

Monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil utilizando dados *ENVI/MODIS* no período de dezembro de 2000 a junho de 2009

Manoel de Araújo Sousa Júnior ¹
Tania Maria Sausen ²
María Silvia Pardi Lacruz ³

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM/CCR
Avenida Roraima, 1000 - 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
manoel.der.ufsm@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/CRS
Caixa Postal 5021 - 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
tania@dsr.inpe.br

³ Campus Brasil/CRECTEALC
Caixa Postal 5021 - 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
lacruz@dsr.inpe.br

Abstract. During the past ten years the south of Brazil, which has its economy based on agropecuary, has suffered severe drought events, affecting the economy of the region. The objective of this study is to propose a methodology to monitor the occurrence of drought in the Brazilian Southern region using vegetation index images. To analyze and quantify the effect of these events were collected 392 *EVI/MODIS* images and generated 196 mosaics for the period of December 2000 to June 2009, considering the four seasons. In order to calculate the vegetation anomaly images it was used the Standardized Vegetation Index – SVI. The results proved the methodology and the *EVI/MODIS* images are useful for drought monitoring. The two most important drought periods in the Brazilian Southern region were the summer and autumn of 2005 and 2009. In these two years in the summer the region faced drought of high intensity that was followed by a drought of medium intensity in the fall. As a consequence the region was affected by this kind of disaster during at least six months. The affected area covered 26.64% of the region (156,564 km²) in 2005 and 28.55% (163,871 km²) in 2009. The use of remote sensing was essential for this study due to the frequency of data availability, the quickness to process the information for such large area, as well as the possibility of the continuous monitoring of the region.

Palavras-chave: *EVI/MODIS* images, drought monitoring, Standarize Vegetation Index, Brazilian Southern region, imagens *EVI/MODIS*, monitoramento de estiagem, índice de vegetação padronizado, região Sul do Brasil.

1. Introdução

De acordo com o Manual de Desastres da Secretaria Nacional de Defesa Civil as estiagens resultam da redução das precipitações pluviométricas, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada. Nas estiagens ocorre uma queda dos índices pluviométricos para níveis sensivelmente inferiores aos da normal climatológica, comprometendo necessariamente as reservas hidrológicas locais e causando prejuízos à agricultura e à pecuária (Castro et al., 2003).

A estiagem está relacionada com a queda acentuada das reservas hídricas de superfície e de subsuperfície de uma dada região e com as conseqüências dessa queda sobre o fluxo dos rios e sobre a produtividade agropecuária. As estiagens se caracterizam por serem menos intensas que as secas e por ocorrerem em períodos de tempo menores. Como ocorrerem, com relativa frequência, nas áreas mais produtivas e de maior importância econômica, ela produz reflexos extremamente importantes sobre o agronegócio, comprometendo o abastecimento, a produção de alimentos e a economia da região.

A região Sul do Brasil tem enfrentado períodos de estiagens na última década, com intensidade e frequência acima do normal. Esse fenômeno afeta a economia, por ser esta uma

região agropecuária e os danos à população aparecem de forma direta com a escassez no abastecimento de água potável, o que faz com que se caracterize como um desastre natural de grande magnitude.

A quantificação das áreas afetadas pela estiagem é um grande desafio, devido à falta de informação mais detalhada e contínua. Existem diferentes métodos de estimar essas perdas ou danos provocados pela estiagem, mas todos estão limitados pelo tipo de dado utilizado e pela frequência de atualização dessas informações.

Com o surgimento do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)* a partir de 1999, a bordo dos satélites *TERRA* e *AQUA*, foi possível dar continuidade à utilização do índice de vegetação de diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index – NDVI*) com uma resolução espacial maior quando comparada com a obtida com o *Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR*.

O *MODIS* oferece outro índice de vegetação, o *Enhanced Vegetation Index (EVI)* que é um índice melhorado para realçar o sinal da vegetação através da otimização na sensibilidade em regiões com altos valores de biomassa e permite realizar um melhor monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera (Huete et al., 1994; Huete et al., 1997). As imagens *EVI/MODIS* por suas características podem ser utilizadas para este tipo de estudo uma vez que permite identificar as variações no verdor da vegetação causadas por eventos climáticos, como a estiagem.

