

Análise da dinâmica de vegetação campestre em série temporal de índice de vegetação e dados meteorológicos

Bibiana Salvador Cabral da Costa¹
Tatiana Mora Kuplich²

¹Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM /
UFRGS
Caixa Postal 15044 - 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
bibianascc@gmail.com

²Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/ INPE
Caixa Postal 5021 – 97105-970 – Santa Maria - RS, Brasil
tmk@dsr.inpe.br

Abstract. The use of remotely sensed data allows the monitoring of vegetated areas. The dynamics of Vegetations Indexes can be related to vegetation phenology and to meteorological data. The Conservation Unit of Ibirapuitã, located inside the grasslands of Pampa biome in Rio Grande do Sul was chosen as the area for a temporal study with the objective of analyzing the vegetation dynamics/phenology in times series of NDVI (from MODIS data) and meteorological data (precipitation, temperature and relative air humidity). Monthly averages of NDVI and meteorological data were acquired from February 2000 to September 2009. These temporal data were smoothed by a moving average procedure and tendencies and a seasonal index for the series were estimated. Relationships between NDVI and meteorological data were estimated by cross correlation with time lag. The wavelet transformation with the DOG mother function was used to generate the temporal power spectrum of both data series and helped recognize inter and intra-annual vegetation and climate dynamics. Peaks in NDVI responses coincided with the time of grassland vegetation growing season. The correlation between the data showed a fast response of the NDVI to high levels of precipitation and air humidity. The data and methods presented here made possible the seasonal analysis of NDVI, and, by extension, the temporal dynamics of the vegetation. Field data and a longer temporal series will complement a future study of the same area.

Palavras-chave: grasslands, time series, cross-correlation, wavelets transforms; campos, séries temporais, correlações cruzadas, transformadas de ondaletas.

1. Introdução

As imagens de sensores a bordo de satélites podem fornecer dados quantitativos que permitem o monitoramento e a quantificação da extensão da vegetação (Fonseca et al., 2006). É necessário, para isso, entender a distribuição dos tipos de vegetação, suas propriedades estruturais e biofísicas e variações espaciais e temporais (Huete et al., 2002).

Os índices de vegetação são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar (Ponzoni e Shimabukuro, 2007). Segundo Jensen (2009), estes índices permitem monitorar as variações sazonais e de crescimento (fenológicas) da vegetação, sendo medidas radiométricas adimensionais que indicam abundância relativa e atividade da vegetação verde.

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo das plataformas TERRA e AQUA foi lançado em fevereiro de 2000. Dentre os dados gerados pelo MODIS, é possível obter o índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN, ou em Inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI). O NDVI é um índice que pode ser utilizado como ferramenta para monitorar a vegetação, através da construção de perfis sazonais e temporais, permitindo comparações inter-anuais (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

Diversos estudos têm utilizado séries temporais de NDVI em relação a variáveis meteorológicas, com a finalidade de estabelecer relações entre as variáveis estudadas e como elas influenciam na resposta da vegetação no tempo. Outra abordagem que tem crescido consideravelmente em estudos com vegetação corresponde ao uso de análise por transformada

de ondaletas (*wavelets*) (He et al., 2007). Este tipo de análise se tornou uma ferramenta comum para analisar variações locais de energia em séries temporais, sendo capaz de determinar os modos dominantes de variabilidade de tempo-frequência-espaço (Barbosa e Blitzkow, 2008).

No Brasil, as fisionomias vegetais predominantes estão divididas por biomas (IBGE, 2004). Destes, o Pampa, com ocorrência no Rio Grande do Sul (RS) e se estendendo até o Uruguai e Argentina, é caracterizado pelo predomínio da fisionomia vegetal campestre. Devido à sua grande diversidade biológica, aliada às pressões antrópicas, os campos desse bioma são considerados como área de extrema importância biológica para a conservação (MMA, 2002), porém, apenas 0,33% estão protegidos por unidades de conservação (Overbeck et al. 2007).

