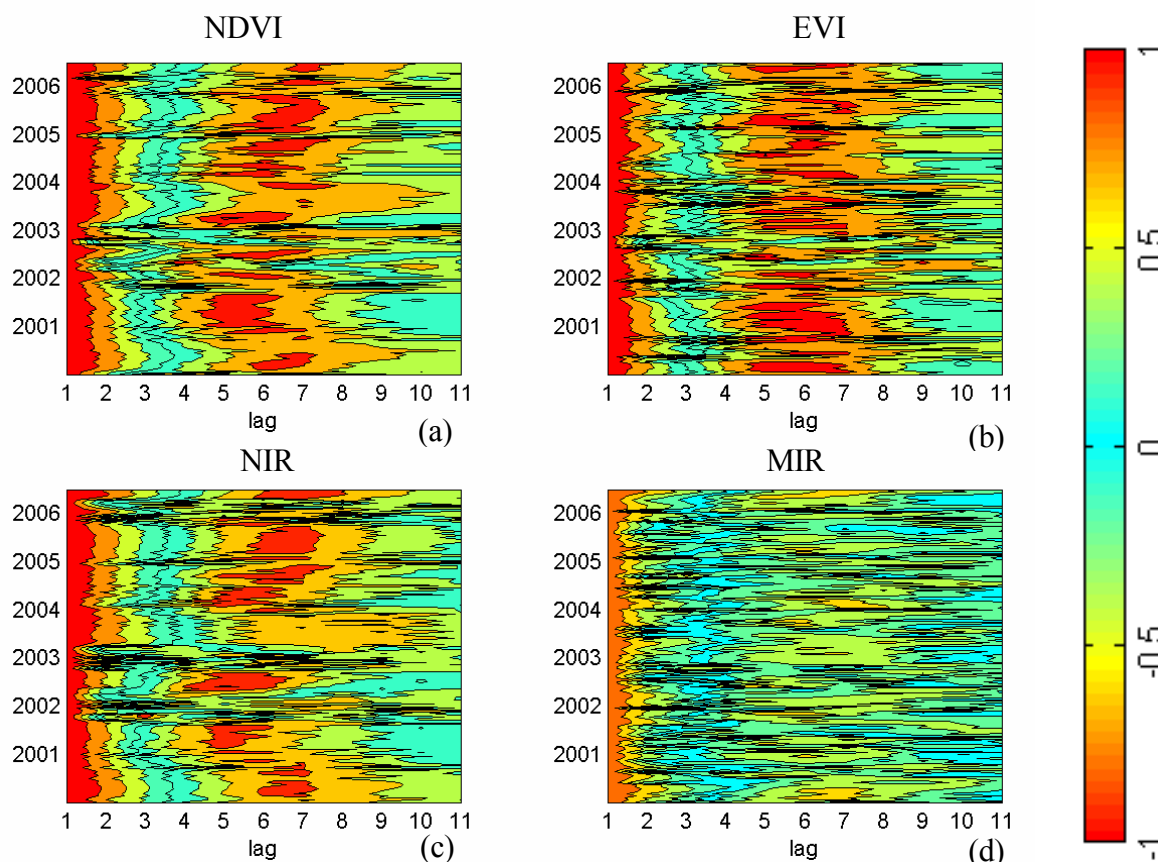


Figura 4. Correlograma das variáveis. a) NDVI; b) EVI; c) NIR e; d) MIR.

Com a determinação da correlação espaço-temporal e verificação que para lag igual a 1 há a influência tanto no tempo quanto no espaço para todas as variáveis (Figura 4), passou-se a investigar a correlação apenas no domínio do tempo para cada amostra (Figura 5). As variáveis NDVI, EVI e NIR apresentaram comportamento similar, a autocorrelação flutuou ao longo do tempo para todas as amostras. Ao final do período avaliado nesse estudo a correlação temporal tendeu a zero. Novamente destaca-se que o comportamento da variável MIR não apresentou a mesma uniformidade que as demais variáveis.

Para se ter uma idéia do comportamento da correlação das variáveis ao longo do tempo, foi gerado o gráfico de da função de autocorrelação (Figura 6) para o perfil selecionado (lag 6) na Figura 5. Neste gráfico (Figura 6) pode-se observar que há alta correlação temporal entre os dados da amostra 6 e que os mesmos obedecem a uma função periódica, ligada ao comportamento do da chuva na região (Figura 3). O comportamento apresentado na Figura 6 reflete uma propriedade da função de autocorrelação, em que funções periódicas apresentam autocorrelação periódicas com lags constantes.

