

# RELAÇÃO NDVI E PRECIPITAÇÃO NA BACIA DO RIO COXIM - MS

*Rosilene Mendonça NICÁCIO<sup>1</sup>*

*Luciana Lima ARAUJO<sup>2</sup>*

*Elba Pereira GONZAGA<sup>3</sup>*

*Michely Inêz Prado de Camargo LIBOS<sup>4</sup>*

*Luciana Mara Temponi de OLIVEIRA<sup>5</sup>*

## Resumo

O uso e cobertura vegetal de uma determinada área são dependentes principalmente da disponibilidade hídrica e edáfica da região. Dentre estas, a disponibilidade hídrica apresenta maior variabilidade anual e interanual, ligada aos eventos de precipitação que acabam refletindo no estado/produtividade das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade espaço-temporal do NDVI na bacia do rio Coxim e compreender sua relação com a chuva. Os resultados encontrados mostram que a resposta da vegetação ao acréscimo de precipitação é mais rápida que a observada para a redução dos totais mensais pluviométricos, devido, principalmente, à capacidade de campo dos solos da área. A correlação NDVI-Chuva mensal apresentou valores significativos a 95% de confiança, com máximo para uma defasagem temporal de 2 meses. No entanto, há uma relação mais expressiva entre o NDVI e a chuva integrada em um determinado intervalo de tempo, respondendo mais efetivamente à chuva acumulada de quatro a cinco meses. Os valores de correlação foram mais baixos na região com predominância de agricultura, associado aos curtos ciclos de vida das culturas, além da mistura da resposta espectral, dada a resolução espacial do pixel utilizado (0,1°). Um melhor entendimento do NDVI e sua relação com a precipitação pode ajudar, dentre outros, no gerenciamento da produtividade agrícola, uma vez que o NDVI é um bom indicador do estado e verdor da vegetação, que por sua vez relaciona-se com os processos produtivos da planta.

**Palavras-chave:** Sensoriamento remoto. Processamento digital de imagens. Vegetação. Pantanal brasileiro. Coeficiente de correlação.

<sup>1</sup> Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA); Professora Adjunto do Curso de Engenharia de Agrimensura e Geografia; Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió – AL. E-mail: rmcnicacio@gmail.com.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA); Professora Assistente do Curso de Engenharia de Agrimensura e Geografia; Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió – AL. E-mail: lucianalimaaraujo@hotmail.com.br.

<sup>3</sup> Universidade Federal de Alagoas – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente (IGDEMA); Aluna do curso de graduação em Engenharia de Agrimensura; Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, CEP 57072-970, Maceió – AL. E-mail: elbagonzaga@hotmail.com.

<sup>4</sup> Instituto Federal Fluminense *Campus* Campos-Guarus; Professora de Ensino Técnico e Tecnológico em Meio Ambiente; Av. Souza Motta, 350, Parque Fundão, CEP 28013-450, Campos dos Goytacazes – RJ. E-mail: [mllibos@yahoo.com.br](mailto:mllibos@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – DGC/CREN; Av. República do Chile, 500, Centro, CEP 20031-170, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: luciana.temponi@ibge.gov.br

## Abstract

### NDVI and rainfall relationship in the Coxim River Basin - MS

The soil cover and the land depend mainly of the water and soil availability of the region. The water availability has higher annual and inter-annual variability than the soil, linked to precipitation events that reflecting the plants state/productivity. The aim of this work is to evaluate the spatial-temporal variability of NDVI in the Coxim river basin and understand its relationship with the rain. The results show that the response of vegetation to the increase of precipitation is faster than observed for the reduction of total monthly rainfall, due mainly to the field capacity of soils in the area. Correlation Rain-monthly NDVI values were significant at 95% confidence with a maximum lag time of 2 months. However, there is a more significant relationship between NDVI and rainfall in an integrated time; rain accumulated four to five months. The correlation was lower in the region with a predominance of agriculture, associated with short life cycles of crops, besides the mixture of the spectral response due the spatial resolution of pixels used (0.1°). A better understanding of NDVI and its relationship with precipitation can help, among others, management of agricultural productivity, since the NDVI is a good indicator of vegetation greenness, which in turn is correlated with the productive processes of the plant.

**Key words:** Remote sensing. Image processing. Vegetation. Brazilian Pantanal. Correlation coefficient.

## INTRODUÇÃO

As modificações na cobertura vegetal são, em geral, oriundas das atividades antrópicas, associadas ao aumento da demanda social pelos recursos naturais. As rápidas e intensas mudanças da cobertura do solo alteram a distribuição espacial de variáveis fundamentais à manutenção da vida na terra.

O monitoramento da distribuição espaço-temporal da vegetação, aliado ao entendimento do funcionamento global dos ecossistemas, é fundamental para bom planejamento de uma política consistente e eficiente de desenvolvimento sustentável. Segundo Los *et al.* (2000), o entendimento da distribuição espaço-temporal da vegetação propicia melhorias nas avaliações da interação entre biosfera, clima, ciclo hidrológico, balanço de energia e ciclos biogeoquímicos. No entanto, a despeito da grande importância do conhecimento mais detalhado da cobertura vegetal, é notória a escassez de medições *in situ* de parâmetros biofísicos da superfície. Diante disso, o sensoriamento remoto surgiu como uma alternativa na obtenção de informações necessária ao monitoramento da vegetação em grandes regiões. Um dos produtos que vem sendo amplamente utilizado são os índices de vegetação. Como exemplo cita-se o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que foi primeiramente discutido por Rouse *et al.* (1973). Muitos estudos têm relacionado o NDVI a variáveis hidrológicas, em especial a precipitação (NEZLIN *et al.*, 2005; AL-BAKRI; SULEIMAN, 2004).