O conhecimento sobre o comportamento sazonal da vegetação auxilia a compreensão e delineamento de seu monitoramento. A disponibilidade de dados de sensoriamento remoto gratuitos garante a realização de estudos testando diferentes abordagens. Este trabalho teve como objetivo a utilização de série temporal de dados MODIS/NDVI e meteorológicos – fevereiro de 2000 a setembro de 2009 - para descrever a fenologia de uma amostra de vegetação campestre no Bioma Pampa. Objetivos específicos incluem a estimativa da relação entre dados NDVI e meteorológicos na área de estudo, assim como da eficácia da transformada de ondaleta na descrição da fenologia da vegetação campestre.

1.1 Área de Estudo

No sudoeste do estado do Rio Grande do Sul está localizada a Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã (Figura 1), entre as coordenadas 55°29'O a 55°53'O e 29°05'S a 30°51', criada pelo decreto nº 529 de 20 de maio de 1992 e com uma área de aproximadamente 318.000ha. A APA está situada entre os municípios de Quaraí, Santana do Livramento, Rosário do Sul e Alegrete e faz limite com o Uruguai. Atualmente está sob a jurisdição do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio – MMA), sendo a única unidade de conservação Federal do Pampa no Estado.

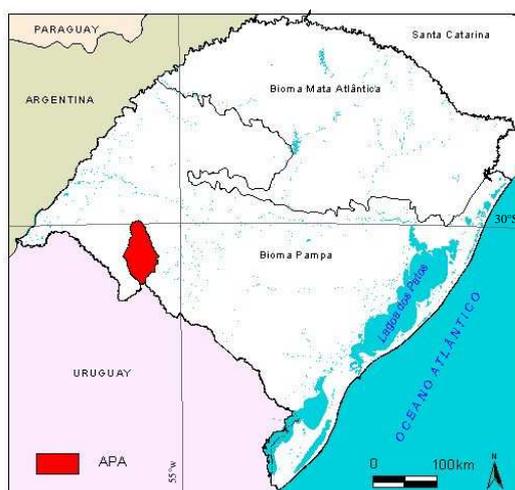


Figura 1. Localização da APA do Ibirapuitã no Rio Grande do Sul.

2. Metodologia

2.1 Aquisição dos dados e Processamento das imagens

Foi adquirida uma imagem Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), órbita/ponto 224/081 de 28/01/2000, para a seleção da amostra de campo e extração das coordenadas da área de estudo. A imagem foi adquirida gratuitamente já georreferenciada na página *Global Land Cover Facility* (GLCF), disponibilizada via FTP.

Para a análise da série temporal de NDVI, foram adquiridas 222 imagens, correspondentes ao período de fevereiro de 2000 a setembro de 2009, do produto MOD13Q1. Este produto possui dados com resolução espacial de 250m e composição de imagens diárias a cada 16 dias. O produto MODIS é disponibilizado gratuitamente em formato HDF-EOS, em 16bit e projeção Sinusoidal. A cena (ou *tile*), utilizada para a área de estudo corresponde ao produto MOD13Q1 h13-v12, que abrange a metade sul do Rio Grande do Sul.

Foram adquiridos dados meteorológicos com médias mensais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar do Município de Santana do Livramento, cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de janeiro de 2000 a setembro de 2009. Para os meses com falhas de dados foi calculada a média de cada mês para toda a série temporal e estas médias foram atribuídas para cada mês correspondente.

A amostra de vegetação campestre foi obtida a partir da imagem Landsat. Para identificar essa fisionomia vegetal, foram geradas duas composições coloridas falsa-cor RGB543 e RGB453. As coordenadas da amostra foram utilizadas para a obtenção da área campestre na imagem NDVI/MODIS.

Para a extração do índice de vegetação foi utilizado o programa *Modis Reprojection Tools* (MRT). Este programa permitiu visualizar todos os dados disponíveis dentro de cada produto MODIS. O MOD13Q1 possui, além de imagens de NDVI, imagens EVI, dados de reflectância, no vermelho, infravermelho próximo e azul, além de outras informações. Ao mesmo tempo em que foi extraído o NDVI pelo MRT, este programa também permitiu a projeção das imagens, neste caso, para geográficas.

