

Avaliação de índices espectrais aplicados a série multitemporal TM/Landsat-5 para o mapeamento de fitofisionomias e pastagem em ambiente de cerrado

Stella Carvalho de Paula ¹
Gustavo Bayma Siqueira da Silva ²
Luiz Eduardo Vicente ²
Daniel Gomes ²
Sandra Furlan Nogueira ²
Ricardo Guimarães Andrade ²

¹ PUC Campinas
Rodovia D. Pedro I, km 136 - CEP: 13086-900 - Campinas – SP, Brasil.
stella@cnpm.embrapa.br

² Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 – CEP: 13070-115 - Campinas - SP, Brasil.
{bayma; vicente; danielgomes}@cnpm.embrapa.br

Abstract. According to the 2006 Brazilian Agricultural Census, Brazil has over 102 million hectares of planted pastures, of which 90% are pastures in good conditions and 10% are degraded planted pasture. In Cerrado biome environments, the vegetation class known as Cerrado grassland (CG) is often used as pasture area, and is thus named a natural pasture area. Differentiating pasture areas in Cerrado environments becomes more difficult due to the similarities in floristic composition. Remote Sensing (SR) is therefore an important instrument for mappings and modelings, for the development of several satellites and the data they produce enabled accompanying changes in land use and land cover. This monitoring may be performed using temporal series of vegetation indices (IVs), for they accompany vegetation's phenological and seasonal changes. Thus, the objective of this work is to use IVs' temporal series to differentiate Wooded Cerrado (WC), Cerrado grassland, vegetation class used as natural pasture (PN), and planted pastures (PP) using images of the TM sensor onboard Landsat-5 satellite. For nine years (2003 to 2011) of TM/Landsat-5 images, EVI, NDVI, NDWI and SAVI IVs temporal series of the IVs were generated. In the rainy period, the EVI showed the best results to differentiate Wooded Cerrado (WC), natural pasture and planted pasture classes. For further classifications, we recommend sophisticated, spectral classifiers, to take advantage of the whole spectroradiometric scope of the dataset.

Palavras-chave: multitemporal, remote sensing, spectral index, pasture, sensoriamento remoto, índices espectrais, sensoriamento remoto multitemporal.

1. Introdução

De acordo com o Censo Agropecuário (2006) o Brasil possui um total de 102.408.873 hectares de pastagens plantadas, sendo que 90% dessa área é composta por pastagens em boas condições e 10% por pastagens degradadas. O Estado do Mato Grosso do Sul detém quase 15% das áreas de pastagens do país, sendo que 90% destas pastagens plantadas são consideradas em boas condições.

O sensoriamento remoto (SR) é um importante instrumento para mapeamentos e modelagens, pois o desenvolvimento de diversos satélites e dados derivados destes possibilitou o acompanhamento da mudança do uso e cobertura do solo (Andrade et al., 2011). O monitoramento da vegetação por SR pode ser realizado a partir de índices de vegetação (IVs) (Ferreira et al., 2004); (Lasaponara, 2006). Os IVs são medidas radiométricas que indicam a quantidade e atividade da vegetação verde (Jensen, 2009).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um dos IVs mais utilizados, pois permite que mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento da vegetação sejam monitoradas e apresenta correlação com o índice de área foliar e a biomassa da vegetação (Esquerdo, 2007). No entanto, para a discriminação de diferentes tipos de vegetação por meio das propriedades de reflectância, considerando as características temporais, é necessário levar

em consideração uma série de informações como, por exemplo: a diferença na porcentagem de fechamento do dossel e umidade do solo. Uma vez que os valores de reflectância podem ser influenciados pelo solo de fundo (“*background*”), pelos tipos de substratos presentes no local, que são características do ciclo fenológico, e precipitação, que quanto mais intensa mais importante é o período de crescimento da vegetação Jensen (2009).

