

Agrupamento de perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI/Modis para culturas agrícolas de verão entre os anos-safra 2004/2005 e 2007/2008 no Estado do Paraná.

Jerry Adriani Johann¹
Jansle Rocha Vieira²
Rubens Augusto Camargo Lamparelli²
Daniel Garbellini Duft²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Caixa Postal 0701 - 85819-110 – Cascavel - PR, Brasil
{jerry.johann}@hotmail.com

²Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6011 - 13081-970 – Campinas - SP, Brasil
{jansle.rocha}@feagri.unicamp.br
{danielduft, rubens.lamparelli}@gmail.com

Abstract. This study aimed group spectrum-temporal profiles of vegetation index EVI/Modis, for major country of soybean and maize producers in the State of Parana, between the crop years 2005/2006 and 2007/2008. From the mapping (masks) of these cultures obtained from Johann et al. (2012), generated average municipal spectro-temporal profiles from EVI/Modis sensor (images of 16 days), between scenes 241 (29/08/year1) and 113 (23/04/year2) for each year crop studied. The EVI pixels values were extracted from the masks for each county and crop year by a system of image extraction data developed in IDL/ENVI platform. The multivariate statistical technique partitioning K-Means, allowed clustering similar spectral pattern counties during these crops development. Were tested 3 to 10 clusters. The best results in terms of similar EVI time series profile, were found when the 322 municipalities studied (responsible for 99% of production and harvested area of soybeans and maize) were organized in six groups. The spatial representation of these counties groups showed that the occurrence wasn't random, but in sub-regions, showing similar agronomic crop patterns of maize and soybeans for each cluster. This information can expedite the use of spectral models for estimating productivity of these crops, adopting a single model for each cluster, optimizing human resources and computer systems in crop forecasting.

Palavras-chave: remote sensing, soybean, maize, crop forecasting, multivariate statistical, K-Means; sensoriamento remoto, soja, milho, previsão safras, estatística multivariada, *K-Means*.

1. Introdução

O Brasil é um dos países que apresenta melhores condições de expandir a produção de cereais e prover o esperado aumento da demanda mundial. As culturas de verão são responsáveis por mais de 70% da produção de grãos no país (Conab, 2009). Segundo os dados do IBGE (2011), entre os anos de 2005 e 2008, o Paraná foi responsável pela produção, em média, de 10,63 milhões de toneladas de soja e 8,12 milhões de toneladas de milho na safra primavera-verão, representando, respectivamente, 54,1 % e 42,5 % destas culturas (total de 96,6 %), em relação às demais cultivadas neste período (algodão, amendoim, arroz sequeiro, arroz irrigado, feijão, girassol, mamona). Isto, representou 19,16% (soja) e 23,88% (milho) da produção do Brasil. Além disto, neste período, foram utilizados 5,38 milhões de hectares (4,02 (68,1%) para soja e 1,36 (24,4%) para milho) no Paraná, ou seja, cerca de 92,5% da área com as culturas de primavera-verão. Em relação ao Brasil, isto equivaleria a 18,42% (soja) e 14,75% (milho) da área semeada com estas culturas.

As culturas de soja e milho cultivadas no período primavera-verão no Paraná, possuem duas características importantes: ciclo curto e plantios em grandes extensões. O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta importante para o monitoramento agrícola, pois, além de possuir uma visão sinótica dos alvos, possibilitam a aquisição de

informações periodicamente sobre grandes áreas da superfície terrestre (Labus et al., 2002). A dinâmica espectro-temporal das culturas agrícolas tem sido monitorada com índices de vegetação em múltiplas datas (Holben, 1986), traduzindo as condições da vegetação ao longo de seu ciclo fenológico, como demonstram alguns trabalhos (Fontana et al., 1998; Labus et al., 2002; Rizzi e Rudorff, 2007; Esquerdo et al., 2011; Adami, 2010; Johann et al., 2012).