2.2 Análise da Série Temporal

Para o NDVI, foi calculada a média da matriz da amostra. Cada ano do NDVI corresponde a 23 imagens. Foram utilizadas as médias a partir da segunda quinzena de fevereiro de 2000 até setembro de 2009, totalizando as 222 imagens.

Para suavizar o espectro temporal, foi calculada uma média móvel para cada série temporal a cada três pontos (três meses). Esse valor foi escolhido levando em conta a identificação de variações sazonais da vegetação. A partir da média móvel também foi possível estimar a tendência da série temporal. Assim, foi gerada uma linha de tendência para todas as séries a fim de identificar se houve um aumento ou diminuição do sinal ao longo do período analisado.

Foi calculado o índice estacional para cada série temporal, para identificar a variação sazonal do NDVI e das variáveis meteorológicas ao longo do período analisado. Para o cálculo do índice foi obtida a média de cada mês correspondente a todo o período da série, subtraindo estes dados pela média mensal anual.

Foi efetuada uma análise estatística de correlação cruzada com defasagem de tempo de 12 meses entre as variáveis NDVI e meteorológicas. Para efetuar a análise, os dados precisaram ser normalizados

A transformada de ondaletas foi utilizada para identificar padrões de comportamento da vegetação através da análise do espectro de potência. Para a análise foi utilizada a série temporal de 222 médias de NDVI e foi utilizada a função ondaleta mãe de Dog ($m=6$), para a geração do espectro. Também foram geradas ondaletas a partir da função de DOG para as variáveis meteorológicas. Foram criadas anomalias normalizadas das séries a fim de identificar onde ocorreram as médias positivas e negativas ao longo do espectro.

3. Resultados e Discussão

A curva da série temporal da amostra de vegetação campestre de NDVI mostrou a variação sazonal da vegetação ao longo do período analisado. O mesmo foi feito para as variáveis meteorológicas, precipitação, umidade relativa e temperatura. A Figura 2 mostra

toda a série original, com alta presença de ruídos e com a curva suavizada (média móvel), para as quatro variáveis. Pela reta de tendência, é possível observar um padrão decrescente para o NDVI. Para precipitação foi possível observar que entre 2001 e 2003 ocorreram as maiores médias. Entre 2004 e 2006 as médias foram bem mais baixas, com um aumento em 2007 e voltando a baixar a partir de 2008. Com isso, a tendência da precipitação para a série teve uma reta descendente. Para a umidade relativa houve uma variação maior entre altas e baixas umidades a partir de 2004, principalmente entre 2005 e 2008. Devido a isso, a linha de tendência teve uma leve inclinação negativa no decorrer da série.

Já em relação à temperatura, a variação da série temporal foi bem sazonal, ou seja, não houve diferenças significativas entre os anos. A variação da série temperatura corresponde à variação sazonal do Rio Grande do Sul, onde são observadas altas temperaturas no verão e baixas no inverno.

A Figura 3 mostra a variação mensal de cada ano da série temporal de NDVI, precipitação, umidade relativa e temperatura.