Considerando que a região do Pantanal, situada no Centro-Oeste brasileiro, destaca-se especialmente sob o ponto de vista ecológico, turístico e hidrológico, uma vez que, envolve diversos rios importantes, como é o caso do rio Taquari, um dos principais afluentes do Paraguai. Este, por sua vez, é um dos principais rios da bacia do rio Prata, segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul. Tornando-se relevantes estudos que possibilitem o entendimento da interação entre a cobertura vegetal e os processos hidrológicos atuantes sobre essa região.

## OBJETIVO

O objetivo deste estudo consiste em analisar as variabilidades espaço-temporal do regime pluviométrico e do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na região da bacia do rio Coxim, principal afluente do rio Taquari, um dos principais rios formadores do Pantanal e, adicionalmente, avaliar a relação entre essas duas variáveis: o regime pluviométrico e o NDVI.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A região estudada é definida pela bacia do rio Coxim, situada no Estado de Mato Grosso do Sul, envolve parte dos municípios de Rio Verde de Mato Grosso, São Gabriel do Oeste e Camapuã. O rio Coxim é o principal afluente do rio Taquari, um dos principais rios constituintes do Pantanal. O município de São Gabriel do Oeste, que apresenta quase 100% de sua área na bacia hidrográfica do rio Coxim, experimentou um acelerado processo de ocupação regional com culturas anuais, aspecto que comprometeu fortemente a cobertura vegetal nativa. A figura 1 mostra a localização da área de estudo.

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados dados diários de precipitação das estações Fazenda Caranda (19,3° S; 54,17° W) e São Gabriel do Oeste (19,41° S; 54,49° W), situadas na bacia do rio Coxim. Esses dados foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA), disponíveis no endereço eletrônico <[www.ana.gov/hidroweb](http://www.ana.gov/hidroweb)>. A série histórica utilizada para a estação Fazenda Caranda compreendeu os anos de 1983 a 2008, enquanto que, para São Gabriel do Oeste o período utilizado foi 1983 a 1998. Os dados de precipitação foram convertidos para a escala mensal e as falhas preenchidas com média climatológica. A localização das estações pluviométricas é ilustrada na figura 1.

A caracterização da vegetação sobre a bacia do rio Coxim foi realizada com o uso do índice de vegetação por diferença normalizado, denominado EFAI-NDVI (*European Fourier-Adjusted and Interpolated NDVI*), utilizou-se 684 imagens, no período de 1982 a 2000.

O EFAI-NDVI foi desenvolvido por Stockli e Vidale (2004), tem uma resolução temporal de 10 dias e espacial de 0,1°, ou seja, uma célula de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>. O EFAI-NDVI foi gerado do *Pathfinder* NDVI, calculado a partir das reflectâncias dos canais visível (Canal 1) e infravermelho próximo (Canal 2) do AVHRR, abordo dos satélites NOAA 7, 9, 11 e 14.

O *Pathfinder* NDVI foi calculado conforme a expressão 1.

$$NDVI = \frac{IV - V}{IV + V} \quad (1)$$

Em que: IV= infravermelho próximo e V = visível.

O conjunto de dados EFAI-NDVI é, portanto, o NDVI obtido dos canais 1 e 2 do AVHRR/NOAA com uma série de filtragens para amenizar as interferências atmosféricas que ocorrem nas imagens provenientes de sensores orbitais óticos, e que segundo Gutman (1991) e Kogan (1995) devem ser mitigadas.