Um dos sensores orbitais que mais tem se destacado nestas pesquisas é o Modis (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) que, apesar de apresentar resolução espacial apenas moderada (250 m), é uma alternativa interessante em razão das características: cobertura global diária, elevada acuidade radiométrica, facilidade de aquisição, larga faixa de imageamento (imagens disponibilizadas gratuitamente, em cenas de 1.200 x 1.200 km) e disponibilidade de bandas espectrais próprias para o monitoramento da vegetação (Huete et al., 2002; Ferreira et al., 2008). Deste sensor, o índice de vegetação EVI (*Enhanced Vegetation Index*), proposto por Huete et al. (1999), tem se mostrado o mais adequado para o monitoramento agrícola.

Porém, avaliar o perfil espectro-temporal médio de EVI das culturas de verão, por município, gera um grande volume de dados, e pode-se tornar em uma árdua tarefa, uma vez que o padrão espectro-temporal varia conforme o local e as condições agrometeorológicas a que as culturas são submetidas ao longo dos estádios fenológicos (Johann, 2012). Desta forma, é importante o uso de técnicas estatísticas multivariadas, como agrupamentos ou *clusters*, para que seja possível segmentar a séries temporais de EVI, encontrando, desta forma, subgrupos de municípios com comportamento espectral homogêneo. Estas informações podem facilitar o uso de modelos de estimativa de produtividade espectrais regionalizados, adotando-se um único modelo por agrupamento, otimizando assim, recursos humanos e computacionais.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi agrupar, por semelhança, perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI/Modis, para os principais municípios produtores de soja e milho no Estado do Paraná, entre os anos-safra 2005/2006 e 2007/2008.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreendeu o Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, situado entre os paralelos 22°29'S e 26°43'S e os meridianos 48°2'W e 54°38'W. Como alguns municípios tiveram pouca expressão na produção de soja e milho, os que em média (entre 2005 e 2008), segundo dados oficiais de Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2011), apresentaram baixa produção (<6.800 t) e área colhida (<2.000 ha) não foram considerados no estudo (municípios em cinza), como pode ser visualizado na espacialização dos dados de área colhida (ha) (Figura 1) e produção (t) (Figura 2). Eles representaram 19,3% dos municípios do Estado, mas responderam por apenas 1% de produção e/ou área colhida. Desta forma, para o estudo foram considerados os demais 322 municípios, responsáveis por 99% da produção e área colhida do Paraná.

Utilizou-se as imagens composição de 16 dias do índice de vegetação EVI, com resolução espacial de 250m, do produto MOD13Q1 do “*Tile*” h13v11 (NASA, 2009).

Para que fosse possível conhecer o perfil espectro-temporal médio de EVI, para cada um dos 322 municípios entre os anos-safra 2004/2005 e 2007/2008, usou-se o mapeamento (máscaras) de soja e milho obtido por Johann et al. (2012), extraíndo-se os valores de EVI dos pixels destas máscaras, entre as cenas 241 (29/08/ano1) e 113 (23/04/ano2), através de um sistema de extração de dados de imagens desenvolvido por Esquerdo et al. (2011) em linguagem de programação IDL (*Interactive Data Language*). Estes dados, exportados na forma de planilhas, foram preparados para análise no software de Mineração de Dados WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) (Witten e Frank, 2005).