Desta forma, foram desenvolvidos outros IVs, dentre eles o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (NDWI), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e o Índice de Vegetação Realçado (EVI). O NDWI se mostrou mais eficiente que o NDVI em mensurar o conteúdo de água do dossel vegetal e em acompanhar melhor mudanças na quantidade de biomassa e no estresse de umidade das plantas (Jackson et al., 2004). O NDVI apesar de ter sido muito útil na estimativa de propriedades de vegetação possui restrições por influências internas e externas. O SAVI incorpora um fator de ajuste para solos e/ou para as condições atmosféricas (Huete, 1988). O EVI é um NDVI modificado, que foi desenvolvido para aperfeiçoar a captação do sinal da vegetação, possuindo maior sensibilidade para altas biomassas, fator de ajuste para solos e redução das influências atmosféricas (Freitas e Shimaburo, 2007).

O desenvolvimento de diversos IVs contribuiu para a complexa tarefa da discriminação entre algumas áreas de Cerrado com predominância de extrato herbáceo e áreas de pastagens, naturais ou plantadas. Ferreira et al (2004) observaram que IVs obtidos do sensor MODIS possibilitaram a separação das classes de Cerrado, pastagem natural inclusive, das áreas de pastagens plantadas. Silva et. al (2010) mostraram que a partir de séries temporais das imagens-fração do modelo linear de mistura espectral (MLME) foi possível discriminar as áreas de pastagens natural e plantada.

Uma vez que foi indicado ser possível realizar em imagens de baixa resolução espacial, como, por exemplo, imagens MODIS, a hipótese deste trabalho baseou-se na discriminação destas áreas a partir de imagens com resolução espacial moderada, como as imagens do satélite Landsat. Neste contexto, o objetivo é utilizar séries temporais de IVs para discriminação de Savana Arborizada (Sa), Savana gramíneo-lenhosa, classe de vegetação utilizada como pastagem natural (PN), e pastagens plantadas (PP) utilizando imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo abrange os limites da Fazenda Olhos D’Água, situada na região norte do município de Aquidauana no estado de Mato Grosso do Sul como mostra a Figura 1. Esta fazenda foi escolhida por ser área amostral do projeto “Desenvolvimento de geotecnologias para identificação e monitoramento de níveis de degradação em pastagens – GeoDegrade”. O município possui economia voltada para o setor pecuarista, possuindo cerca de 5% da quantidade de cabeças de gado de todo estado IBGE (2010).

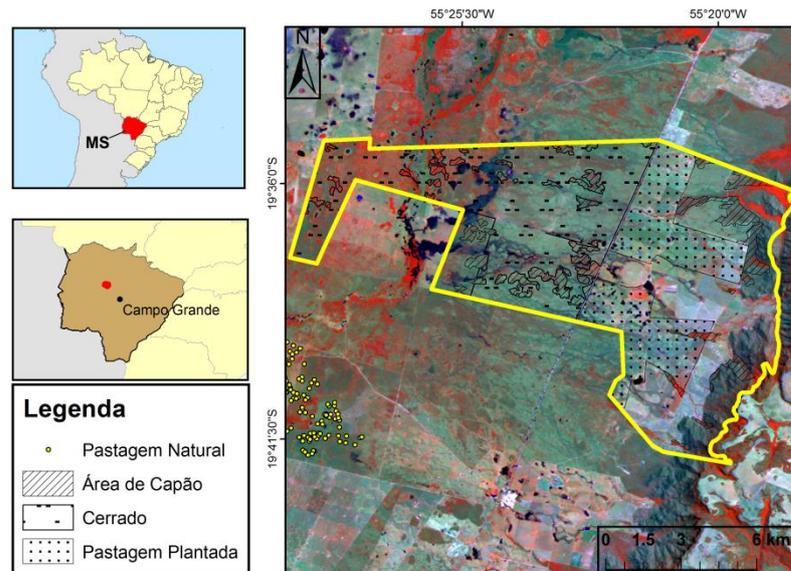


Figura 1. Localização da área de estudo, imagem de 09/11/2011 do satélite TM/Landsat-5, órbita-ponto 225-74. Composição R(4)G(5)B(3).