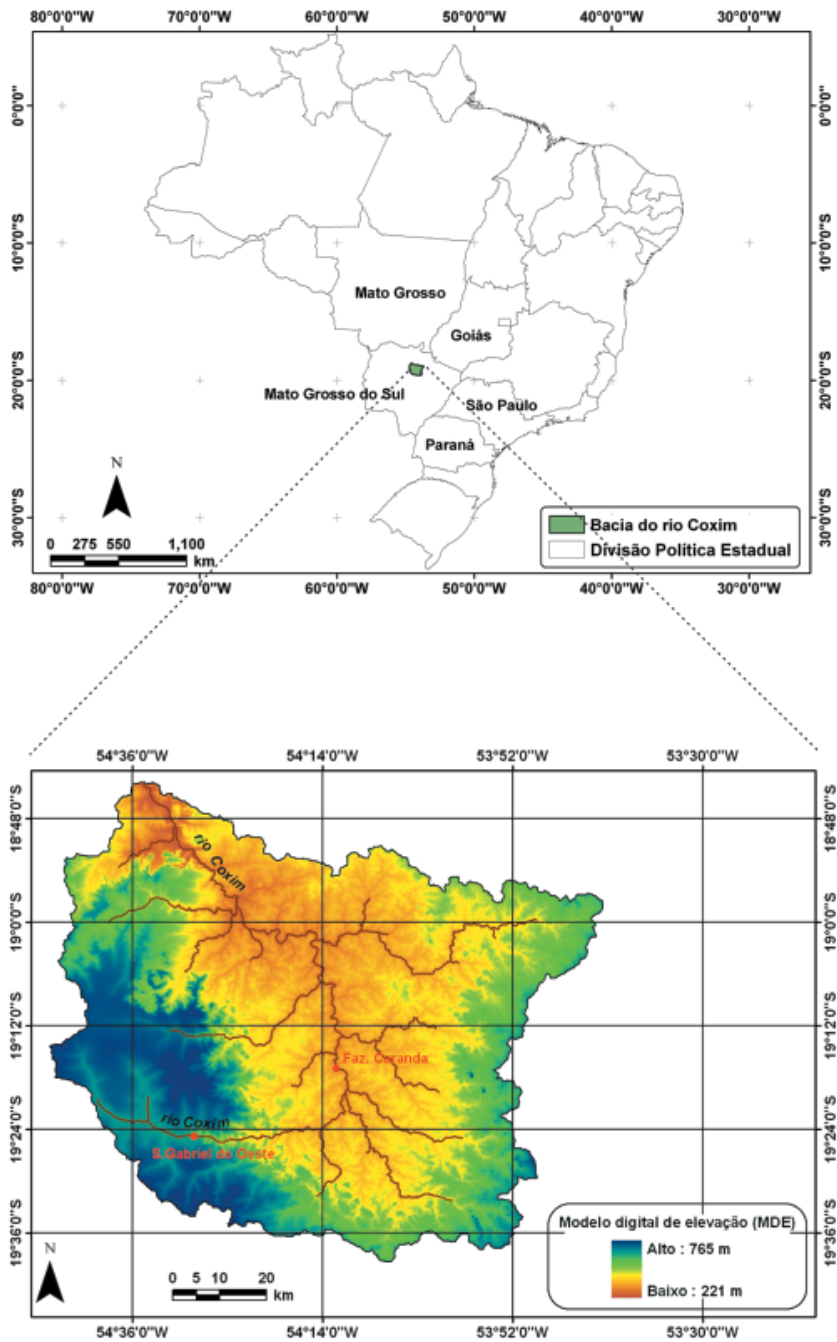


Figura 1 - Localização da bacia do rio Coxim

O dado original do *Pathfinder* NDVI já apresentava algumas correções como: utilização do método do maior valor do pixel, que elimina boa parte da resposta espectral devido às nuvens, correções do espalhamento Rayleigh, absorção pelo ozônio e degradação dos instrumentos (STOCKLI; VIDALE 2004), entretanto Stockli e Vidale (2004) verificaram a existência de alguns valores anômalos e *pixels* com falhas, esses fatores motivaram o desenvolvimento do EFAI-NDVI.

Para a avaliação da relação EFAI-NDVI e precipitação, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG), no qual, a elaboração de macros permitiu: 1) registro das imagens em sistema de coordenadas geográficas (WGS 84); 2) enquadramento da área da bacia (canto superior esquerdo: 18°30'0"S e 55°0'0"W; canto inferior direito: 20°0'0"S e 53°30'0"W); e, 3) obtenção das séries temporais de EFAI-NDVI nos pixels com informações pluviométricas. Após esses processos, os valores do EFAI-NDVI foram escalonados entre -1 e 1 utilizando a expressão 2. Também foram gerados os mapas médios mensais do EFAI-NDVI no período entre 1982 a 2000.

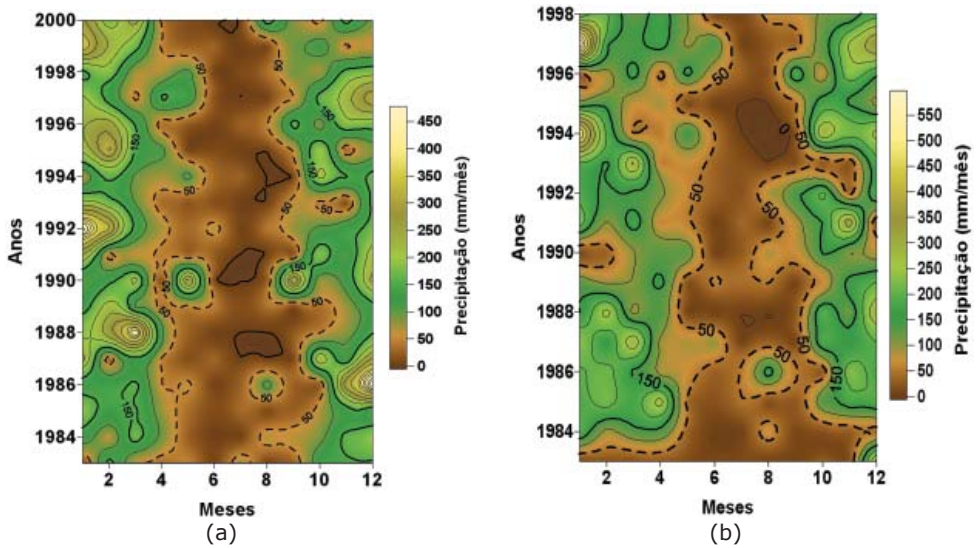
$$EFAI - NDVI = \frac{ND - 128}{127} \quad (2)$$

Em que: ND – é o número digital, ou seja, o valor constante no pixel da imagem EFAI-NDVI. Doravante o EFAI-NDVI será chamado apenas de NDVI.

Utilizou-se também imagens do Landsat 5, baixadas do site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para interpretar visualmente o uso e cobertura vegetal da superfície relativas ao período do estudo.