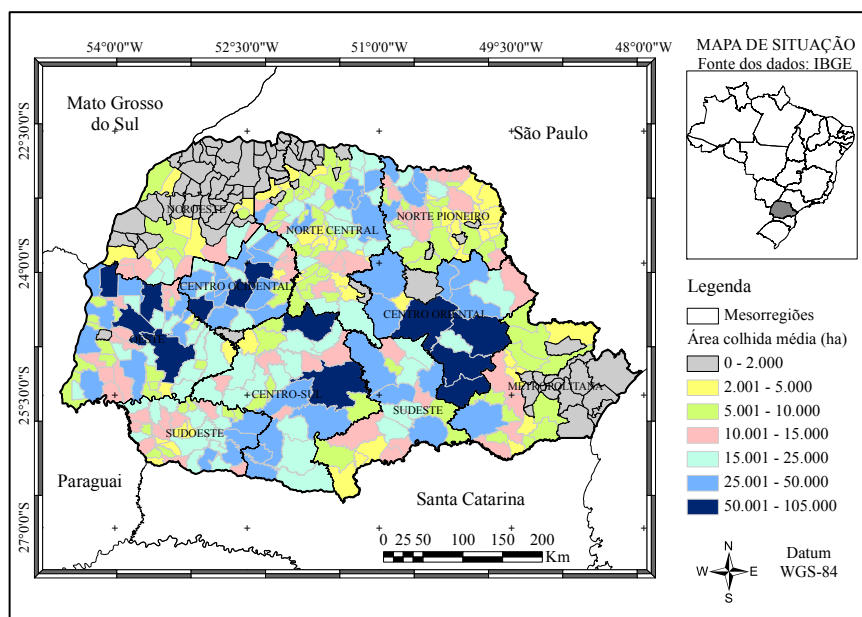


Figura 1. Mapa da Área colhida média (ha) (2005 a 2008) das culturas de verão (soja e milho) nos municípios do Estado do Paraná.

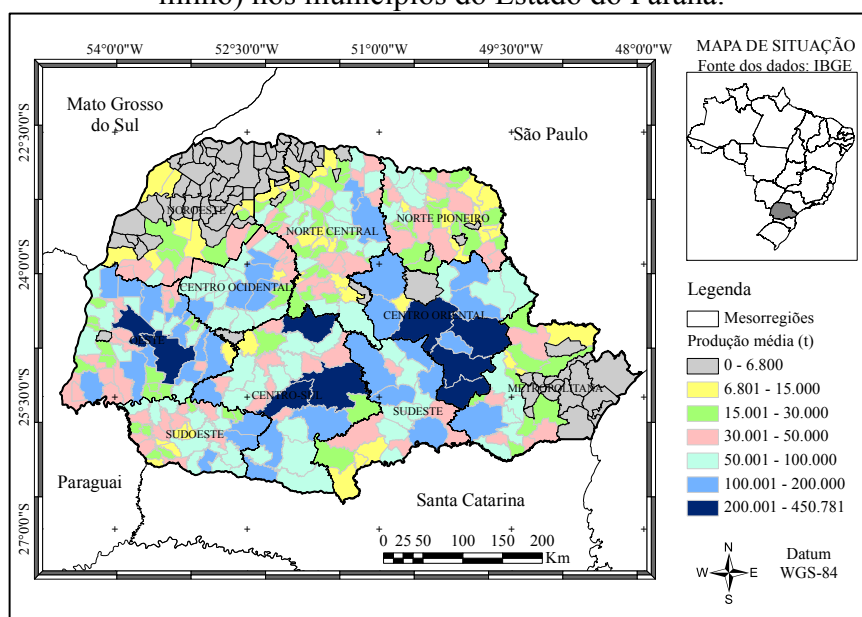


Figura 2. Mapa da Produção média (t) (2005 a 2008) das culturas de verão (soja e milho) nos municípios do Estado do Paraná.

Para geração dos agrupamentos no WEKA, utilizou-se o método de particionamento *K-Means*, proposto por Macqueen (1967), que identifica classes de objetos com características semelhantes, sendo estas o mais próximo de um determinado centróide, determinada pela distância Euclidiana. Porém, como o número de agrupamentos deve ser definido a priori pelo analista, testou-se o número de agrupamentos entre 3 e 10.

3. Resultados e Discussão

Dentre as simulações realizadas (3 a 10 agrupamentos) o melhor resultado em termos de semelhança de perfil espectro-temporal médio municipal de EVI, obtido pelo método *K-Means*, foi de seis agrupamentos (A1 a A6), para cada um dos 4 anos-safra estudados (2004/2005 a 2007/2008).