O clima subtropical da região caracteriza-se por média anual de 27°C, caracterizando duas estações: uma chuvosa e quente, no período entre outubro e abril e outra seca, com ocorrência de geadas e temperaturas mais amenas, entre julho e setembro (Prefeitura de Aquidauana, 2012). A caracterização sazonal da precipitação na área de estudo foi obtida utilizando dados do satélite Tropical Rainforest Measuring Mission (TRMM) (Kummerow et al., 2000). Os dados utilizados neste trabalho referem-se aos produtos 3B43, com resolução espacial em torno de 30 km.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas 18 imagens do satélite TM/Landsat-5. Utilizou-se uma série temporal de nove anos, entre os anos de 2003 e 2011. Foram selecionadas duas imagens para cada ano, uma representando o final do período de seca e outra o final do período chuvoso (Tabela 1).

Tabela 1. Data das imagens TM/Landsat-5 utilizadas.

Ano	Período Seco	Período Chuvoso
2003	01/10	28/06
2004	18/09	11/04
2005	05/09	29/03
2006	11/11	01/04
2007	11/09	20/04
2008	15/10	06/04
2009	09/04	19/11
2010	05/10	12/04
2011	09/11	25/01

As imagens foram georreferenciadas na projeção UTM, Zona 21 Sul e datum WGS-84. Para cada imagem foi empregada uma composição de seis bandas, cobrindo as regiões espectrais do visível ao infravermelho de ondas curtas (0,45 a 2,35 μm) e após esta etapa foi executada a supressão dos efeitos da atmosfera, utilizando o modelo de transferência radioativa (MODTRAN) (De Paula et al., 2012). Após, a correção atmosférica das imagens foram calculados os seguintes índices de vegetação (IVs): EVI (Equação 1), NDVI (Equação 2), NDWI (Equação 3) e SAVI (Equação 4).

$$EVI = G \frac{p_{nir}^* - p_{red}^*}{p_{nir}^* + C_1 p_{red}^* + C_2 p_{blue}^* + L} (1+L) \quad (1)$$

A equação do EVI contém um fator de ajuste para solos (L), e dois coeficientes (C_1 e C_2), estes coeficientes são determinados empiricamente, assumindo 1,0, 6,0 e 7,5 como seus respectivos valores. E descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico (Jensen, 2009). No entanto, vale lembrar que as imagens utilizadas já estavam com o espalhamento atmosférico corrigido.

$$NDVI = \frac{p_{nir}^* - p_{red}^*}{p_{nir}^* + p_{red}^*} \quad (2)$$

O NDVI é um índice que se assemelha ao EVI, por ser também baseado na relação entre o comprimento de onda (reflectância p) do vermelho (red – do inglês vermelho) e do infravermelho próximo (nir – do inglês near infrared). Porém, sem o fator de correção de solo (Viana, 2011).

$$NDWI = \frac{p_{nir}^* - p_{midIR}^*}{p_{nir}^* + p_{midIR}^*} \quad (3)$$

Em contrapartida, o NDWI é baseado nas bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio do Landsat TM. Pode ser altamente correlacionado com o conteúdo de água do dossel vegetal e consegue acompanhar melhor mudanças nos estresses de umidade e na biomassa das plantas se comparado ao NDVI (Jensen, 2009).

$$SAVI = \frac{(1+L)(p_{nir}^* - p_{red}^*)}{p_{nir}^* + p_{red}^* + L} \quad (4)$$

O SAVI possui um fator de ajuste para o substrato do dossel (L), que considera, para o vermelho e o infravermelho próximo, a extinção diferencial do dossel (Jensen, 2009). De posse do mapa digital de uso e cobertura do solo da área de estudo (Silva et al., 2012) foram selecionadas as áreas de Cerrado (Sa), PN e PP. Em cada área foram gerados aleatoriamente 40 pontos e estes foram minuciosamente conferidos para que nenhum ponto tenha coincidido com áreas de capão. Após a seleção das amostras foram extraídos no ENVI (RSI, 2008) os valores dos IVs para cada ponto. Dos três grupos de 40 amostras, um grupo por classe, foram extraídos os valores das medianas e plotados os gráficos da série temporal. Uma classificação preliminar foi gerada utilizando o algoritmo MAXVER. Como amostras de treinamento foram usadas as mesmas amostras das três classes de vegetação trabalhadas nas séries temporais.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a série temporal do período considerado, 2003 a 2011, dos índices de vegetação NDVI, NDWI, SAVI e EVI. Cabe ressaltar que para este trabalho foram acumulados dois meses de precipitação para sua inserção nos gráficos das séries temporais de IVs.