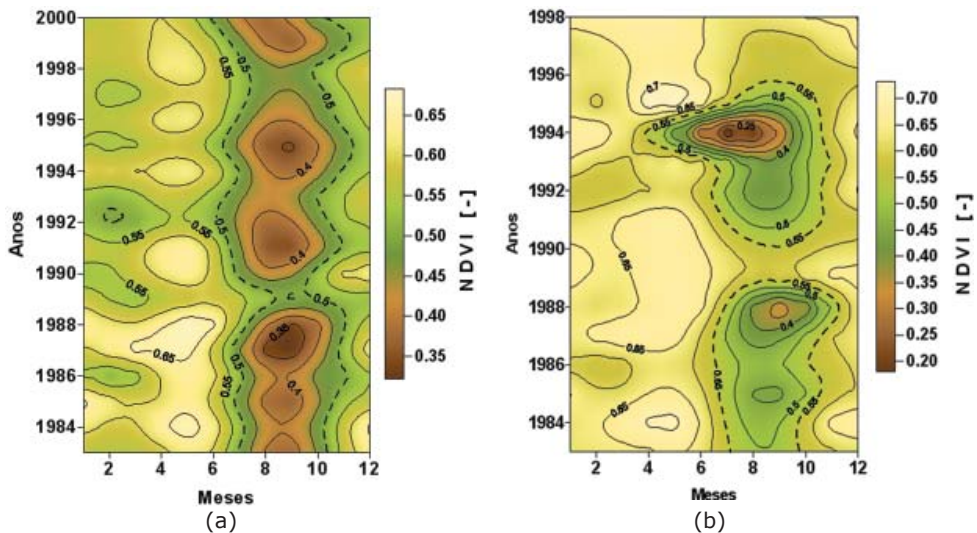
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 mostra a evolução temporal pluviométrica para as estações Fazenda Caranda (a) e São Gabriel do Oeste (b). Observa-se que os meses mais secos ocorrem entre abril e setembro (eixo x), representados pela faixa perpendicular central de cor marrom na figura, sendo os índices pluviométricos mínimos observados entre junho e julho, com valores médios de aproximadamente 14,0 mm e 25,0 mm, para Fazenda Caranda e São Gabriel do Oeste, respectivamente. Por outro lado, os totais pluviométricos máximos ocorrem entre outubro e abril, extremidades do gráfico, acentuada a cor verde, com pico médio de » 209,0 mm (Fazenda Caranda) e » 188,0 mm (São Gabriel do Oeste). O total anual pluviométrico é de aproximadamente 1179,0 mm e 1231,0 mm na Fazenda Caranda e São Gabriel do Oeste, respectivamente. Desse total, cerca de 79% (Fazenda Caranda) e 74% (São Gabriel do Oeste) ocorrem no período chuvoso da região.



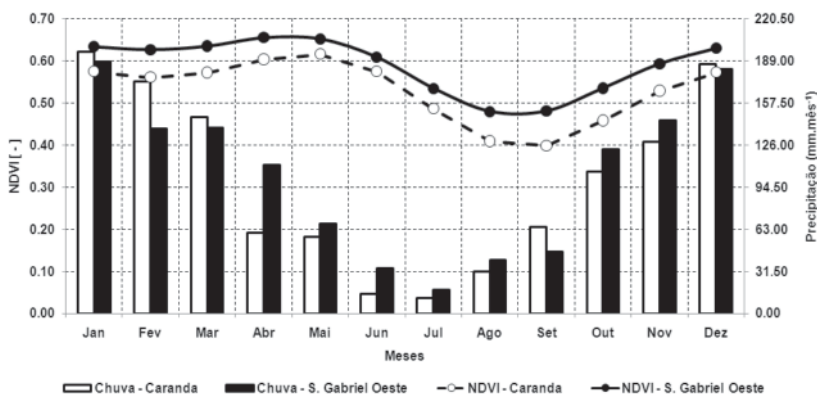
**Figura 2 - Variabilidade sazonal (eixo x) e interanual (eixo y) da precipitação nas estações pluviométricas (a) Fazenda Caranda e (b) São Gabriel do Oeste**

A Figura 3 combina a variabilidade inter-anual (eixo y) e sazonal (eixo x) do NDVI nos pixels situados sobre as estações pluviométricas avaliadas neste estudo.



**Figura 3 - Variabilidade sazonal (eixo x) e interanual (eixo y) do NDVI para (a) Fazenda Caranda e (b) São Gabriel do Oeste, no período de 1982 a 2000**

