

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/5: 1145-1155
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO PADRONIZADO NO MONITORAMENTO INDICATIVO DE ESTIAGENS EM PERÍODOS CRÍTICOS DA SOJA NO SUL DO BRASIL

*Standard Vegetation Index Assessment in the Indicative Monitoring of Droughts for
Soybean Crops in the Southern Region of Brazil*

**Janice Freitas Leivas¹; Ricardo Guimarães Andrade¹;
Daniel de Castro Victoria¹; Fabio Enrique Torresan¹; Luiz Eduardo Vicente¹;
Antonio Heriberto de Castro Teixeira¹; Edson Luis Bolfe¹
& Thiago Renato de Barros¹**

**¹Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Embrapa Monitoramento por Satélite**

Av. Soldado Passarinho, 303 – 13070-115 - Campinas – SP, Brasil

{janice.leivas, ricardo.andrade, daniel.victoria, fabio.torresan, luiz.vicente, heriberto.teixeira, edson.bolfe}@embrapa.br,
thiagorcbarros@hotmail.com

*Recebido em 14 de Maio, 2014/ Aceito em 19 de Junho, 2014
Received on May 14, 2014/ Accepted on June 19, 2014*

RESUMO

Este estudo objetivou avaliar o uso do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) no monitoramento indicativo de estiagens em períodos críticos da soja em municípios da região Sul do Brasil com plantio da leguminosa. Para tanto, foram utilizados dados SPOT-Vegetation do período de 1998 a 2012 para obter a média histórica do NDVI. Foram calculadas as anomalias do índice de vegetação com a finalidade de avaliar o vigor da vegetação no período compreendido entre o 1^o decêndio de dezembro ao 3^o decêndio de fevereiro, dos períodos agrícolas. 2004/2005 a 2011/2012. Anomalias positivas de IVP indicam o bom vigor da vegetação e anomalias negativas são indicativas de ocorrência de estiagem. Para subsidiar os resultados, foram calculadas as anomalias de precipitação a partir dos dados do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). No período analisado, os anos agrícolas 2004/2005, 2008/2009 e 2011/2012, foram obtidas as maiores áreas com anomalias negativas de IVP, ou seja, com baixo vigor da vegetação, coincidindo com períodos de ocorrência de estiagens na região sul do Brasil. De forma geral, os resultados comprovam o potencial do IVP para o monitoramento indicativo de estiagens podendo auxiliar na tomada de decisão para o setor agrícola.

Palavras chaves: Índice de Vegetação Padronizado, SPOT-Vegetation, Soja, Estiagens.

ABSTRACT

This study aimed at assessing the performance of the Standard Vegetation Index (SVI) in the indicative monitoring of droughts during critical periods for soybean crops at municipalities in the Southern region of Brazil. We used SPOT-Vegetation data from year 1998 to 2012 for the historical mean NDVI. Have been calculated the vegetation index anomaly in order to access plant vigor within the first ten-day period of December to the third ten-day period of February for the agricultural seasons. Positive SVI anomalies indicate good plant vigor, and negative anomalies indicate the occurrence of drought. We calculated rainfall anomalies from TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) data

to support the results. The greatest areas with negative SVI anomalies, i.e. with poor vegetation vigor, were identified during the 2004/2005, 2008/2009 and 2011/2012 periods, which coincides with periods of drought in the Southern region of Brazil. The results generally confirm SVI potential for the indicative monitoring of droughts and thus for aiding decision making in agriculture.

Keywords: Standard Vegetation Index, SPOT-Vegetation, Soybean, Drought.

1. INTRODUÇÃO

Estiagens são fenômenos meteorológicos associados a prejuízos aos diversos setores da economia e da sociedade, tais como problemas de abastecimento urbano e quebras de safras agrícolas. A ocorrência de estiagens é frequente na primavera-verão no sul do Brasil, devido à elevada demanda atmosférica e com isso, a perda de água do solo e das plantas é maior, em relação ao outono-inverno. A ocorrência de deficiência hídrica é o principal risco climático das culturas produtoras de grãos estabelecidas no período de primavera-verão (CEMET/RS, 2012).