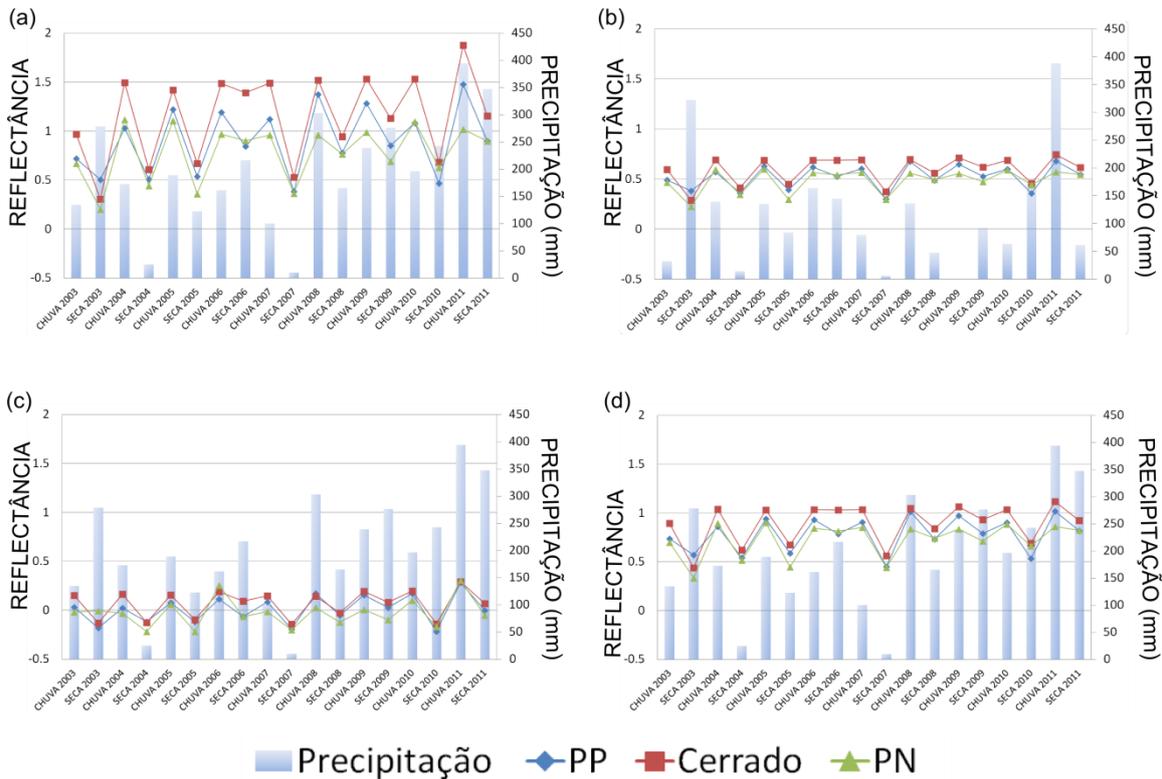


Figura 1. Série temporal da precipitação acumulada e IVs, sendo: (a) EVI, (b) NDVI, (c) NDWI e (d) SAVI.

Em uma análise preliminar e visual pode-se observar que os valores para todos os índices de vegetação da classe de cerrado apresentaram-se com valores superiores aos valores das pastagens plantadas e naturais. Isto pode ser explicado pela presença de extrato herbáceo-arbustivo, ainda que descontínuo, que diferencia das outras classes por estas terem apenas o extrato gramíneo. Para NDVI e SAVI Ferreira et al. (2004) também encontraram maiores IVs para vegetações de maior porte.