A Figura 3 mostra os perfis espectro-temporais médios municipais de EVI organizados para cada um dos agrupamentos e anos-safra. Pode-se verificar que existem diferenças entre os perfis temporais de EVI dos agrupamentos dentro de cada ano-safra. Isto fica mais evidente quando avaliam-se as estimativas de datas de semeadura (DS), de pico vegetativo (DPV) e colheita (DC), seguindo a metodologia proposta no trabalho de Johann (2012).

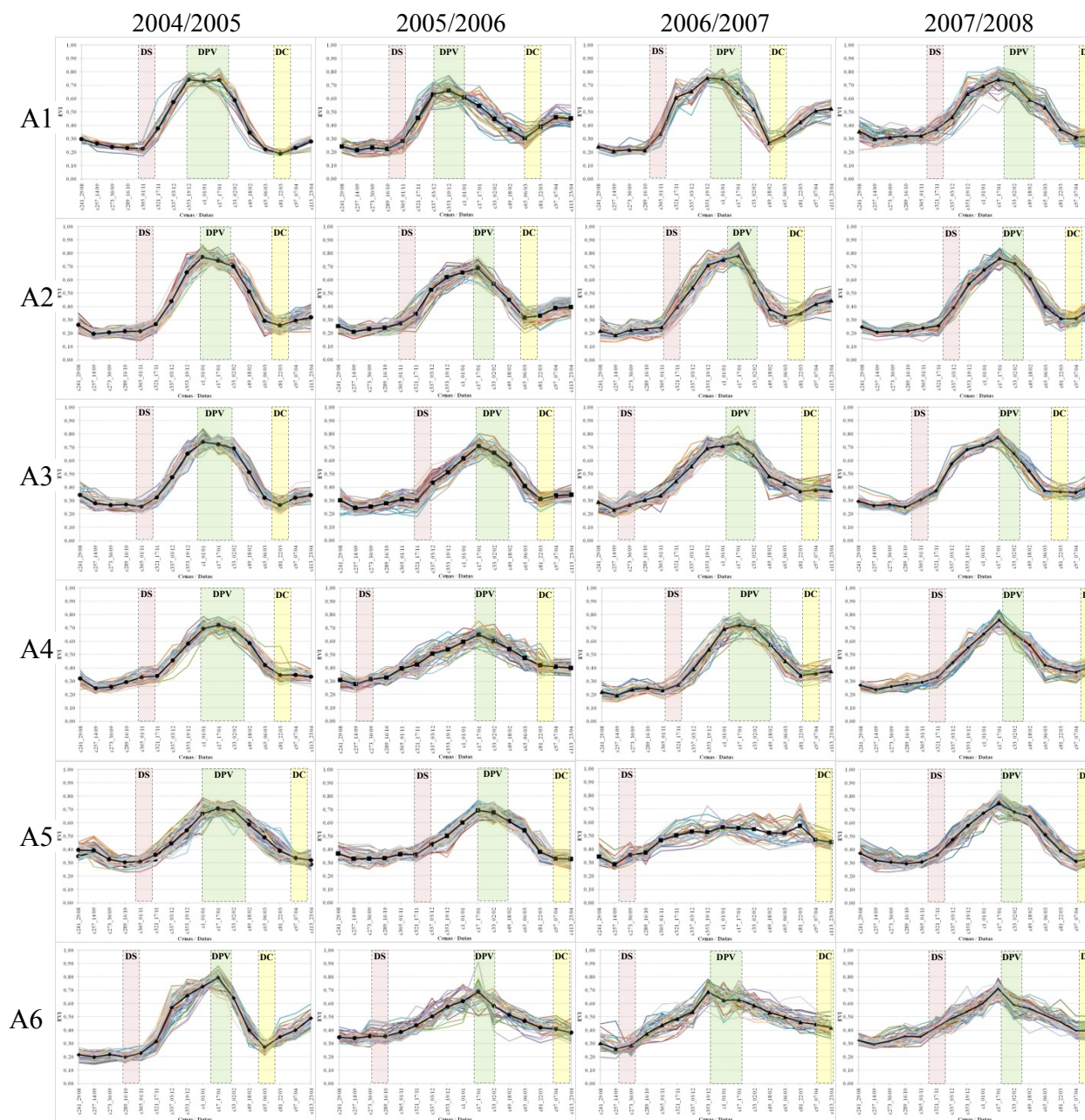


Figura 3. Perfis espectro-temporais municipais médios de EVI (cena 255 (29/08) à cena 113 (23/04)) para os anos-safra 2004/2005 a 2007/2008 para os seis agrupamentos (A1 a A6) gerados pelo método *K-Means*, destacando as datas de semeadura (DS), de pico vegetativo (DPV) e de colheita (DC).