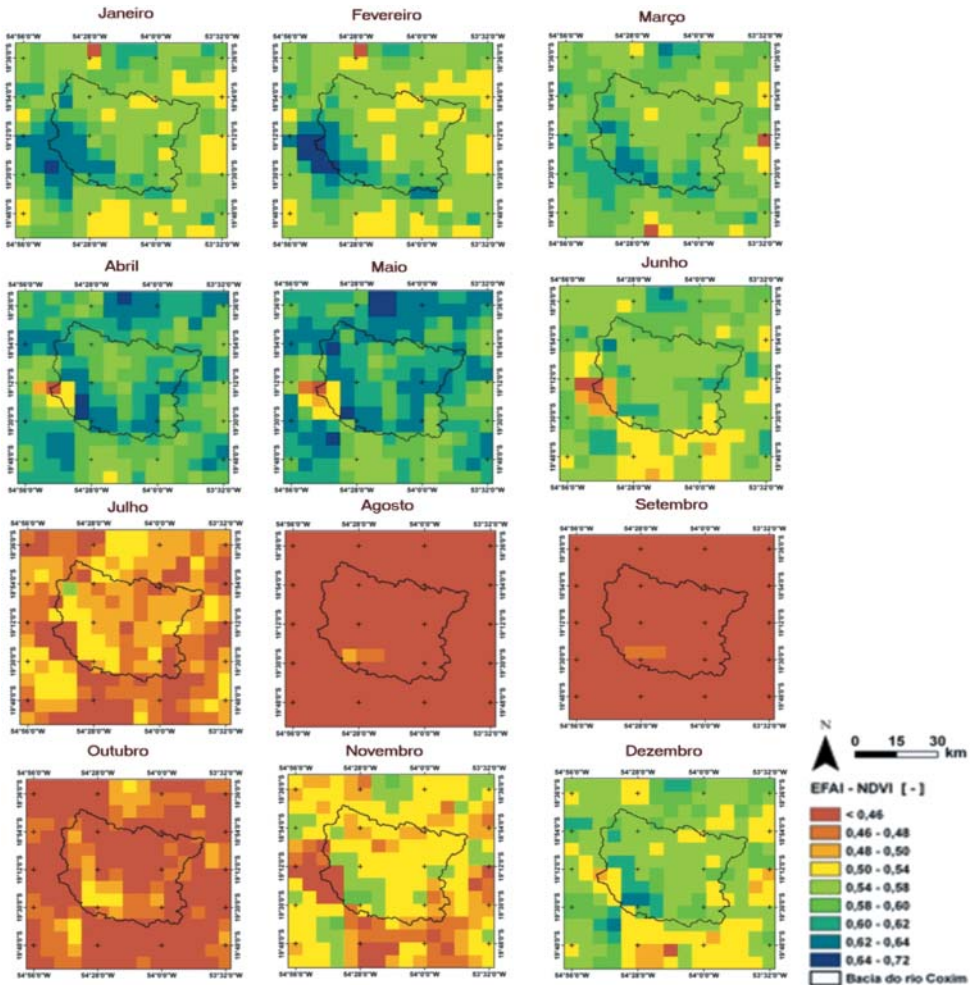
Observa-se que, na Fazenda Caranda, os valores de NDVI decrescem a partir de junho, atingindo mínimo entre agosto e outubro, representado, no gráfico, pela faixa perpendicular de cor marrom. Aspecto similar pode ser observado para São Gabriel do Oeste. No entanto, os valores do índice de vegetação são mais elevados em São Gabriel do Oeste, que é uma área onde predomina o cultivo agrícola, especialmente a soja. Outro destaque para São Gabriel do Oeste é o ano de 1994, no qual houve um acentuado decréscimo do NDVI, especialmente entre abril e junho. Oliveira (2008) apontou para problemas de recepção do AVHRR em 1994 e sugeriu serem decorrentes do fim da operação do NOAA 11 e a inoperância dos satélites NOAA vespertinos na segunda metade de 1994. A variabilidade mensal do NDVI e da precipitação é mostrada na figura 4.



**Figura 4 - Oscilação mensal média do NDVI e da precipitação na bacia do rio Coxim**

Como visto anteriormente, há um padrão similar do comportamento pluviométrico e do índice de vegetação nas duas estações avaliadas. Note-se que entre os meses de janeiro a maio há uma tendência de aumento no índice de vegetação, enquanto um contínuo decréscimo do NDVI pode ser observado entre junho e agosto. Por outro lado, há uma redução dos totais pluviométricos a partir de fevereiro, o que indica defasagem temporal entre o regime pluviométrico e o índice de vegetação de aproximadamente 4 meses.

Os valores mínimos médios do NDVI são 0,40 (Fazenda Caranda) e 0,48 (São Gabriel do Oeste), que ocorrem entre agosto e setembro, para as duas estações. Já os máximos índices de vegetação são observados entre os meses de abril e maio, sendo  $\approx 0,61$  e  $\approx 0,65$  para Fazenda Caranda e São Gabriel do Oeste, respectivamente. É importante ressaltar que, a despeito do comportamento mensal similar do NDVI sobre as duas estações consideradas, os valores do índice em São Gabriel do Oeste são mais elevados que os observados sobre a Fazenda Caranda, com um desvio médio de aproximadamente 0,06. Com a finalidade de analisar espacialmente o NDVI sobre a bacia do rio Coxim, elaborou-se mapas mensais médios. A figura 5 mostra a variação sazonal do NDVI através dos seus valores médios no período de 1982 a 2000.



**Figura 5 - Evolução média mensal, de 1983 a 2000, do NDVI na bacia do rio Coxim, para os meses de janeiro a dezembro**

A escala de cores utilizada vai do vermelho ao azul. O vermelho representa os mais baixos valores de NDVI, indicando o menor vigor da vegetação ou ausência de cobertura vegetal. Já o azul escuro representa os valores mais elevados do índice de vegetação, indicando maior vigor.

Observa-se que durante os meses de janeiro a março há uma predominância de valores entre 0,54 e 0,64 (cor verde), especialmente no setor leste da bacia do rio Coxim, enquanto valores entre 0,62 a 0,65 (cor azul) são observados no setor oeste, que é uma região agrícola, o que propicia a existência de valores mais elevados nessa região. Aspecto similar foi observado por Nicácio (2008), na região do sub-médio São Francisco, onde a área do perímetro irrigado apresentou valores de NDVI mais elevados que os observados nas áreas com vegetação nativa, com valor mediano de aproximadamente 0,60. Acredita-se que



nas áreas onde há predomínio da vegetação nativa, ocorra maior interação da resposta espectral do solo, quando comparado às áreas agrícolas, que pela própria forma de plantio acabam por ter uma melhor cobertura do terreno.