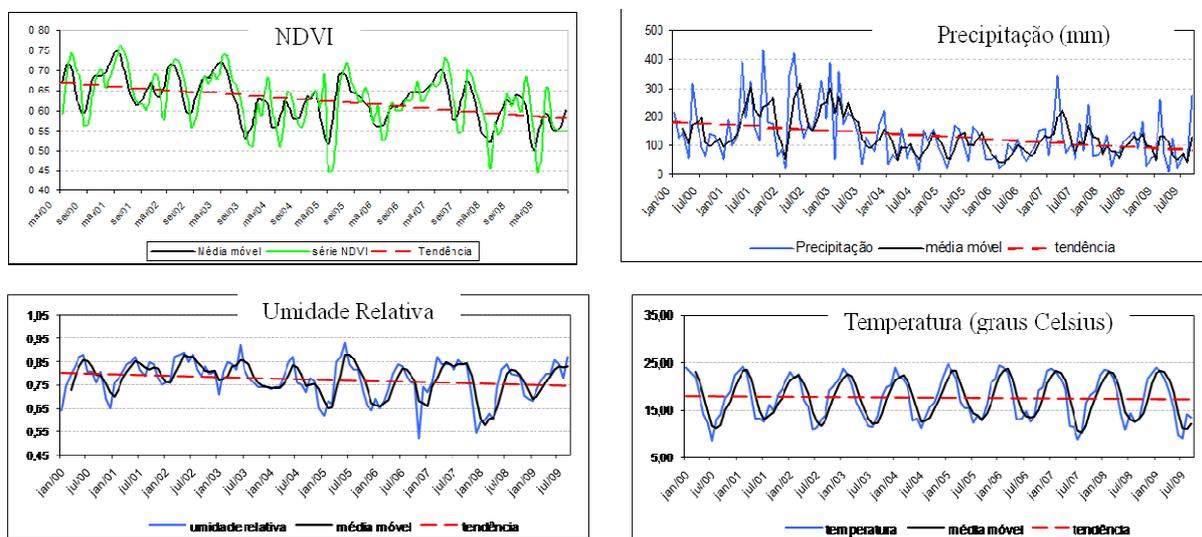


Figura 2. Série temporal de NDVI, precipitação, umidade relativa e temperatura com média móvel e linha de tendência.

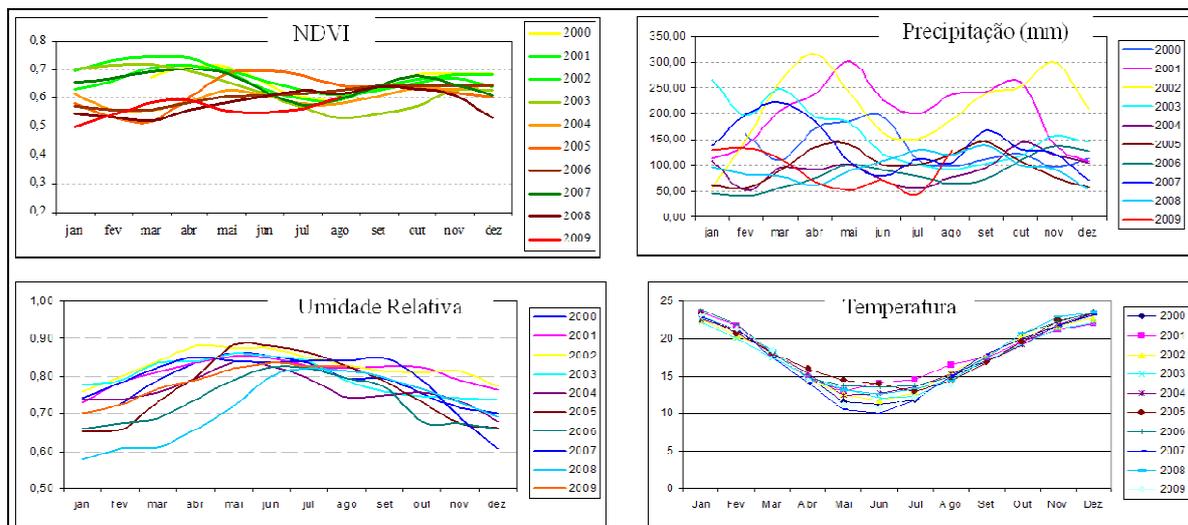


Figura 3. Série NDVI, precipitação, umidade relativa, temperatura, suavizada, por ano.

O NDVI mostrou um padrão de comportamento distinto nos meses de fevereiro a abril, sendo que entre 2000-2003 e em 2007 os valores de NDVI foram mais elevados; entre 2004-2006 e 2008-2009, os valores de NDVI foram mais baixos. Ocorreu uma variação também para a precipitação e umidade relativa.