O aumento da quantidade de vegetação e da atividade fotossintética conduz a um aumento no índice de vegetação. Por outro lado, o estresse hídrico causa uma redução na taxa fotossintética e de transpiração da planta, o qual se traduz em uma redução substancial do índice de vegetação (Bonifacio et al., 1993).

Com essas imagens é possível identificar mudanças significativas na vegetação e principalmente as áreas mais afetadas pela estiagem uma vez que, conforme observado por Huete et al. (1999), a variação ocorrida no índice de vegetação melhorado (*EVI*) tem uma boa correlação com o conteúdo de biomassa verde, e esses valores obtidos por sensores remotos mostram ser bons indicadores do stress hídrico nas plantas (excesso ou falta de água na vegetação). Segundo Jin e Sader (2005) o uso das imagens *EVI/MODIS* traz uma perspectiva para o monitoramento da cobertura vegetal quase que em tempo real e com melhora na acurácia.

Este trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia para monitorar a ocorrência de estiagem na região Sul do Brasil utilizando imagens índice de vegetação. Os objetivos específicos são: quantificar as áreas afetadas por estiagem no período de dezembro de 2000 a junho de 2009; propor a sistematização da metodologia empregada de maneira a dispor de um monitoramento contínuo e expedito das áreas afetadas por estiagem na região Sul do Brasil; e, fornecer informação base para um modelo de prevenção e mitigação dos efeitos da estiagem na região.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende a região Sul do Brasil, a qual ocupa um total de 576.408 km², sendo formada pelos estados do Paraná (199.314 km²), Santa Catarina (95.346 km²) e Rio Grande do Sul (281.748 km²). A população da região é de 26.733.595 habitantes, dos quais 38,47% correspondem ao estado de Paraná, 21,94% a Santa Catarina e 39,58% a Rio Grande do Sul (IBGE, 2009).

A região Sul destaca-se por sua produção agropecuária, sendo uma das líderes na produção nacional de soja e responsável por 90% da produção nacional de trigo (Embrapa,

2006), além de suprir mais de 57% da demanda nacional de arroz (Embrapa, 2005). É também a região importante na exportação de carne bovina e possui o maior rebanho ovino do país.

2.2 Materiais

Neste estudo foram utilizadas imagens *EVI/MODIS*, produto MOD13Q1, *Tiles* H13V11 e H13V12 disponíveis para *download* em *Earth Observing System Data Gateway* (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Foram utilizadas 392 imagens e gerados 196 mosaicos de dezembro de 2000 a junho de 2009, considerando o período de aquisição das imagens e as estações do ano: verão: 19 de dezembro a 21 de março; outono: 22 de março a 25 de junho; inverno: 26 de junho a 13 de setembro; primavera: 14 de setembro a 18 de dezembro.

As imagens foram obtidas na projeção sinusoidal, com nível de quantização de 16 bits e no formato *HDF* (*Hierarchy Data Format*). Originalmente o produto índice de vegetação é formado por 11 bandas, sendo uma delas o *EVI*. Para a extração da banda *EVI*, reprojeção destas e geração dos mosaicos para a região Sul do Brasil, em projeção UTM e formato *Geotiff*, foi utilizado o *software MODIS Reprojection Tool (MRT)*. Foram utilizados também:

- Mapas e dados de precipitações acumuladas, médias da área, coincidentes com as datas das imagens *EVI/MODIS*, para o período em estudo, disponíveis na página do CPTEC/INPE (<http://www.cptec.inpe.br>);
- Mapas de Índice de Precipitação Padronizada (SPI), gerados por interpolação pelo método de Cressman, para os meses com eventos de seca, mais significativos, disponíveis na página do INMET (<http://www.inmet.gov.br>);
- Mapa das regiões geográficas do estado do Paraná (2008) baseado na Lei Estadual no. 15.825/08 e base cartográfica utilizada pela SEMA (2007) disponível na página do IPARDES, (http://www.ipardes.gov.br/pdf/mapas/base_fisica/regioes_geograficas_2008_PR.pdf).
- Mapa das mesorregiões do estado de Santa Catarina do IBGE Herrmann (2006);
- Mapa das regiões fisiográficas do estado do Rio Grande do Sul do Inventário Florestal Contínuo, disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/fisiografia.htm#alto>.