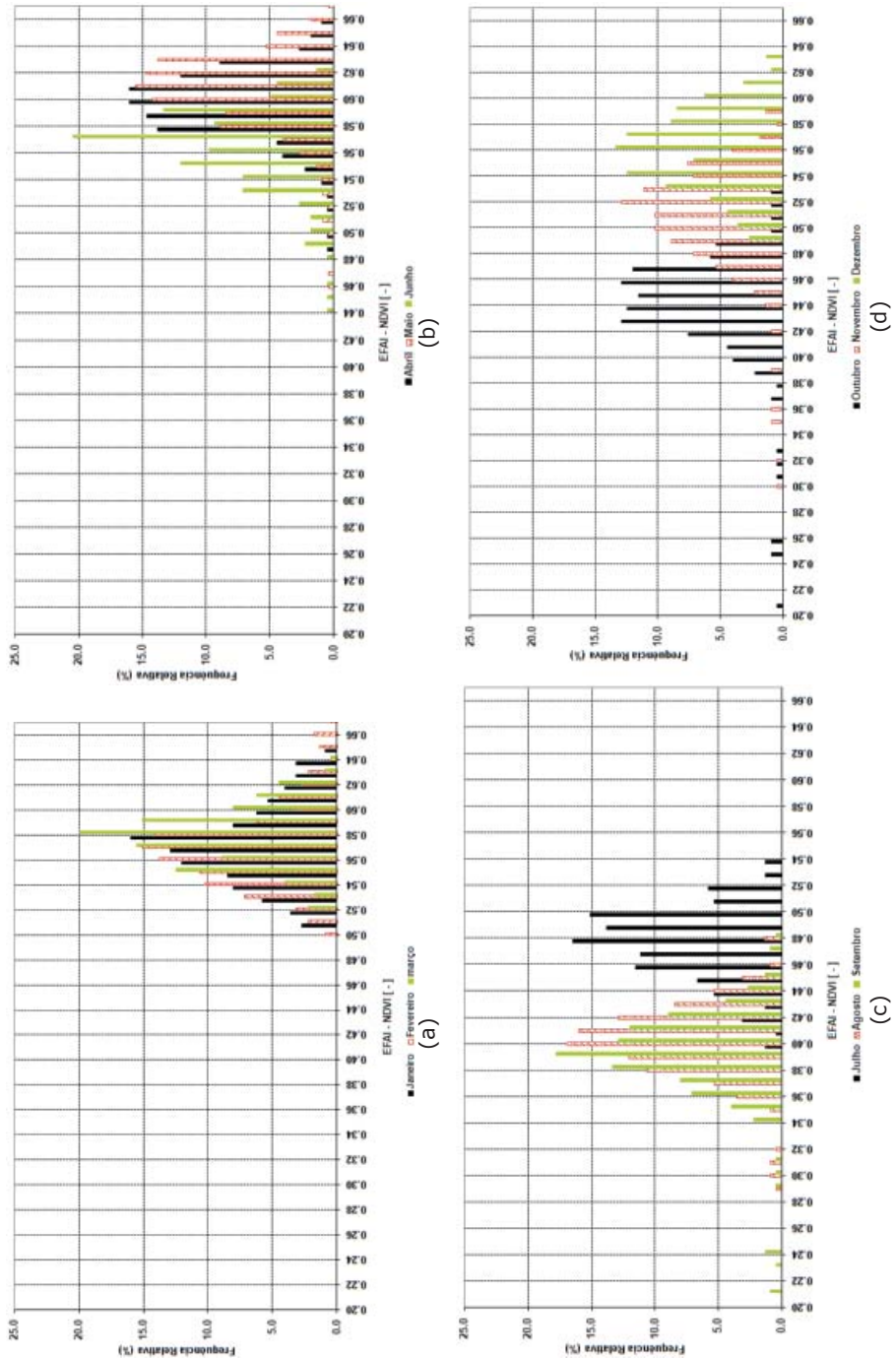
É importante mencionar que, a partir da década de 1970, houve incentivo ao plantio de cafezais, no entanto, esses foram, em grande parte, substituídos por soja a partir de 1975, em áreas próximas a São Gabriel do Oeste. Segundo Galdino (2003), a área onde predomina a cultura soja é restrita a regiões altas e planas, situadas na cabeceira do rio Coxim.

Entre abril e maio há tendência de substituição da cor verde pela azul, apontando para elevação dos valores do NDVI, sendo mais acentuado em maio, predominando valores entre 0,62 e 0,65. Note-se que, o máximo pluviométrico, registrado em Fazenda Caranda e São Gabriel do Oeste, ocorre em janeiro. Os valores do índice voltam a decrescer em junho, com predominância entre 0,54 e 0,58. Esses aspectos são ratificados avaliando-se os histogramas das imagens médias mensais do NDVI, mostrados na figura 6.

Percebe-se relativa coincidência nos histogramas dos meses janeiro, fevereiro e março (Figura 6a), com moda ocorrente para valores mais elevados de NDVI. A figura 6b mostra que, em maio, a frequência relativa é maior para os valores mais elevados de NDVI, sendo a moda 0,61 (15,5%), enquanto em junho as maiores frequências relativas são observadas para índices de vegetação mais baixos, apresentando uma moda de 0,57 (20,5%). Há contínuo decréscimo dos valores do NDVI entre julho e setembro, predominando NDVI < 0,46 em agosto e setembro, em toda a bacia do rio Coxim, com moda de aproximadamente 0,40 ( $\approx 17\%$ ) e 0,39 ( $\approx 18\%$ ), respectivamente. A partir de outubro os valores do NDVI apresentam crescimento constante. Esse aspecto é ratificado com a observação dos histogramas (Figura 6d), que mostra a predominância de índices de vegetação mais baixos em outubro, sendo os valores mais frequentes observados entre 0,43 e 0,46 ( $\approx 13\%$ ). Já os valores intermediários de NDVI são observados em novembro, com moda de 0,52 ( $\approx 13\%$ ).