A análise do comportamento temporal das variáveis (Figura 2, 4, 5 e 6) indicou que há um padrão periódico ao longo do tempo, entretanto, pelo dendograma (Figura 7) pode-se verificar que as amostras 1, 2 e 3 apresentaram comportamento similar em todas as variáveis analisadas. Estas 3 amostras formaram um agrupamento distanciado das demais, com relação ao EVI, NDVI e NIR (Figura 7 a, b e d). Entretanto, com relação ao MIR (Figura 7 c) as amostras 4 e 11 apresentaram comportamento semelhante ao agrupamento formado pelas amostras 1, 2 e 3. Acredita-se que a localização espacial das mesmas seja o principal fator para que isto ocorra. Para as demais amostras não aconteceu um agrupamento comum.

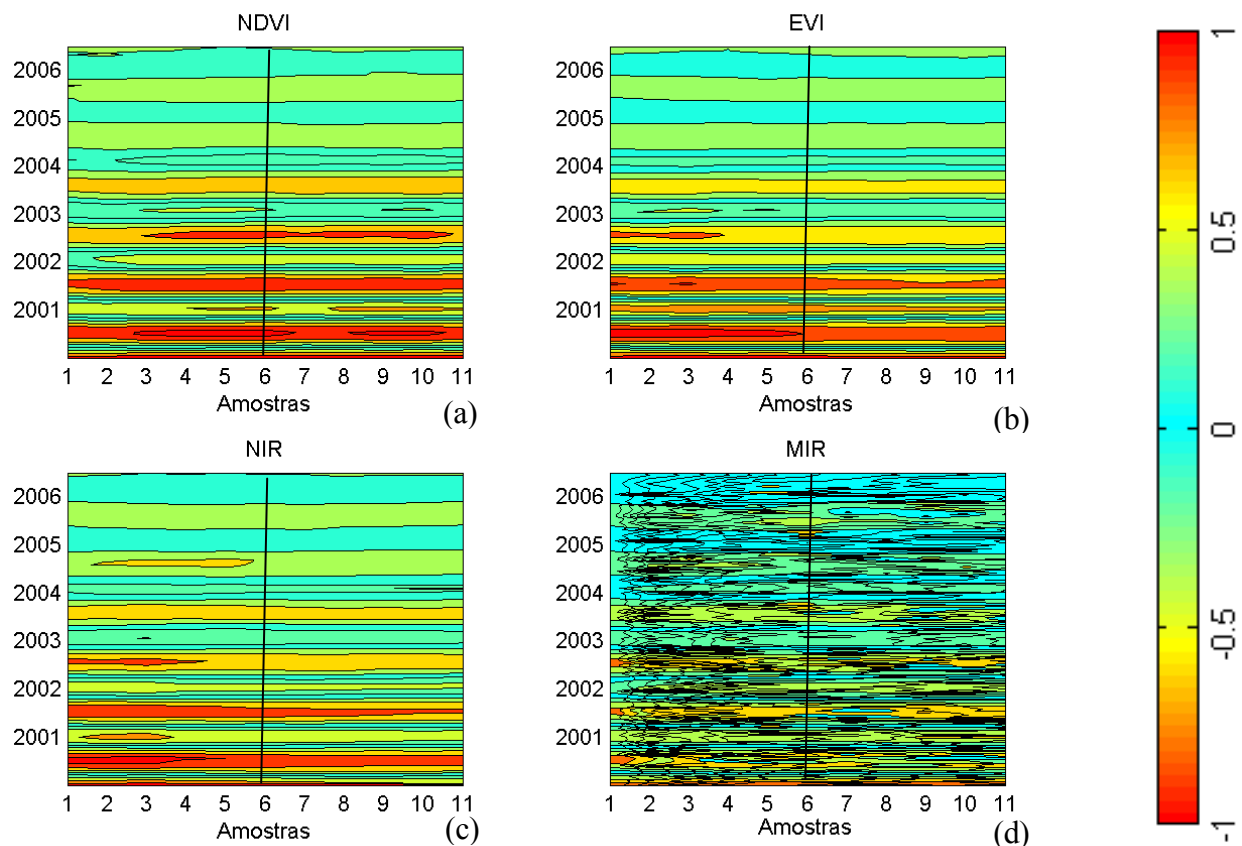


Figura 5. Autocorrelação temporal por amostras para variáveis a) NDVI; b) EVI; c) NIR e; d) MIR, e perfil selecionado