O monitoramento de estiagens tem fundamental importância devido à grande influência sócio-econômica, por exemplo, na agricultura, em especial no complexo soja. No Rio Grande do Sul (RS) e Paraná (PR), a produtividade de soja no ano agrícola (2011/12) foi muito abaixo do que era esperado no momento da semeadura. Dados da CONAB (2012) apontam para a redução da colheita de soja em torno de 8,95 milhões de toneladas, passando de 75,32 milhões de toneladas colhidas na safra 2010/11 para 66,37 milhões na atual safra. O longo período de estiagem causou perdas significativas às lavouras nos estados da região Sul, sobretudo no Rio Grande do Sul, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas), seguido do Paraná com redução de 29,4% (4,53 milhões de toneladas). O Estado de Santa Catarina também sofreu com as adversidades climáticas, com perdas de 25,9%.

Uma das características da produtividade de grãos no RS é a elevada oscilação ao longo dos anos devido às frequentes instabilidades climáticas. Na média do Estado, a cada seis safras, existe a probabilidade da ocorrência de um severo déficit hídrico durante o verão, trazendo como conseqüência queda no rendimento de grãos superior a 50% da média. Com destaque para algumas regiões como a fronteira oeste e o noroeste do RS, onde o risco ainda é mais

acentuado (AMADO *et al.*, 2007).

Como as secas ou períodos de estiagens são fenômenos climáticos graves e recorrentes que atingem os estados da região sul do Brasil nos últimos anos (CEMET/RS, 2012), realizou-se uma análise com base nos dados passados e o comportamento da cobertura vegetal, para analisar o vigor da vegetação, no período crítico para a soja (florescimento e enchimento de grãos), baseado em dados históricos decenais de 1998 a 2012.

Imagens de satélite são amplamente utilizadas para o monitoramento das atividades agrícolas devido à rapidez de acesso às informações em escala regional e, principalmente, a possibilidade de aquisição de locais de difícil acesso (MOREIRA, 2003). Com isso, torna-se possível monitorar o uso e cobertura da terra e características da vegetação através da utilização de índices de vegetação. Um dos índices mais utilizados para análise de culturas agrícolas é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, proposto por Rouse *et al.* (1973). Esse índice é calculado pela diferença da refletância entre a faixa do infravermelho próximo e do vermelho, sendo esta diferença normalizada pela soma das faixas do infravermelho próximo e vermelho. Possui a característica de minimizar os efeitos topográficos ao produzir em seu resultado uma escala linear de medida, variando de -1 a +1. Os valores negativos representam corpos d'água e nuvens, aqueles próximos de zero representam o solo exposto ou sem vegetação, e quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal.

Por refletirem o estado da vegetação, índices como o NDVI podem ser utilizados para estudos que caracterizam sua dinâmica, auxiliando na identificação de coberturas vegetais (MARTINUZZI *et al.*, 2008; VICTORIA *et al.*, 2009), na detecção de mudanças na cobertura (LUNETTA *et al.*, 2006; CARVALHO

JÚNIOR *et al.* (2009), no mapeamento e estudo da expansão de áreas agrícolas (MORTON *et al.*, 2006; VICTORIA *et al.*, 2012; LUNETTA *et al.*, 2010) e no mapeamento de áreas suscetíveis a alagamentos (SHIMABUKURO e FORMAGGIO, 2007).

Diante da falta de uma densa rede de pluviômetros, o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) é uma boa alternativa para obtenção de estimativas de precipitação. O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), lançado em 27 de novembro de 1997 com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global. O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos usada no algoritmo de cálculo. COLLISCHONN *et al.* (2007) mostraram que a estimativa de precipitação do satélite TRMM é bastante precisa quando comparada com dados de solo na bacia do Alto Paraguai.

O objetivo do trabalho foi avaliar o Índice de Vegetação Padronizado (IVP) no monitoramento indicativo de estiagens em períodos críticos da soja em municípios da região Sul do Brasil. Para tal foram selecionados os municípios que plantam mais de 7000 ha, abrangendo 85% da área plantada com soja em toda a região. Para tanto, foi realizada a padronização do produto NDVI do SPOT-Vegetation (produto V2KRN_S-10_S-America) em relação ao padrão histórico para cada pixel e decêndio. Para subsidiar os resultados, foram obtidas as anomalias de precipitação, do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a região Sul do Brasil, situada entre as latitudes 22° 30' S e 33° 45' S e as longitudes 57° 59' W e 48°00' W, ocupando mais de 7% do território brasileiro. Segundo a classificação climática de Köppen, a região Sul possui clima subtropical com as quatro estações do ano bem definidas, com verões quentes, na maior parte da Região Sul (clima Cfa). Na Serra Gaúcha e Catarinense (clima tipo Cfb), os verões são amenos com média anual de temperatura inferior a 17°C. A

precipitação anual, geralmente entre 1000 e 1500 mm, apresentando variação na sua distribuição espacial.