Outro ponto a ser salientado é que os valores dos IVs apresentaram maior discrepância no período pós-chuva indicando ser este o período sazonal adequado para a discriminação das classes, principalmente para o EVI. Corroborando com o trabalho de Liesenberg et al. (2007) que caracterizou a sazonalidade e os efeitos da geometria de visada na discriminação de cinco fitofisionomias do bioma Cerrado e Silva et al. (2010) utilizou imagens-fração do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para discriminar classes de vegetação natural e manejada também indicou este período sazonal como sendo o mais apropriado para separação das classes de cerrado, PP e PN. Na Figura 2 é possível observar as maiores discrepâncias encontradas no período chuvoso.

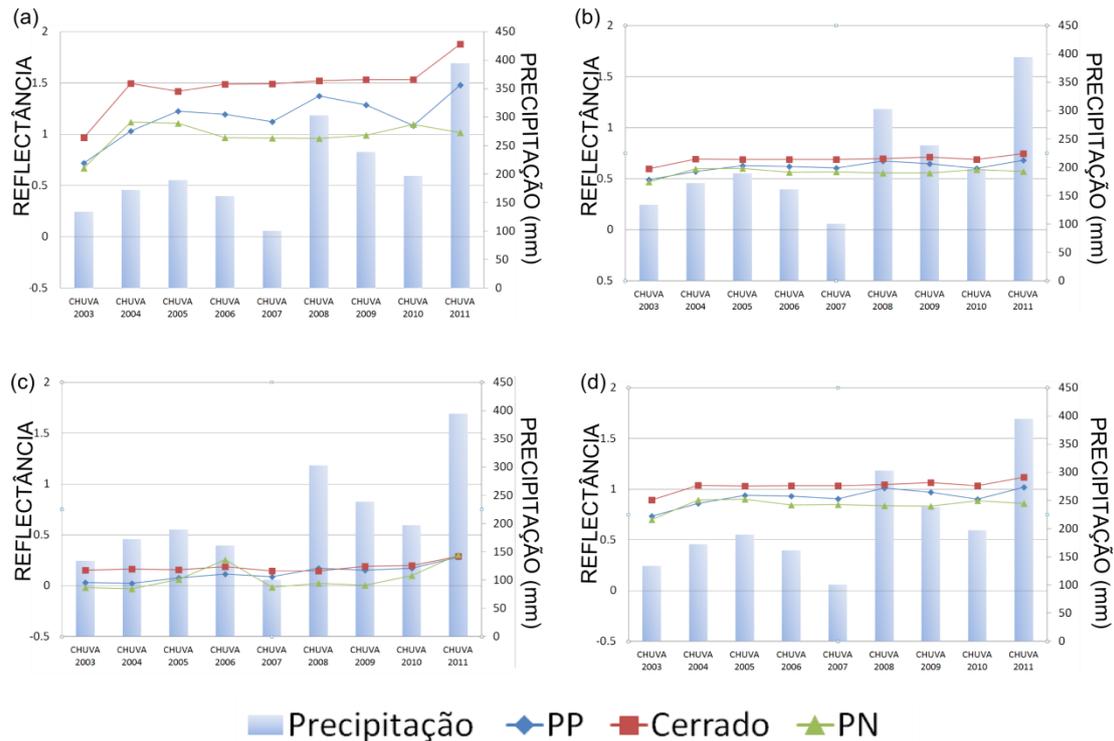


Figura 2. IVs dos períodos pós chuvosos e precipitação acumulada, sendo: (a) EVI, (b) NDVI, (c) NDWI e (d) SAVI.

Como observado na série temporal completa os valores do EVI no período pós-chuva apresentaram maior diferença entre si. Por se tratar de áreas onde o solo pode vir a ficar exposto, dependendo da época do ano, isto era esperado, pois esse índice melhora o desempenho do monitoramento da vegetação através da diminuição do sinal do substrato abaixo do dossel. De certa forma este comportamento também era esperado para o SAVI, pois este também possui em sua fórmula um fator de ajuste para o substrato do dossel. Neste caso, é indicada a realização de testes estatísticos que indiquem se os valores encontrados para este IV são estatisticamente diferentes.