É possível observar que a partir da primeira cena (241_29/08 - dados de EVI entre 29/08 e 13/09) da série temporal, os valores de EVI estão diminuindo para a maioria dos agrupamentos, e em seguida aumentando, demonstrando o início da semeadura (DS) das culturas de soja e milho no estado. Estes menores valores de EVI justificam-se, pois por ser tratar da época após o inverno, a vegetação está mais seca ou o solo está descoberto,

resultando numa menor reflectância. Os menores valores de EVI encontrados variaram entre as cenas 257_14/09 (A4 - 2005/2006 e A5 - 2006/2007) e 321_17/11 (A3 e A5 - 2005/2006 e A2 - 2007/2008), porém, para metade dos agrupamentos ele ocorreu na cena 305_01/11, como mostra a Figura 3. Este período representa o início das fases fenológicas da soja e do milho nos municípios, ou seja, a semeadura, a germinação e o desenvolvimento inicial da culturas, corroborando com o que foi encontrado em outros trabalhos (Adami, 2010; Johann, 2012).

Em seguida, os valores de EVI aumentam em função das culturas ingressarem na fase vegetativa (domínio da cobertura verde), atingindo o pico vegetativo (DPV) ou máximo desenvolvimento vegetativo (MDV) nas fases de florescimento e formação da produção, um dos períodos mais importantes para definição da produtividade final das culturas, o que demonstra a importância em conhecê-la em todo estado. Pela Figura 3, as DPV variaram entre as cenas 337_03/12 a 33_02/02 para os agrupamentos e anos-safra estudados.

A última fase fenológica das culturas, relativas a maturação, senescência e secamento das folhas, pode ser identificada pela diminuição do EVI, em função da influência da exposição da vegetação seca e do solo. Ao atingir o menor valor de EVI, após a DPV, tem-se a data de colheita (DC) das culturas. Pela Figura 3, verificaram-se variações entre as cenas 49_18/02 (A1 - 2006/2007) e 97_07/04 para os agrupamentos e anos-safra estudados.

Na Figura 4 são apresentados os perfis espectro-temporais médios de EVI por agrupamento (A1 a A6) de municípios para cada um dos anos-safra 2004/2005 a 2007/2008. Os valores entre parênteses na legenda, representam a quantidade de municípios em cada agrupamento (A1 a A6). Esta figura evidencia as diferenças médias nos perfis temporais de EVI entre os agrupamentos e anos-safra, que motivou a geração dos diferentes agrupamentos pelo algoritmo *K-Means*.