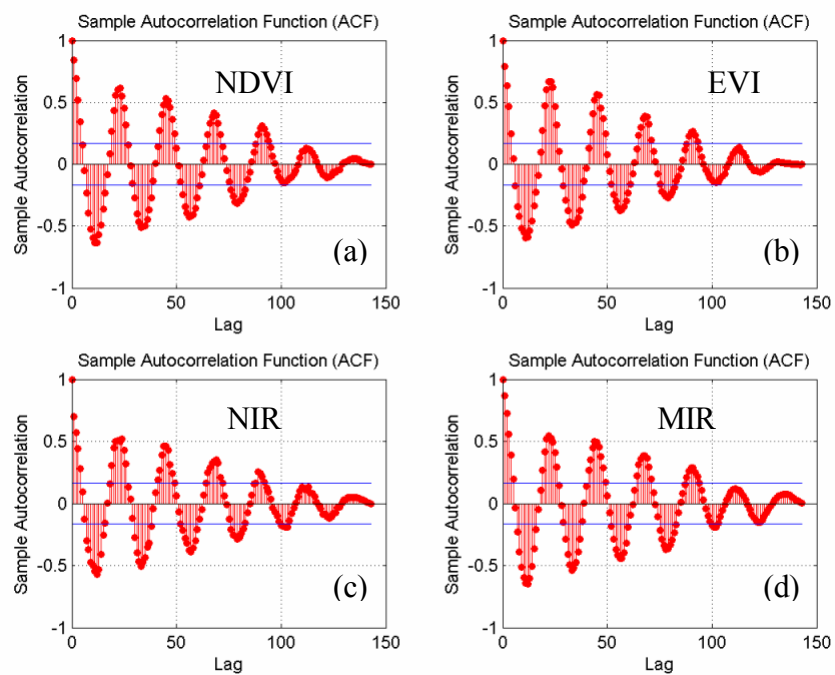


Figura 6. Função de autocorrelação para a amostra 6: a) NDVI; b) EVI; c) NIR e; d) MIR.

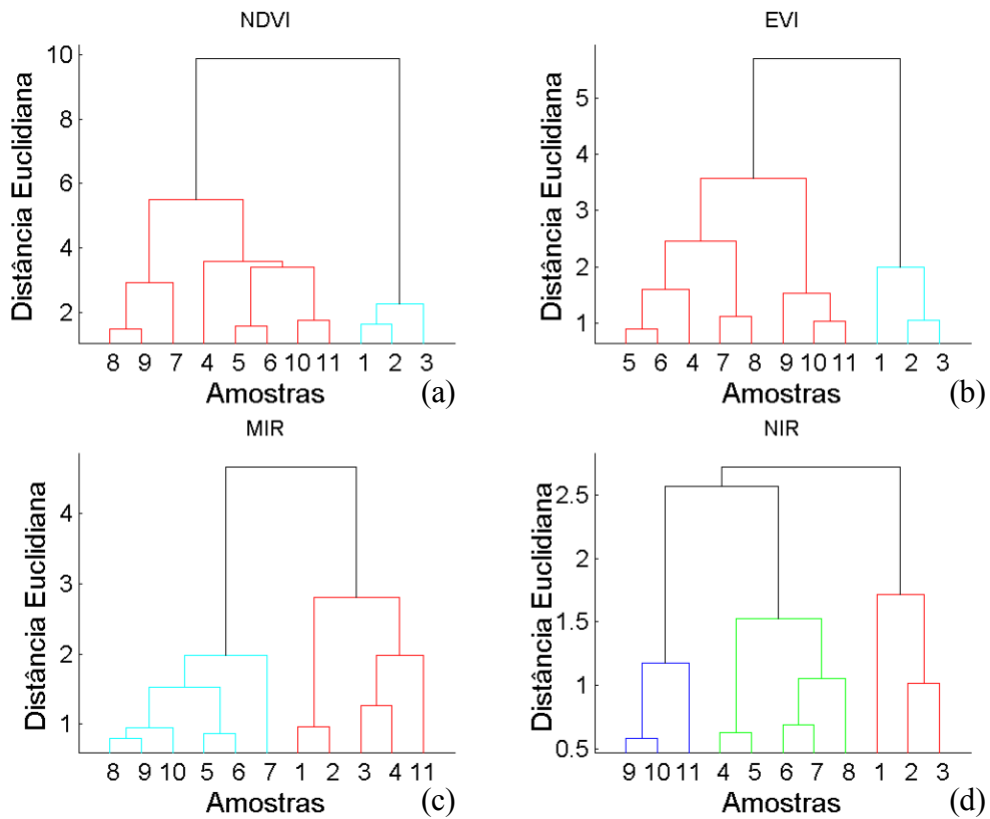


Figura 7. Dendrograma contendo as distâncias entre as amostras, por variável. a) NDVI; b) EVI; c) MIR e d) NIR.