Ressalte-se que, há efetivo decréscimo do NDVI a partir de junho, no entanto, a intensidade pluviométrica começa a reduzir em fevereiro, ou seja, a resposta da vegetação à redução pluviométrica ocorre com uma defasagem de aproximadamente 4 meses, como havia sido mencionado anteriormente. Por outro lado, há acréscimo dos valores do NDVI a partir de outubro, enquanto o índice pluviométrico volta a crescer em agosto. Dessa maneira, percebe-se que a vegetação responde mais rapidamente a entrada de água no sistema que a sua redução. Isso é explicado pela interação solo-planta, a água e nutrientes nas plantas são fornecidos principalmente pelo solo, cada tipo de solo possui uma CAD (Capacidade de Água Disponível), ou seja, mesmo após a drenagem da água, ocorre permanência de água nas partículas do solo que pode ser utilizada pelo vegetal. Além disso, os solos profundos do Cerrado possibilitam que a vegetação natural apresente uma fisionomia com adaptações fisiológicas em resposta as condições climáticas e edáficas, com raízes profundas, troncos corticosos e folhas coriáceas, capazes de utilizar a água de sub-superfície e evitar perdas da mesma.

Figura 6 - Histogramas das imagens médias mensais de NDVI, de 1982 e 2000, na bacia do rio Coxim



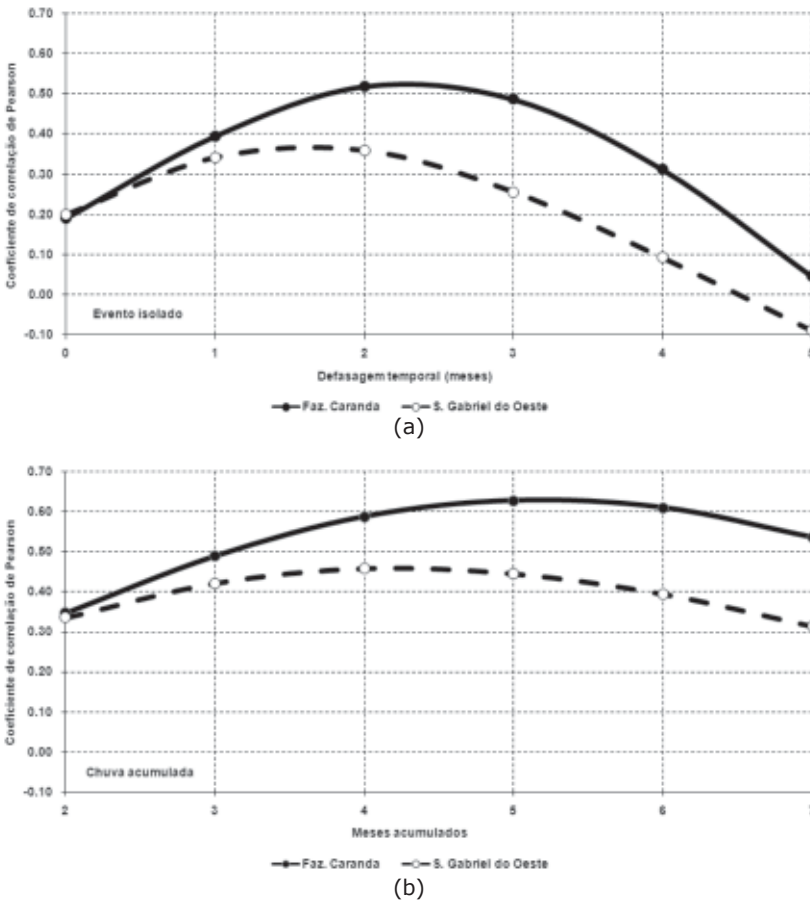
Sob a perspectiva de uma melhor avaliação entre o NDVI e a precipitação sobre a bacia do rio Coxim, foram calculadas as correlações de Pearson instantâneas e com defasagem temporal. Essa avaliação de correlação foi realizada considerando dois diferentes critérios. No primeiro as correlações foram calculadas utilizando os eventos pluviométricos mensais isoladamente. Sob esse critério de avaliação observou-se que as correlações entre a chuva e o NDVI aumentaram na medida em que a defasagem temporal cresceu, com máximo de 0,52 e 0,36 (significantes ao nível de 5%), com defasagem de dois meses, para Fazenda Caranda e São Gabriel do Oeste, respectivamente, conforme mostra a Figura 7a. Note-se que a curva de correlação apresentou o mesmo padrão para as duas estações, no entanto, as correlações observadas em São Gabriel do Oeste foram mais baixas. Acredita-se que este resultado ocorre principalmente pelo ciclo da soja ser de aproximadamente 120 dias e ser utilizada na região o modo convencional de plantio, ou seja, há uma limpeza e preparo da área, ficando um período de tempo o solo exposto.

A análise visual da área com o uso de imagens do sensor TM/Landsat-5 revelou que a região onde se situa a estação pluviométrica de São Gabriel do Oeste é uma área bastante antropizada pelos processos agrícolas, destacando-se as culturas de soja, como mencionado anteriormente. Já a região onde se situa a Fazenda Caranda é marcada pela predominância de vegetação nativa e pastagem cultivada (GALDINO, 2003). Esse aspecto propicia uma contribuição das distintas feições da superfície na resposta espectral do pixel utilizado para a extração do NDVI na estação de São Gabriel do Oeste. É importante mencionar que a resolução espacial utilizada nesta avaliação é de  $\approx 11\text{km}$ , permitindo uma mistura espectral nos pixels, o que se agrava em áreas com agricultura, especialmente as culturas cíclicas, e em regiões urbanizadas.

O segundo critério utilizado para a análise de correlação considerou a chuva ocorrida entre os meses. Nesse caso, a chuva foi integrada no tempo, não se considerando apenas a que ocorreu isoladamente em um dado mês, como foi o especificado no primeiro critério. Observou-se que os valores de correlação encontrados, quando da utilização da chuva integralizada no tempo, foram mais elevados, conforme mostra a figura 7b. As máximas correlações ocorreram com a chuva acumulada de quatro a cinco meses, com valores em torno de 0,45 e 0,61, para as estações São Gabriel do Oeste e Fazenda Caranda, respectivamente, significativas ao nível de 95% de confiança.