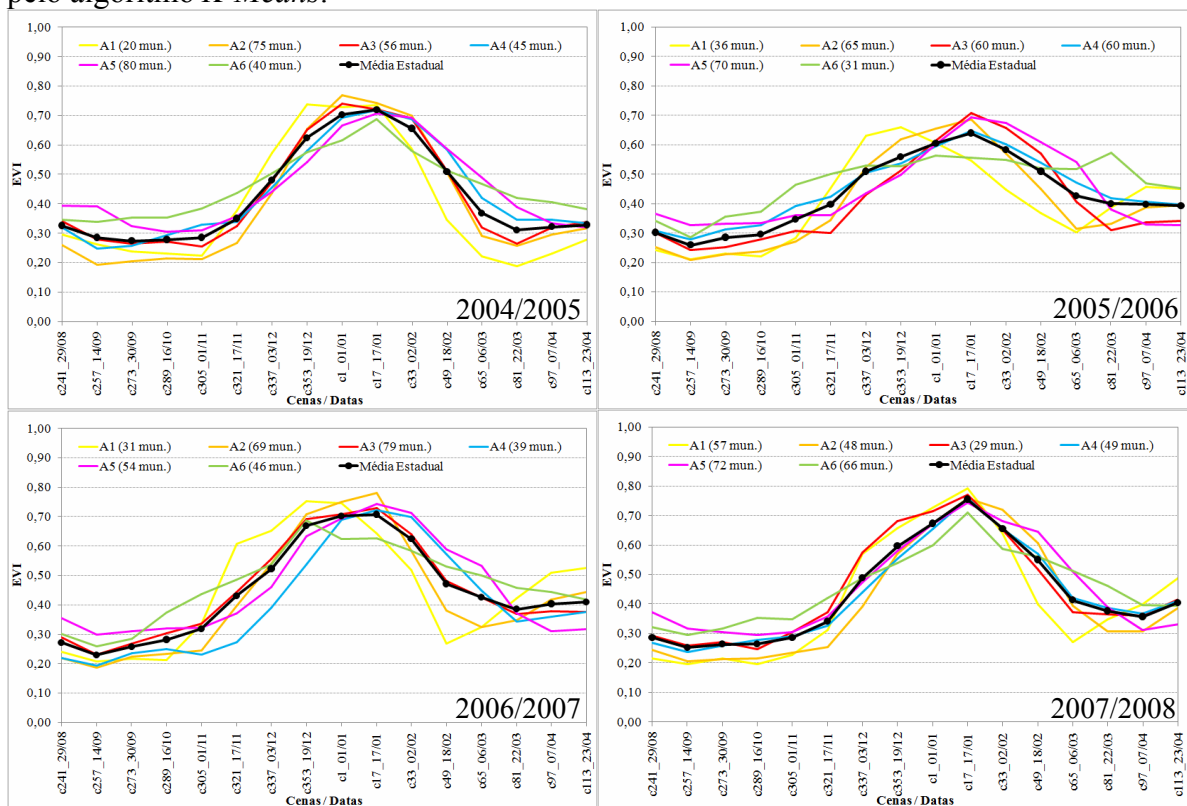


Figura 4. Perfis espectro-temporais médios de EVI (cena 255 (29/08) a cena 113 (23/04)) por agrupamento (A1 a A6) de municípios para os anos-safra 2004/2005 a 2007/2008. Dados entre parênteses representam o número de municípios por agrupamento)

Com exceção do ano-safra 2007/2008, os municípios agrupados em A1 tiveram, em média, a DPV ocorrendo antes em relação aos demais agrupamentos (Figura 4), o que é justificável, pois nestes municípios, os produtores agrícolas normalmente escolhem variedades com menor ciclo fenológico para permitir a antecipação da colheita, já que costumam semear milho safrinha no período outono-inverno.

A Figura 5 mostra o mapa da distribuição espacial para os seis agrupamentos de municípios encontrados e apresentados nas Figuras 3 e 4. Observa-se que o agrupamento A1 é formado, na maioria, por municípios da mesorregião oeste e alguns das mesorregiões centro ocidental e norte central para os anos-safra 2004/2005 a 2007/2008. O municípios do agrupamento A2 localizam-se, a exemplo do A1, sob o chamado "cinturão da soja e milho" no estado do Paraná, o que também ocorreu para o agrupamento A3, com exceção dos anos de 2004/2005, em que alguns municípios ficaram localizados nas mesorregiões noroeste, norte central e sudeste; e 2006/2007 em que ficaram localizados nas mesorregiões centro oriental e norte pioneiro. Os municípios agrupados em A4 ficaram, na sua grande maioria localizados nas mesorregiões centro oriental (com exceção para o ano-safra 2006/2007), centro-sul e sudeste (com exceção para o ano-safra 2005/2006). Através destes mapas foi possível visualizar as regiões com comportamento espectral homogêneo, para cada ano-safra.