A área de estudo compreende os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, focando-se a aplicação metodológica para os municípios com área de plantio de soja superior a 7000 ha, segundo dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2009) (Figura 1). Esses municípios englobam 85% da área plantada com a cultura na região sul do País.

Foi analisado o período compreendido entre o 1° decêndio de dezembro ao 3° decêndio de fevereiro dos anos agrícolas 2004/2005 a 2011/12, época em que a cultura da soja se encontra em uma fase crítica de seu desenvolvimento, correspondente a época de florescimento e enchimento de grãos no sul do Brasil (CUNHA *et al.*, 2001).

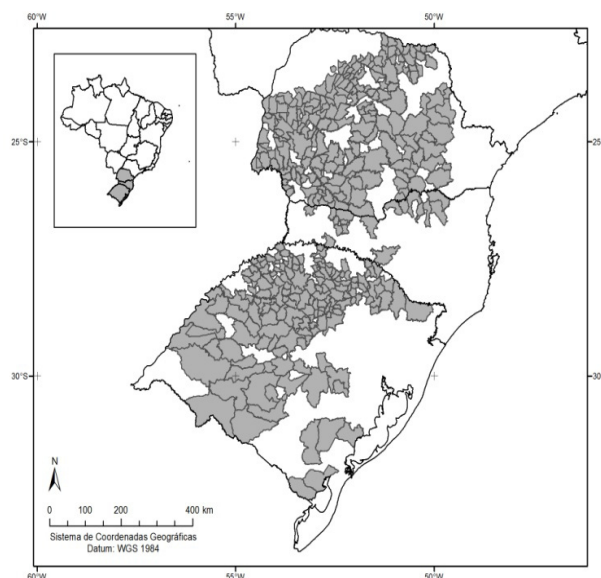


Fig. 1 - Municípios com área plantada de soja maior que 7000 ha em 2009.

As imagens do sensor SPOT - Vegetation são disponibilizadas gratuitamente no site da Vito, da Bélgica (www.free.vgt.vito.be). Foram utilizados os produtos V2KRN_S-10_S-America do sensor SPOT - Vegetation (VGT) que fornecem a síntese decenal do NDVI.

Este produto é obtido a partir do valor máximo do índice de vegetação observado durante o período da composta temporal (10 dias) para cada pixel da imagem, o *Maximum Value Composite* (MVC). Como o produto é decenal, é realizada a seleção dos pixels

com maior valor de NDVI durante o período, reduzindo a contaminação por nuvens. Os dados, adquiridos no formato HDF, foram convertidos para o formato Geotiff, com coordenadas geográficas WGS84. O produto V2KRN_S-10_S-America possui resolução radiométrica de 8 bits e resolução espacial de 1km. A conversão dos valores digitais da imagem para valores de NDVI é feita a partir da regressão linear:

$$NDVI = (0,004 \times NC) - 0,1$$

Em que, NC é o nível de cinza de cada pixel. Mais informações sobre o produto V2KRN_S-10_S-America estão disponíveis em: <<http://www.vgt.vito.be>>.

A partir do produto NDVI decendial foi obtido o Índice de Vegetação Padronizado (IVP) ao aplicar a metodologia proposta por Park *et al.* (2008), o que permitiu quantificar o quanto o índice de vegetação de um determinado decêndio difere do valor médio de longo prazo para o mesmo decêndio.

Com a finalidade de quantificar as anomalias em forma de desvio padrão em relação à média, obteve-se o IVP. O IVP é importante para o monitoramento do vigor vegetativo em escala regional. Essa estimativa, proposta por Park *et al.* (2008), permite verificar o quanto a cobertura vegetal ficou acima ou abaixo do comportamento normal da vegetação, possibilitando realizar comparações entre diferentes regiões, devido à padronização dos dados. O monitoramento do IVP para a região sul do Brasil foi analisado com ênfase nas áreas plantadas com soja (IBGE, 2009), a partir de séries temporais do SPOT-Vegetation, através da padronização do índice de Vegetação (NDVI) decendial de 1998 a 2012.

O período de análise foi decendial, devido à importância da informação para curto período, já que nos períodos críticos de desenvolvimento das culturas, a informação detalhada tem fundamental importância para a tomada de decisão dos agricultores.