2.3 Metodologia

Os mosaicos *EVI/MODIS* foram agrupados por estação do ano e posteriormente foram calculadas as imagens média do índice de vegetação para cada estação e cada ano. Posteriormente, foram geradas quatro imagens de média de referência e quatro imagens correspondentes ao desvio padrão de referência de cada estação do ano, para o período de estudo.

Após gerar as imagens de referência, foram calculadas as imagens de anomalia de vegetação utilizando o Índice de Vegetação Padronizado (*Standardize Vegetation Index - SVI*) conforme fórmula abaixo para as quatro estações, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

$$SVI_{valor} = \frac{\bar{X}_{valor} - \bar{X}_{referência}}{\sigma_{referência}}$$

onde: \bar{X}_{valor} representa a média da estação para um determinado ano; $\bar{X}_{referência}$ é a media de referência para a estação, ou seja, a média para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009; e, $\sigma_{referência}$ é o desvio padrão de referência para a estação do ano, isto é, desvio padrão para a média para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

O cálculo das imagens de anomalia de vegetação foi realizado *pixel a pixel* e se obteve através da subtração da média da estação do ano e a média da imagem referência para cada estação, dividida pelo desvio padrão da imagem referência. Assim, foram obtidos os valores de anomalia de vegetação para cada estação do ano do período em estudo para a região Sul do Brasil. A partir destas imagens é possível identificar e quantificar onde ocorre maior perda de verdor na vegetação, o qual está associado à maior ou menor presença de água na vegetação.

Adicionalmente, foram calculadas as áreas afetadas por anomalia de vegetação para toda a região Sul e para cada um dos estados, por estação do ano, para o período de dezembro de 2000 a junho de 2009. Posteriormente foram obtidos e analisados os mapas de precipitação acumulada (mm), média da área, para a região Sul do Brasil referente ao mesmo período, de maneira de poder compará-las com as imagens de anomalia de vegetação e ter assim informações do comportamento da vegetação em função da distribuição das chuvas na região.

Coletaram-se e analisaram-se mapas de desvio de Índice de Precipitação Padronizado - SPI, em relação à normal climatológica, gerados por interpolação pelo método de Cressman, disponíveis na página do INMET, com o intuito de obter informações sobre a distribuição dos meses de ocorrência de seca/umidade na região Sul do Brasil, no período de dezembro de 2000 a junho de 2009, e para serem comparados com a ocorrência das anomalias de vegetação.

3. Resultados e Discussão

As imagens de anomalias de vegetação geradas a partir do *EVI/MODIS* representam as variações em desvios padrão com relação à média das imagens do período em estudo, elas indicam o verdor da vegetação, quanto menor o stress hídrico maior o valor da anomalia positiva da vegetação nas imagens. Consequentemente, aquelas áreas onde o valor de anomalia de vegetação for negativo correspondem a áreas de estiagem. Os valores mínimos e máximos de índice de anomalia de vegetação calculado neste estudo referem-se apenas ao período analisado.

Para representar os valores de anomalia de vegetação foram definidas as seguintes classes de desvio padrão:

	< -2,0 desvios padrão - estiagem de intensidade alta
	-2,0 a -1,5 desvios padrão - estiagem de intensidade média
	-1,5 a -1,0 desvios padrão - estiagem de intensidade baixa
	-1,0 a 1,0 desvios padrão - normal
	1,0 a 1,5 desvios padrão - vegetação com verdor baixo
	1,5 a 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor médio
	> 2,0 desvios padrão - vegetação com verdor alto