O gráfico do índice estacional revelou o padrão de comportamento da série temporal da amostra para um ano (Figura 4). Apesar de o comportamento da vegetação variar em dois padrões de comportamento visualizados principalmente na época de verão, a curva do índice estacional revela o padrão sazonal médio de cada mês para todo o período da série (2000 a 2009). Os valores médios mais altos de NDVI correspondem aos períodos de final de verão, outono e primavera; os mais baixos ocorreram no inverno e verão. Esse padrão corresponde a estudos de fenologia campestre, que indicam o crescimento dos campos dessa região nessas estações. Entretanto, seria necessária a coleta de amostras de vegetação para identificar quais espécies estão presentes na área.

Em relação ao índice estacional para as variáveis meteorológicas, a precipitação apresentou um comportamento sazonal parecido com o NDVI nos meses de final de verão-outono, inverno e primavera. O índice da Umidade Relativa mostrou um padrão ascendente a partir do verão. Os maiores índices foram observados no final do verão, com pico no início do inverno.

A temperatura apresentou um padrão bem característico da região, com elevadas temperaturas no verão e baixas temperaturas no inverno

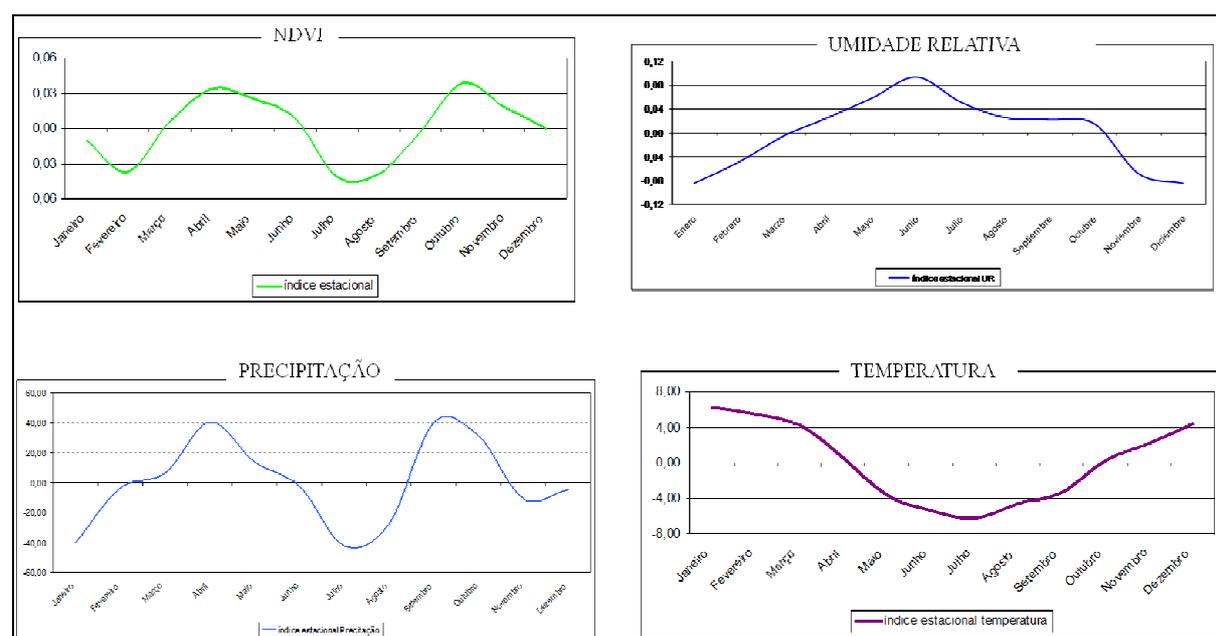


Figura 4. Índice estacional do NDVI, precipitação, umidade relativa, temperatura

As análises das correlações cruzadas com defasagem de tempo mostraram que as variáveis meteorológicas de precipitação e umidade relativa do ar influenciam na resposta do NDVI. Já as séries NDVI/temperatura, não apresentaram em nenhum momento correlação significativamente confiável e por esse motivo não foram analisadas. A Figura 5 mostra que um mês após ocorrer o fenômeno, meteorológico de precipitação e umidade relativa do ar, respectivamente, foram observados os maiores índices de correlação entre essas variáveis. A Figura 5 é relativa à correlação de NDVI/Precipitação e NDVI/Umidade Relativa para um *lag* de 12 meses. As linhas tracejadas em vermelho indicam que valores que ultrapassam as mesmas são estatisticamente confiáveis, e valores que estão entre elas não devem ser considerados, por não terem confiança estatística. A variável precipitação é a variável