Sendo o primeiro índice proposto, o NDVI não apresenta em sua fórmula fatores de ajuste para ruídos (substrato do dossel e influencia atmosférica). O SAVI e o EVI consideraram estes efeitos ruidosos aditivos, sendo assim desconsiderou valores de solo e vegetação morta no seu valor final. Isto pode explicar os maiores valores tanto para EVI quanto para o SAVI quando comparados com os valores do NDVI. O NDWI por sua vez apresentou valores mais baixos que o NDVI, já que o primeiro mede principalmente, o conteúdo de água da vegetação.

No que diz respeito à discriminação entre áreas de Cerrado que são consideradas pastagens naturais e as pastagens plantadas, os gráficos indicaram que os IVs apresentaram valores discrepantes entre ambas as classes. Esta diferença foi mais evidente no gráfico do EVI, em função deste índice ter sido desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação para melhorar a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa. Este resultado pode embasar trabalhos que envolvam mapeamentos de áreas de pastagens, uma vez que no Censo Agropecuário, divulgado pelo IBGE, as áreas de pastagens naturais e as plantadas são discriminadas, demonstrando a importância desta separação.

Foi gerada uma classificação preliminar, algoritmo MAXVER, utilizando como amostras de treinamento as mesmas amostras das três classes de vegetação utilizadas para nas séries temporais (Figura 4).

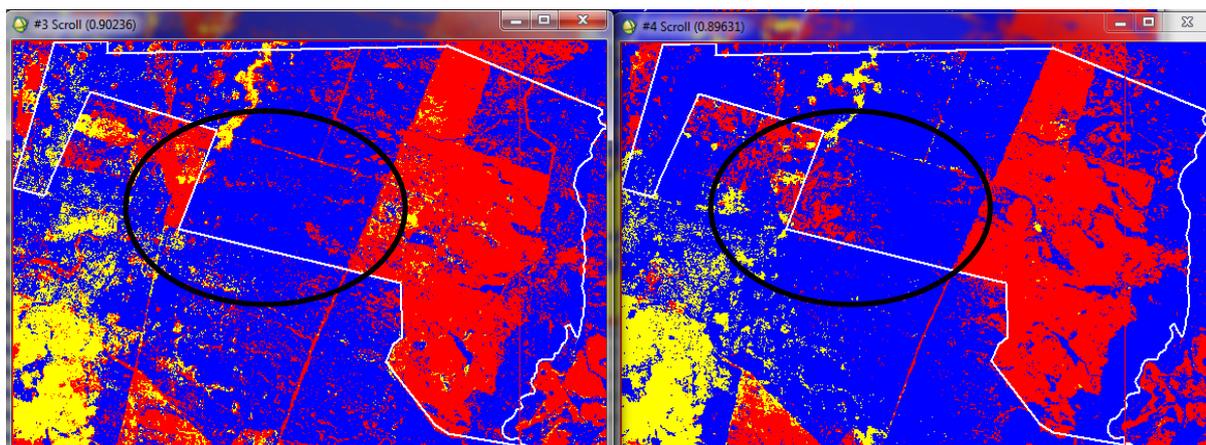


Figura 4. Classificação MAXVER das bandas de EVI empilhadas (2003 a 2011) do período pós-chuva (a) e pós-seco (b), das áreas de Cerrado (azul), pastagem natural (amarelo) e pastagem plantada (vermelho).

Cabe ressaltar que o classificador MAXVER é um tipo de classificador *pixel a pixel* que deve ter seus resultados ajustados para evitar a classificação de *pixels* isolados. Após experimentar o classificador, o resultado visual obtido apresenta coerência com a avaliação feita no campo e também com a conclusão que as melhores separações de classes devem ser feitas no pós-chuva.

Na separação de classes visualizadas na Figura 4a (pós-chuva), percebe-se na porção esquerda superior (indicada na figura) uma clara separação entre o cerrado (azul) e uma área de pastagem plantada (vermelho). Apesar de estar fora dos limites da fazenda, uma visita em campo constatou que esta é uma área de pastagem plantada. Nesta mesma imagem e posição, as pequenas manchas vermelhas que entremeiam a classe Cerrado correspondem ao extrato herbáceo. Essas gramíneas, que crescem sob as copas das árvores do Cerrado, são utilizadas para a criação do gado e passam a ter comportamento semelhante a pastagem cultivada, pois sua produção de fitomassa sofre efeito tanto da sazonalidade como do consumo animal.