Analisando as imagens de anomalia negativa de vegetação se verificou que não foi possível identificar um padrão na distribuição espacial da área atingida, mas foi possível identificar áreas de maior recorrência: no Paraná em geral as anomalias negativas ocorreram no Norte Pioneiro e Central, Noroeste e Oeste; em Santa Catarina elas ocorreram principalmente no Oeste, Norte Catarinense, Grande Florianópolis e parte da região Serrana; e já no Rio Grande do Sul, as regiões da Campanha, Missões, Serra e Encosta do Sudeste e parte do Alto Uruguai apresentaram anomalias negativas de vegetação, porém em anos mais severos, como 2005, chegaram a cobrir a maior parte da área do estado.

A partir de 2002 observou-se com mais frequência, nas imagens, a ocorrência de áreas de anomalias negativas de vegetação em toda a região Sul. Em relação à sazonalidade do evento, a maioria dos episódios de estiagem ocorreu no verão e no outono. A Tabela 1 apresenta o percentual de áreas afetadas por anomalias negativas de vegetação nos três estados da Região Sul do Brasil, para as quatro estações do ano, no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Tabela 1. Percentual da área afetada por anomalias negativas de vegetação na região Sul do Brasil para as quatro estações do ano no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.

Ano	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	Área		Área		Área		Área	
	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²
2001	6,75	40.435	4,82	28.149	8,29	48.220	9,15	51.435
2002	16,77	96.055	11,18	67.020	15,57	88.469	20,01	116.294
2003	5,65	32.581	3,73	21.842	10,94	61.386	22,05	131.053
2004	9,94	58.890	21,73	123.159	16,34	92.927	15,46	88.692
2005	33,33	187.726	26,64	156.564	6,98	40.284	14,28	82.112
2006	19,02	110.456	23,08	131.117	15,02	90.986	12,17	68.477
2007	6,77	38.971	5,19	30.170	27,76	162.025	19,26	112.312
2008	15,64	89.755	19,23	109.184	25,16	143.088	13,98	78.188
2009	34,34	198.857	28,55	163.871	--		--	

Legenda:

- mais de 30% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade alta;
- 25% a 30% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade média;
- 20% a 25% de área afetada por anomalias negativas de vegetação - estiagem de intensidade baixa.

Analisando a Tabela 1 se observa que na região Sul ocorreu anomalias negativas de vegetação variando de intensidade baixa a alta, nos seguintes períodos: primavera de 2002 e 2003; outono de 2004; verão e outono de 2005; outono 2006; inverno de 2007 e 2008; verão e outono de 2009.

A estação do ano que apresentou maior frequência de áreas de anomalias negativas de vegetação foi o outono (2004, 2005, 2006 e 2009), porém a estação onde estas anomalias ocorreram com maior intensidade foi o verão, 2005 e 2009. Observa-se também que nestes dois anos a estiagem de intensidade alta no verão foi seguida por uma estiagem de média intensidade no outono, cobrindo 26,64% (156.564 km²) em 2005 e 28,55% (163.871 km²) em 2009, o que fez com que a estiagem tivesse uma duração de pelo menos seis meses.

Nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul as áreas de anomalias negativas de vegetação ocorreram no verão, outono e inverno, já o estado do Paraná apresentou áreas com anomalias para todas as estações do ano, porém com menos frequência que nos dois outros estados.

O verão de 2005 foi a estação onde ocorreu o primeiro grande episódio de estiagem na região Sul para todos os anos analisados. As áreas de anomalias negativas de vegetação representaram 33,33% (187.726 km²) do território da região caracterizando uma estiagem de intensidade alta (Figura 1). O estado do Rio Grande do Sul foi o mais afetado pela estiagem, as áreas de anomalias negativas de vegetação representaram 40,34% da área deste estado, o correspondente a 113.671 km². A estiagem prolongou-se por duas estações (verão e outono), praticamente seis meses de estiagem, com intensidade diferente em cada estação e em cada estado, variando de intensidade alta (verão) a moderada (outono).