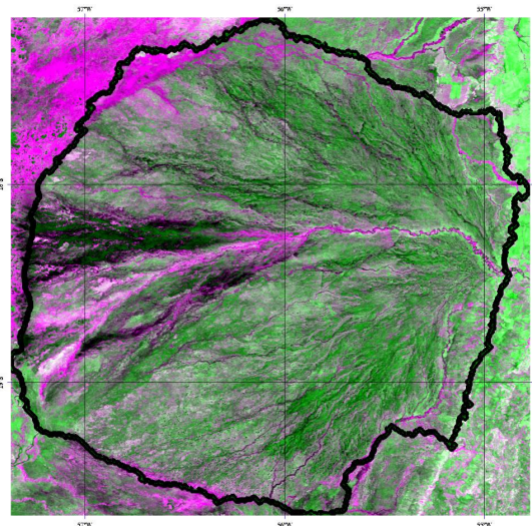


Figura 8. Composição colorida composta pela PC1(R), PC2(G) e PC1(B).

A partir do resultado das principais componentes das 144 imagens, pôde-se observar a razão para que as amostras 1, 2 e 3 estejam agrupadas. Isso é explicado pelas características da fitofisiográficas da área abrangida por estas amostras. A posição das amostras 1, 2 e 3 (**Figura 1**) com o resultado da principal componentes (**Figura 8**), pode-se afirmar que a paisagem abrangida por estas curvas se diferencia das demais, pois as amostras se localizam

em áreas mais alagadiças e permanecem nesta condição por um período de tempo maior. Isto se justifica pelo sentido do escoamento superficial na região, que ocorre de leste para oeste e também pelo fato da área de abrangência destas amostras apresentarem uma declividade menor, conseqüentemente a área demoraria mais para secar em relação à área das outras amostras. A **Figura 8** é resultado da composição colorida entre as bandas PC1(R), PC2(G) e PC1(B).

4. Conclusões

O EVI, NDVI, NIR e MIR foram capazes de representar o ciclo anual do regime hídrico que rege o Pantanal. A análise da função de autocorrelação mostrou que há dependência espacial para todas as variáveis em uma distância altimétrica de 20m. No domínio do tempo as variáveis possuem comportamento periódico regido pela sazonalidade climática, comprovado pela função de autocorrelação. Além disso no domínio espaço-temporal há diferenças entre a resposta espectral das amostras em função de sua posição geográfica demonstrada pela análise de agrupamentos. Recomenda-se que estudos futuros incluam as características fitofisiográficas nesta análise.

Referências

- Abdon, M.de M.; Silva, J. dos S.V. da; Pott, V.J.; Pott, A.; Silva, M.P. Utilização de dados analógicos do Landsat-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. especial, p.1799-1813, 1998.
- Adamoli, J. Zoneamento ecológico do Pantanal baseado no regime de inundações. In: ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL, 912, out, Corumbá. **Anais...** 1995. p. 15-17. Publicado como: INPE--PRE/. Disponível na biblioteca digital URLib:<<http://mtc-m16.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m16@80/2006/05.17.11.42>>. Acesso em: 13 nov. 2006.
- Borges, C.A.; Werle, H.J.S.; Rosa, D.B.; Paiva, D.J. de ; Moraes, E.P. de ; Silva, L.B.S.M. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente do Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP**, v.II, t.III. Diagnóstico dos meios físico e biótico. Brasília: MMA/PNMA, p.73-119, 1997.
- Box, G.E.P. Jenkins, G.M. **Time Series Analysis, Freccasting and Control**. 3^a ed.. SanFrancisco. Day. 1994.
- Hamilton, J.D., **Time Series Analysis**, Princeton University Press, 1994.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA) **Monthly TRMM and Others Data Sources Rainfall Estimate** Disponível em: http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B43.shtml. Acesso em: 15 out. 2006.
- Padovani, C.R; Cruz, L.L.; Padovani. S.L.A.G. Desmatamento do Pantanal Brasileiro para o ano 2000. In: Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômicos do Pantanal, IV, 2004, Corumbá. **Anais**. Disponível em: http://www.cpap.embrapa.br/agencia/simpan/sumario/artigos/asperctos/pdf/bioticos/611RB_Padovani_1_OKVis to.pdf. Acesso em: 11 nov. 2006.
- Pott, A.; Pott, V.J. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. **Wetlands Ecology and Management** 12: 547–552, 2004.
- Rabus, B. M.; Eineder, A. R.; Bamler R. The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, **Photogramm. Rem. Sens.**, v. 57, p. 241-262. 2003.
- Santos, R.D. dos ; Carvalho Filho, A. de; Naime, U.J.; Oliveira, H. de; Motta, P.E.F. da; Baruqui, A.M.; Barreto, W. de O.B.; Melo, M.E.C.C.M.; Paula, J.L. de; Duarte, M.N. **Pedalogia**. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP. v.II,tI. Diagnóstico dos meios físico e biótico. Brasília: MMA/PNMA, p.121-293, 1997.
- Sharma S., **Applied multivariate techniques**, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1996
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. especial p.1729-1737, 1998.
- Silva, J. dos S.V. da; Abdon, M.de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. especial, p.1703-1711, 1998.