independente na análise e o NDVI é a variável dependente. O valor mais alto da correlação está em um *lag* -1 , ou seja, o NDVI tem sua resposta máxima um mês após chover. Também é observada uma correlação dois meses após chover (*lag* -2) e no mesmo instante da precipitação (*lag* 0).

O mesmo ocorre com a variável umidade relativa (variável independente). O pico de correlação também ocorre um mês após haver alta umidade, mas também é alta no momento em que a umidade é alta.

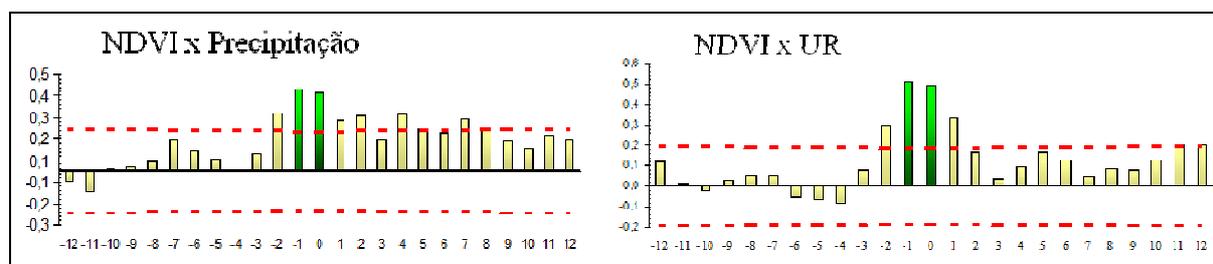


Figura 5. Gráfico da correlação cruzada entre NDVI e Precipitação e entre NDVI e Umidade Relativa do Ar para um *lag* de 12 meses, respectivamente.

A transformada de ondaletas permitiu representar em um gráfico de potência os picos de energia de NDVI e das variáveis meteorológicas em diferentes escalas de tempo e frequência, conforme representado na Figura 6.

A transformada de ondaletas de DOG indica no espectro de potência onde ocorreram as maiores oscilações de valores de NDVI e dados meteorológicos. Os picos de energia que aparecem contornados pela linha preta possuem 95% de significância estatística, assim como os que estão acima da linha em preto que cruza a série.

Na Figura 6a, no espectro de potência para a amostra de NDVI, é possível analisar a ocorrência de três picos distintos em diferentes escalas temporais e em diferentes frequências. Um anual, a cada 23 meses (imagens), o que corresponde a cada ano para a série, um intra-anual (a cada 12 meses aproximadamente, o que corresponde à metade de uma série anual) e outro pico após 100 meses aproximadamente (inter-anual). Da mesma maneira, para as séries meteorológicas, o espectro de potência a partir de DOG mostrou onde ocorrem as maiores oscilações na série. A umidade e a temperatura mostram um comportamento anual, enquanto que a precipitação teve um comportamento em escalas variadas, intra-anuais e anuais e inter-anuais, porém, a maior variação ocorreu em escala intra-anual, nos anos de 2001 e 2002.

No gráfico de anomalia normalizada das séries temporais, Figura 6b, NDVI, precipitação e umidade relativa, possuem anomalias positivas predominantes entre 2000 e 2003 e correspondência entre anomalias positivas e negativas também ao longo da série.

No espectro de potência, estão representadas onde ocorreram as maiores oscilações das anomalias em escala de tempo e frequência. Apesar de os dados obtidos pela transformada de ondaletas neste estudo serem gerados somente a partir de espectros de potência, é possível identificar padrões do sinal das séries temporais. Para uma melhor análise da influência das variáveis climáticas sobre o NDVI, seria necessário realizar uma correlação entre os espectros de anomalia, que poderia dar a informação das maiores correlações entre as variáveis em diferentes escalas de tempo.