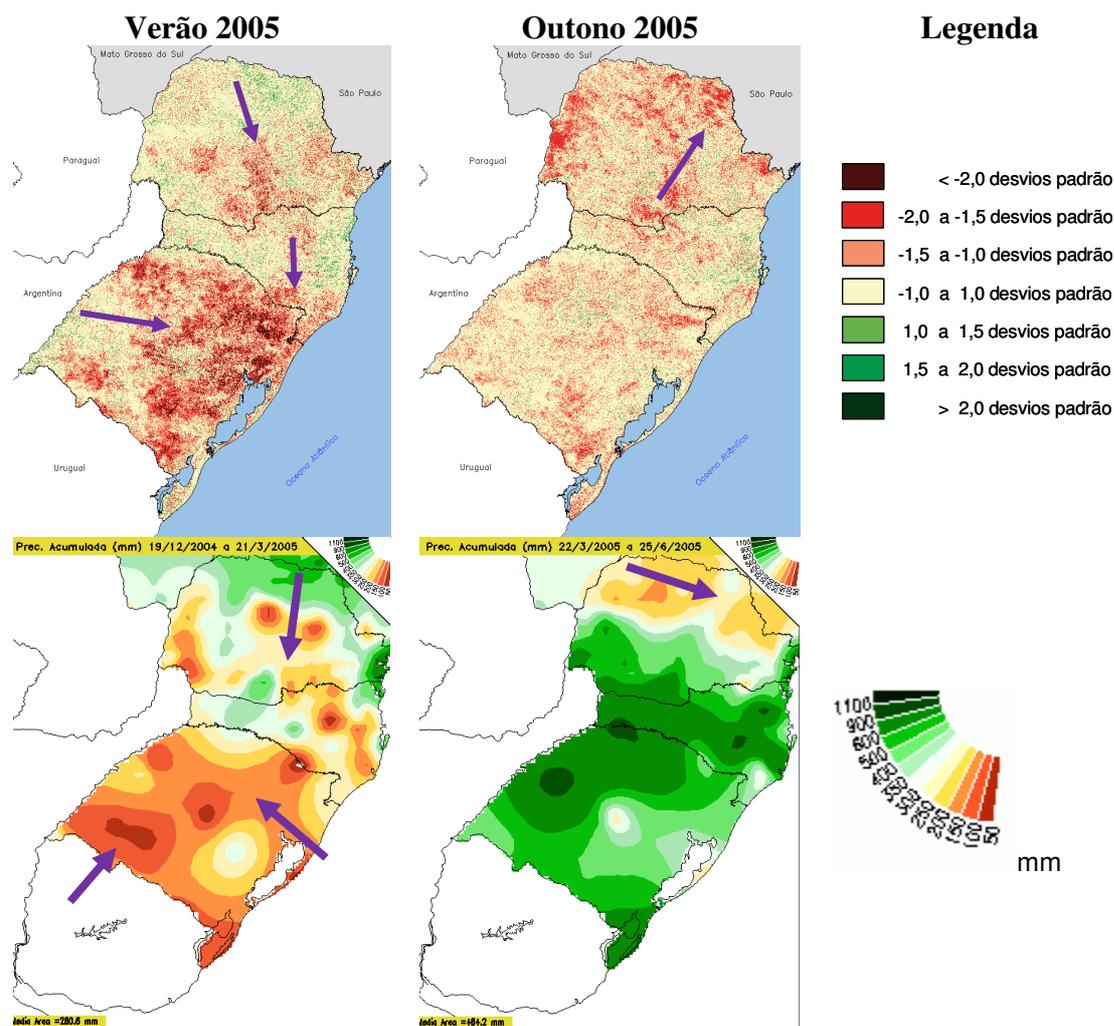


Figura 1 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e o outono de 2005.

No verão de 2009 voltaram a ocorrer de forma intensa, em toda a região Sul do Brasil, áreas de anomalias negativas de vegetação representando 34,34% do seu território, o equivalente a 198.857 km², indicando a ocorrência de uma estiagem de intensidade alta. Para o período analisado a estiagem de 2009 foi mais significativa que a de 2005, uma vez que houve um aumento de 11.125 km² de áreas de anomalia negativa de vegetação, em relação a 2005 (Figura 2).