Na figura 4 b (pós-seca) a confusão de classes é maior na mesma área indicada, pois vegetação herbácea seca e nesta situação as copas das árvores do cerrado acabam interagindo mais com o sensor do que com o extrato que secou.

4. Conclusões

Os resultados encontrados permitiram constatar que o período pós chuvoso se mostrou mais eficiente para efetuar análises tanto dos IVs o quanto na caracterização do tipo de vegetação em questão.

O EVI foi o IV mais indicado para a discriminação entre PN e PP, pois apresentou maiores diferenças entre os valores de cada fitofisionomia. Já o NDVI, o SAVI e o NDWI não foram visualmente tão precisos. Para uma aplicação mais eficiente destes IVs, indica-se para trabalhos futuros uma análise estatística na comparação dos valores, permitindo assim resultados mais precisos.

Para posterior classificação é recomendado classificadores mais sofisticados de cunho espectral, a fim de se aproveitar todo o escopo espectralradiométrico do conjunto de dados. A despeito de classificadores espaciais como o MAXVER serem populares e de fácil implementação, e por isso testado aqui, reduzem os parâmetros de discriminação ao contexto, insuficiente para um bom desempenho da classificação.

Referências Bibliográficas

- Andrade, R. G., Leivas, J. F., Garçon, E. A. M., Silva, G. B. S., Gomes, D. S. W. L., Vicente, L. E., Bolfe, E. L. e Victoria, D. C.; Monitoramento de processos de degradação de pastagens a partir de dados Spot Vegetation. Boletim de pesquisa e desenvolvimento. Campinas, EMBRAPA – Monitoramento por Satélite, dez.2011.
- De Paula, S. C., Vedovato, L. B., Gomes, D., Vicente, L. E.; Avaliação de procedimento para correção de efeitos da atmosfera em ambiente tropical dados Landsat TM 5. Anais do 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica. n.12510, p. 10, ag.2012.
- Ferreira, L. G. e Huete, A. R.; Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**. Vol.25, n. 10, p. 1837-1860, maio de 2004.
- Ferreira, L. G., Yoshioka, H., Huete, A.; Sano, E.E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v. 56, n.3, p. 425-447.
- Huete, A. R.; A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**. vol.25 p. 295-309, 1988.
- IBGE. Censo Agropecuário 2006. Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: MPOG, 2009.
- Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009; p. 376-395
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A.T.C.; Stocker, E.; Adler, R.F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T.; Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G. The status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after two years in orbit. *Journal of Applied Meteorology*, v.39, p.1965-1982, 2000.
- Lasaponara, R. Estimating interannual variations in vegetated areas of Sardinia island using SPOT/VEGETATION NDVI temporal series. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 4, p. 481-483, 2006.
- Liesenberg, V.; Ponzoni, F.J.; Galvão, L.S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias Modis/Terra e Aqua. **Revista Árvore**, v.31, p.295-305, 2007.
- Prefeitura de Aquidauana. Disponível em: <<http://www.aquidauana.ms.gov.br>>. Acesso em: 31.out.2012.
- RSI. Environment for Visualizing Images - E VI. ver. 4.5. Boulder, CO, USA: ITT Industries. 2008.
- Silva, G. B. S., Formaggio, A. R., Shimabukuro, Y. E., Adami, M., Sano, E. E.; Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS. Brasília, Pesq. agropec. bras., v.45, n.2, p.186-194, fev. 2010
- Silva, G. B. S.; Fernandes, R. M. ; Oliveira, B. P. ; Rovere, S. D. ; Oshiro, O. T. ; Nogueira, S. F. . Sistema de informação geográfica das áreas amostrais do projeto Geodegrade. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012 (Circular Técnica).
- Viana, D. R.; Alvalá, R. C. S.; Vegetation index performance for the pantanal region during both dry and rainy seasons. **Geografia**. Rio Claro, v. 36, número especial, p. 143-158, jun. 20011.