A ocorrência de valores de correlações mais elevados quando se considera a chuva integrada no tempo é devido à necessidade de um acúmulo de água no solo até atingir o ponto de disponibilidade para o vegetal, eventos isolados de chuva, na maioria das vezes, não atingem o limite inferior de disponibilidade.

Em suma, pode-se dizer que o NDVI, especialmente sobre a região da Fazenda Caranda, reflete a qualidade pluviométrica de quatro a cinco meses anteriores. E ainda é importante ressaltar a interferência do uso e cobertura da superfície, tais como área urbana (cidade de São Gabriel do Oeste) e agricultura, na qualidade espectral do pixel utilizado para a extração do NDVI, como visto na estação pluviométrica de São Gabriel. Esses fatores estão, possivelmente, relacionados à ocorrência dos valores mais baixos de correlação quando comparados a Fazenda Caranda.



**Figura 7 - Correlação (a) mensal e (b) multimensal entre o índice de vegetação da diferença normalizada e a precipitação, nas estações Faz. Caranda e São Gabriel do Oeste**

## CONCLUSÕES

A avaliação do NDVI sobre a bacia do rio Coxim possibilitou melhor entendimento de sua variabilidade espaço-temporal, destacando-se contínuo decréscimo desse índice entre junho e setembro, que se insere no período seco da região e responde, em média, por 23% do total pluviométrico anual. No entanto, é ainda importante mencionar que, a despeito do contínuo decréscimo pluviométrico a partir de fevereiro, os valores do NDVI continuam a crescer, só respondendo efetivamente ao decréscimo pluviométrico após quatro meses. Contudo, o total pluviométrico mensal se eleva a partir de agosto, enquanto o índice de vegetação apresenta uma elevação a partir de outubro. Esse aspecto aponta para uma resposta mais rápida da vegetação a entrada de água no sistema que a sua redução. Isso é explicado pela interação solo-plantas, a água e nutrientes nas plantas são fornecidos princi-

palmente pelo solo, cada tipo de solo possui uma CAD (Capacidade de Água Disponível), ou seja, mesmo após a drenagem da água, ocorre permanência de água nas partículas do solo que pode ser utilizada pelo vegetal.

A relação Chuva X NDVI apresentou valores significativos a 95% de confiança quando se tomou eventos pluviométricos mensais isolados, sendo a correlação máxima encontrada com defasagem de dois meses. No entanto, resultados melhores foram observados quando se considerou a chuva integrada em um período de tempo. O NDVI responde mais efetivamente a chuva acumulada de quatro a cinco meses, devido à necessidade de um acúmulo de água no solo até atingir o ponto de disponibilidade para o vegetal. Outro aspecto a se destacar são as correlações mais baixas encontradas para a estação São Gabriel do Oeste, denotando uma maior dificuldade no estabelecimento de uma relação mais precisa entre a chuva e o NDVI em regiões antropizadas por processos agrícolas, especialmente considerando-se culturas cíclicas. Ressalte-se também a existência de perímetros urbanos nas proximidades da estação São Gabriel do Oeste. Essa multiplicidade de feições da superfície pode promover uma maior miscigenação do pixel, o que se agrava quando do uso de sensores orbitais de resolução moderada a baixa. Associado a esses fatores pode-se ainda mencionar os aspectos relativos à fisionomia das espécies agrícolas, que em geral, apresentam um sistema radicular pouco profundo, e as práticas de irrigação, que podem estar associados a diferenças nas correlações.

## REFERÊNCIAS

- AL-BAKRI, J.T.; SULEIMAN, A. S. NDVI response to rainfall in different ecological zones in Jordan. **International Journal of Remote Sensing**, London-UK, v.19, n. 25, 3897-3912, 2004.
- GALDINO, S. **Projeto implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e bacia do Alto Paraguai**. Subprojeto 3.1A: Gerenciamento de solos e erosão dos solos na bacia do rio Taquari-MS. Corumbá, MS, 2003.
- GUTMAN, G. G. Vegetation indices from AVHRR: An update and future prospects. **Remote Sensing of Environment**, London, v. 35, n. 2-3, p. 121-136, 1991.
- KOGAN, F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advance Space Research**, Didcot-UK, v. 15, n. 11, p. 91-100, 1995.
- LOS, S. O. **Linkages between global vegetation and climate: An analysis based on NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Data.1998**. 179p. Tese (Doctor in Natural Sciences) – NASA, USA.
- LOS, S. O; COLLATZ, G. J; SELLERS, P. J. *et al.* A global 9-yr biophysical land surface dataset from NOAA AVHRR data. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 1, n. 2, p. 183-199, 2000.
- NEZLIN, N.P.; KOSTIANOY, A.G.; LI, BAI-LIAN. Inter-annual variability and interaction of remote-sensed vegetation index and atmospheric precipitation in the Aral Sea region. **Journal of Arid Environments**, London, v.62, n.4, p. 677-700, 2005.
- NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na bacia do rio São Francisco**. 2008. 337p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- OLIVEIRA, L. M. T. **Estudo das regiões fitoecológicas brasileiras pela FAPAR/NDVI e relações com séries temporais de dados pluviométricos**. 2008. 226p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Ciências Atmosféricas) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ROUSE, J. W.; HASS, R. H; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third **ERTS Symposium**...NASA, 1973, v. 3, p. 309-317.

STOCKLI, R., VIDALE, P. L. European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 25, n. 17, p. 3303-3330, 2004.