O estado mais afetado foi o Rio Grande do Sul onde as anomalias negativas de vegetação representaram 36,98% (104.189 km²) da área do estado, indicando estiagem de intensidade alta. O segundo estado mais afetado foi o Paraná onde as áreas de anomalia representaram 34,41% (68.580 km²) do estado. Já Santa Catarina teve 27,36% (26.088 km²) de sua área recoberta por anomalias negativas de vegetação.

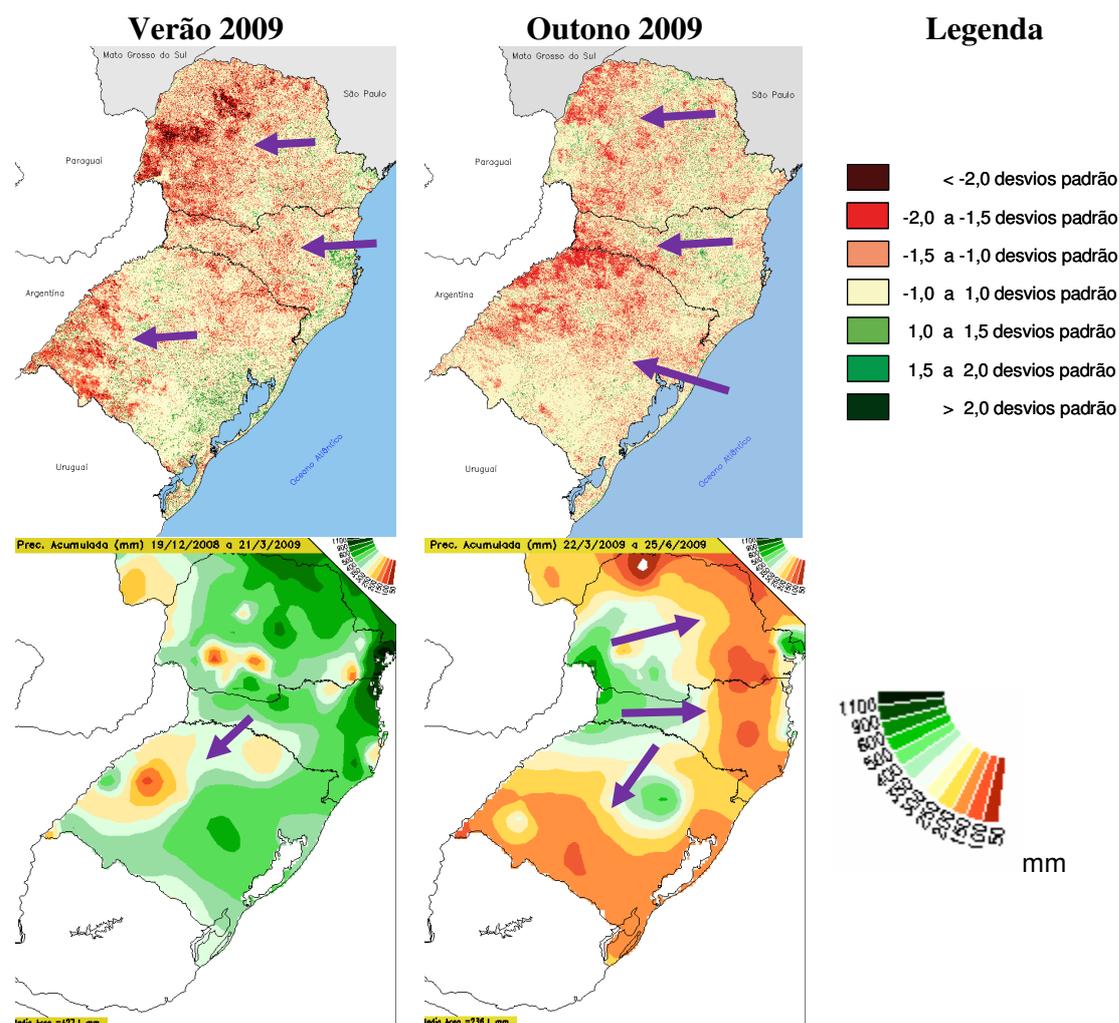


Figura 2 - Imagens de anomalia de vegetação e mapas de precipitação acumulada para o verão e outono de 2009.