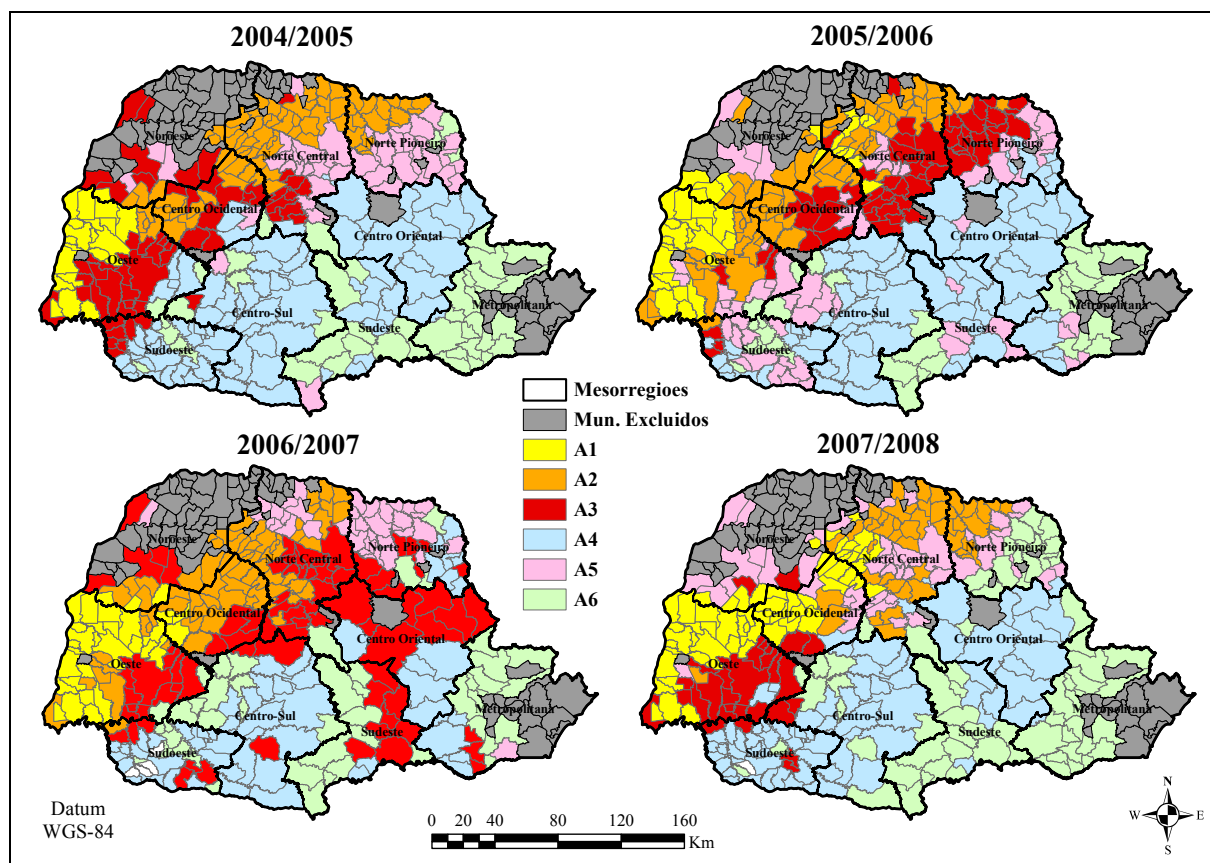


Figura 5. Mapa da distribuição espacial dos municípios pelos seis agrupamentos gerados pelo método *K-Means*.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Estatística Aplicada (LEA) da UNIOESTE/Campus Cascavel, pela infraestrutura disponibilizada para realização da pesquisa.

4. Conclusões

Foi possível através do uso da técnica estatística multivariada de particionamento *K-Means*, a geração de agrupamentos de municípios com padrão espectro-temporal de EVI semelhantes. O melhor resultado foi encontrado quando os 322 municípios estudados foram particionados em 6 agrupamentos.