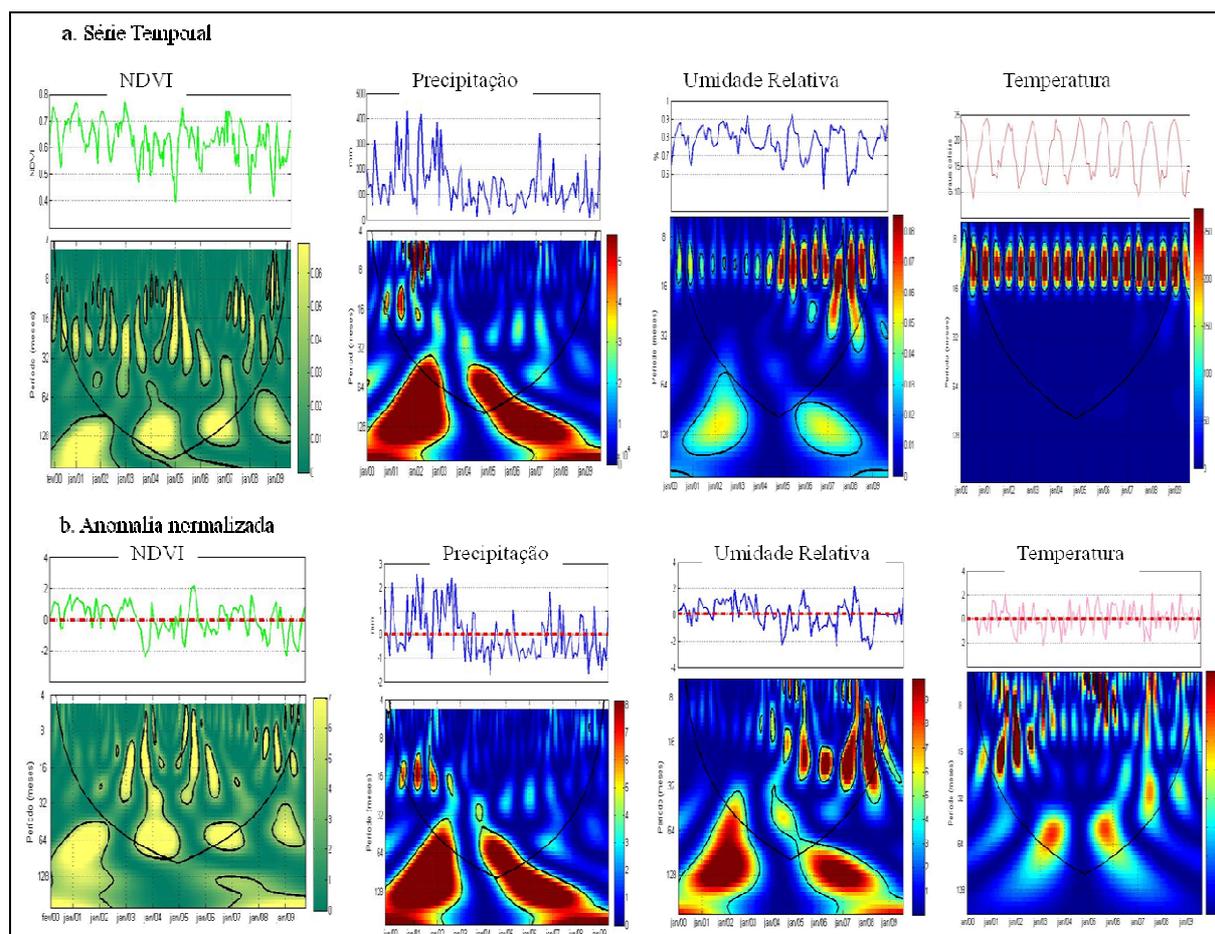


Figura 6. Espectros de potência a partir da ondaleta mãe de DOG para as séries temporais NDVI e meteorológicas (precipitação, umidade relativa e temperatura); das séries temporais (a) e das anomalias normalizadas (b).