4. Conclusões

Os resultados alcançados demonstraram que a metodologia utilizada e as imagens *EVI/MODIS* são úteis para a caracterização e o monitoramento de áreas de anomalias de vegetação indicativas de estiagem.

A resolução temporal das composições *EVI/MODIS*, permitiu fazer um monitoramento constante das anomalias negativas de vegetação, possibilitando assim o mapeamento, a quantificação e classificação por intensidade de áreas afetadas por estiagem. Estas informações constituem a base para a geração de modelos preditivos para o monitoramento de estiagem e para a definição de ações preventivas ou de tomadas de decisão que possam minimizar os danos causados por este tipo de desastre.

Não foi identificado um padrão na distribuição espacial da área atingida, mas foram observadas áreas de maior recorrência de eventos de estiagem para o período de estudo, sendo estas: o Norte Pioneiro e Central, Noroeste e Oeste do Paraná; o Oeste, Norte Catarinense, Grande Florianópolis e parte da região Serrana de Santa Catarina; e as regiões da Campanha, Missões, Serra e Encosta do Sudeste e parte do Alto Uruguai no estado do Rio Grande do Sul.

O verão de 2005 e o de 2009 foram os períodos que apresentaram as maiores extensões de áreas de anomalias negativas de vegetação coincidindo com os dois grandes episódios de estiagem que ocorreram na região Sul do Brasil.

Durante o período analisado houve apenas dois eventos durante o verão, no entanto ambos foram de alta intensidade; o outono foi a estação que apresentou maior número de ocorrências, sendo dois de media intensidade e dois de baixa intensidade, seguido pelo inverno com dois eventos de intensidade media e finalmente a primavera com dois eventos de baixa intensidade.

A metodologia proposta se mostrou eficiente para o monitoramento de estiagem na região Sul do Brasil. Os passos seguintes consideram a sistematização deste monitoramento de forma que os resultados sejam atualizados a cada 16 dias; associar os resultados obtidos com o uso e cobertura do solo; quantificar a área afetada por eventos de estiagem por municípios; e, aplicar a metodologia utilizando imagens *NDVI* e validar esses resultados com o intuito de utilizar séries históricas disponíveis de índice de vegetação do *AVHRR*.

Referências Bibliográficas

Bonifacio, R.; Dugdale, G.; Milford, J. R. Sahelian rangeland production in relation to rainfall estimates from Meteosat, **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, p. 2695 – 2711, 1993.

Castro, A. L. C.; Calheiros, L. B.; Cunha, M. I. R.; Bringel, M. L. N. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p. Disponível em: <http://www.defesacivil.gov.br/publicacoes/publicacoes/desastres_naturais.asp>. Acesso em: 01.jun.2008.

EMBRAPA, 2006. EMBRAPA TRIGO. Informações gerais sobre a cultura do trigo. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br>>. Acesso em: 10.dez.2009.

EMBRAPA, 2005. EMBRAPA ARROZ. Informações gerais sobre a cultura do arroz. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigado/Brasil/index.htm>>. Acesso em: 10.dez.2009.

Herrmann, M. L. P. (org.). **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: IOESC, 2006, 146 p.

Huete, A., Justice, C., Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p. 224 - 234, 1994.

Huete, A., Keita, F., Thomé, K., Privette, J., Van Leeuwen, W.J.D., Justice, C., Morisette, J. A light aircraft radiometric package for MODLAND quick airborne looks (MQUALS). **Earth Observer**, v.11, n. 1, p. 22, 1999.

Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. J. D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 - 451, 1997.

IBGE, 2009. IBGE Estados@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 10 dez. 2009.

Jin, S.; Sader, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n. 4, p. 462-470, Feb. 2005.