A representação espacial destes agrupamentos de municípios mostrou que a ocorrência não foi aleatória, mas em sub-regiões, evidenciando padrões agrônômicos semelhantes para as culturas de milho e soja.

De forma geral, os resultados obtidos na identificação de áreas homogêneas, em termos de EVI, podem ser úteis para geração de modelos espectrais de estimativa de produtividade destas culturas, adotando-se um único modelo por agrupamento, em vez de um por município, otimizando assim, recursos humanos e computacionais em sistemas de previsão de safras.

Referências Bibliográficas

ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens Modis**. 163p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, 2010.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamentos de Safra**. 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em 12 out. 2010.

ESQUERDO, J.C.D.M. ; ZULLO JUNIOR, J. ; ANTUNES, J.F.G. . Use of NDVI/AVHRR time series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, n.13, p. 3711 – 3727, 2011.

FERREIRA, L. G., N.C. FERREIRA, M.E. FERREIRA. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum**. Biological Sciences, v. 30, p.379-390, 2008.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.33, n.8, 1399-1405, 1998.

HOLBEN, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, p.1417-1435, 1986.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W.V. **MODIS vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**. 1999. Disponível em: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf. Consultado em 8 de fevereiro de 2009.

HUETE, A. R.; MIURA, T.; DIDAN, K.; RODRIGUES, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n.1-2, p.195-213, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de Dados Agregados: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 05 abr. 2011.

JOHANN, J. A. **Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas agrícolas de verão no estado do Paraná**. 225p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2012.

JOHANN, J.A.; ROCHA, J.V.; DUFT, D.G.; LAMPARELLI, R.A.C. Estimativa de áreas com culturas de verão no Paraná, por meio de imagens multitemporais EVI/Modis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.9, p.1295-1306, set, 2012.

LABUS, M.P.; NIELSEN, G.A.; LAWRENCE, R.L.; ENGEL, R.; LONG, D.S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.23 n.20, p.4169-4180, 2002.

MACQUEEN, J. B. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In: Lecam, L. M.; Neyman, J. editors, **Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistic and Probability**, p. 281-297, University of California Press, Berkley, CA, 1967.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Technical specifications: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)**, 2009. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>. Acesso em: 06 jun. 2009.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor *MODIS* associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.1, p.73-80, janeiro, 2007.

WITTEN, I. H.; FRANK, E. **Data mining: Practical machine learning tools and techniques**. 2^a ed. São Francisco: Morgan Kaufmann, 525p., 2005.

Resumo. O objetivo deste trabalho foi agrupar, por semelhança, perfis espectro-temporais do índice de vegetação EVI/Modis, para os principais municípios produtores de soja e milho no Estado do Paraná, entre os anos-safra 2005/2006 e 2007/2008. A partir do mapeamento (máscaras) destas culturas, obtidas de Johann et al. (2012), gerou-se os perfis espectro-temporais médios municipais de EVI do sensor Modis (imagens de 16 dias), entre as cenas 241 (29/08/ano1) e 113 (23/04/ano2) para cada ano-safra estudado. A extração dos valores de EVI dos pixels das máscaras de cada município e ano safra, foi realizada através de um sistema de extração de dados de imagens desenvolvido em IDL/ENVI. A técnica estatística multivariada de particionamento *K-Means*, permitiu a realização de agrupamento de municípios com padrão espectral semelhante ao longo do desenvolvimento destas culturas. Foram testados de 3 a 10 agrupamentos. O melhores resultados em termos de perfil temporal de EVI semelhantes foram encontrados quando os 322 municípios estudados (responsáveis por 99% da produção e área colhida de soja e milho) foram organizados em seis agrupamentos. A representação espacial destes agrupamentos de municípios mostrou que a ocorrência não foi aleatória, mas em sub-regiões, evidenciando padrões agrônômicos semelhantes para as culturas de milho e soja em cada agrupamento. Estas informações podem facilitar o uso de modelos espectrais de estimativa de produtividade destas culturas, adotando-se um único modelo por agrupamento, otimizando assim, recursos humanos e computacionais em sistemas de previsão de safras.