4. Conclusões

A utilização de dados remotos para auxiliar na compreensão de fenologia dos campos permitiu a verificação dos períodos de maior e menor produtividade da vegetação. Esta informação pode auxiliar em modelos de produtividade de campos naturais que buscam a conservação e uso sustentável dos mesmos.

O sensor MODIS se mostrou adequado para a análise temporal e possui a vantagem de ter uma série livre de nuvens e aerossóis em uma resolução melhor que o AVHRR. A série de dados NDVI/MODIS de 250m ainda é muito pequena, entretanto foi possível analisar um padrão de comportamento da vegetação.

O uso de dados meteorológicos permitiu verificar que existe relação entre os dados de precipitação e umidade relativa do ar com o crescimento da vegetação. Porém, para o completo entendimento da dinâmica da vegetação, é necessário levar em conta outros tipos de análises, como eventos meteorológicos de menor escala (geadas, secas), assim como de maior escala (El Niño/La Niña), e de mudanças do uso da terra. Também é importante a coleta de dados em campo, assim como a verificação da relação da vegetação com outras variáveis.

A análise por transformadas de ondaletas tem um grande potencial para a análise temporal de fenômenos naturais, pois possibilita visualizar padrões em escalas de tempo-frequência-espço, além disso, fornecem informações sobre mudança de frequência que podem ter ocorrido na série temporal. A transformada de ondaletas também se mostrou uma ferramenta muito útil para identificar padrões de comportamento das séries temporais e pode gerar dados importantes em séries que contenham dados mais extensos. Para estabelecer uma

relação entre os espectros de NDVI e meteorológicos, pode-se realizar o cruzamento entre os espectros de potência. A utilização de outros tipos de ondaletas mãe pode gerar resultados diferentes, dependendo do tipo de função utilizada e objetivo do estudo.

Por fim, apesar de a série temporal analisada não ser muito extensa, neste trabalho foi possível empregar algumas metodologias que permitissem extrair informações da dinâmica da vegetação. Para isso, em estudos futuros deverão ser analisadas outras amostras de diferentes tipos de vegetação campestre e séries temporais mais extensas.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado como parte da obtenção do título de especialização no curso internacional de sensoriamento remoto (2009), e como parte de projeto de pesquisa sobre a fenologia da vegetação campestre na APA do Ibirapuitã, sob a orientação da Dra. Tatiana Mora Kuplich. Neste sentido, a primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro; ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE, onde este trabalho foi realizado, ao colega de curso, Hugbell Reyes, pelo auxílio nas análises, à colega de laboratório, Tatiane Ávila, no auxílio de obtenção dos dados; e ao Instituto Nacional de Meteorologia, pela disponibilidade dos dados meteorológicos.

Referências

Barbosa, A. C. B.; Blitzkow, D. **Ondaletas: Histórico e Aplicação**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.ptr.poli.usp.br/lgt/FTP/Apostila_Ondaletas_%20MSc.Augusto_Barbosa&Dr.Denizar_Blitzkow.pdf> acesso em 05 out. 2009.

Fonseca, E. L.; Silveira, V. C. P. S.; Salomoni, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural do bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.656-659, mar-abr. 2006

He, Y. Guo, X. Cheng Si, B. Detecting grassland spatial variation by a wavelet approach. **International Journal of Remote Sensing**. v. 28, n. 7, p. 1527–1545, 2007.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, 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, p. 195–213, 2002.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004. **Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <http://www2.ibge.gov.br/download/mapas_murais/biomas_pdf.zip> Acesso em: 20 ago. 2009

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 604p.

Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2002. **Biodiversidade Brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. 340p. Disponível em: <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira_MMA.pdf> Acesso em 08 nov. 2009.

Overbeck, G. E.; Muller, S.C.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V.D.; Blanco, C. C.; Boldrini, I.; Both, R.; Forneck, E.D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**. V.9, p. 101-116, 2007.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135p.