Para obtenção do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) foi necessário gerar as imagens médias de NDVI de cada decêndio, do período de abril de 1998 a 2012, sendo processadas 129 imagens decendiais. Os produtos do SPOT-Vegetation incluem, além dos dados de NDVI, informações sobre a qualidade

da imagem (*status map*), o que permitiu eliminar as áreas com presença de nuvens. Portanto, os pixels com presença de nebulosidade não fazem parte das análises, sendo classificados como *no data*, conforme consta nas figuras. A partir daí, foram obtidas as anomalias da cobertura vegetal em relação ao padrão histórico para o período analisado, ou seja, o quanto o vigor vegetativo ficou acima ou abaixo da média para o decêndio referido. O Índice de Vegetação Padronizado (IVP) foi obtido conforme a expressão:

$$IVP_{dec} = \frac{NDVI_{dec} - NDVI_{med dec}}{\sigma_{dec}}$$

Em que, IVP_{dec} é o Índice de Vegetação Padronizado do decêndio referido; $NDVI_{dec}$ é o Índice de Vegetação do decêndio referido; $NDVI_{med dec}$ é a média do Índice de Vegetação para diversos anos, no decêndio referido; σ_{dec} é o desvio padrão dos índices de vegetação de vários anos no decêndio referido. Os valores de IVP foram categorizados de acordo com a Tabela 1, que representam valores do índice de vegetação muito abaixo do normal ($IVP < -2$) até muito acima do normal ($IVP > 2$). Valores de IVP muito abaixo do normal podem estar relacionados a eventos de estiagem.

Com a obtenção do Índice de Vegetação Padronizado (IVP), foi possível avaliar o vigor vegetativo em relação aos padrões históricos (1998/2012) para cada pixel e decêndio da fase considerada crítica da soja, referente ao período de florescimento e enchimento de grãos. Para tanto, foram analisados os IVPs do período compreendido entre o 1º decêndio de dezembro e 3º decêndio de fevereiro dos anos agrícolas 2004/2005 a 2011/12.

Os resultados foram expressos em desvios padrão em relação à média, ou seja, anomalia de vegetação em relação à média, possibilitando avaliar a distribuição espacial dos Índices de Vegetação Padronizado (IVP), conforme exposto nas Figuras 2 a 4.

Com a finalidade de verificar o comportamento da precipitação e a ocorrência de anomalias de vegetação, foram calculadas as anomalias de precipitação a partir de dados do TRMM, ou seja, dos desvios do Índice de Precipitação Padronizado (IPP), em relação à

Tabela 1: Intervalos de classes dos valores do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) e sua correspondente categorização indicativa.

Valores de IVP	Categorização	Legenda
$\leq -2,0$	Muito abaixo do normal	Vermelho escuro
$-2,0 < IVP \leq -1,5$	Abaixo do normal	Vermelho
$-1,5 < IVP \leq -1,0$	Ligeiramente abaixo do normal	Laranja
$-1,0 < IVP \leq 1,0$	Normal	Amarelo
$1,0 < IVP \leq 1,5$	Ligeiramente acima do normal	Verde claro
$1,5 < IVP < 2,0$	Acima do normal	Verde
$\geq 2,0$	Muito acima do normal	Verde escuro

média climatológica. O Índice de Precipitação Padronizado (IPP) avalia a diferença da precipitação em um determinado período em relação à precipitação média do período, normalizado pelo desvio padrão, sendo obtido de forma análoga à padronização do NDVI. Os dados de precipitação utilizados no cálculo do IPP foram obtidos das estimativas mensais de precipitação do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), produto 3B43. Estes apresentam resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (~ 25 km x 25 km) e correspondem ao acumulado mensal de precipitação estimada, ajustada a partir de dados de uma rede mundial de postos pluviométricos. Maiores informações sobre o produto estão disponíveis em <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas imagens IVP referentes à safra 2004/2005 (Figura 2), do 1º ao 3º decêndio de dezembro de 2004, observa-se que o Índice de Vegetação Padronizado (IVP) ficou abaixo do normal no norte do Rio Grande do Sul, sendo que o restante da região sul, ficou em torno do normal. Em janeiro de 2005, constata-se aumento da área com IVP abaixo do normal, ou seja, a vegetação apresentou menores valores de NDVI que o padrão histórico para o período. Nos decêndios de fevereiro de 2005, observa-se que

ocorreu aumento das áreas com NDVI abaixo do normal. Nesse período agrícola, na região sul ocorreu forte redução da produção de soja, comparando-se com a safra anterior, pois mesmo ocorrendo aumento da área plantada (aumento de 8,7%), conforme dados da CONAB, ocorreu redução significativa da produtividade (7,2%), ocasionada pela acentuada seca no Sul, em especial no Rio Grande do Sul e Paraná.

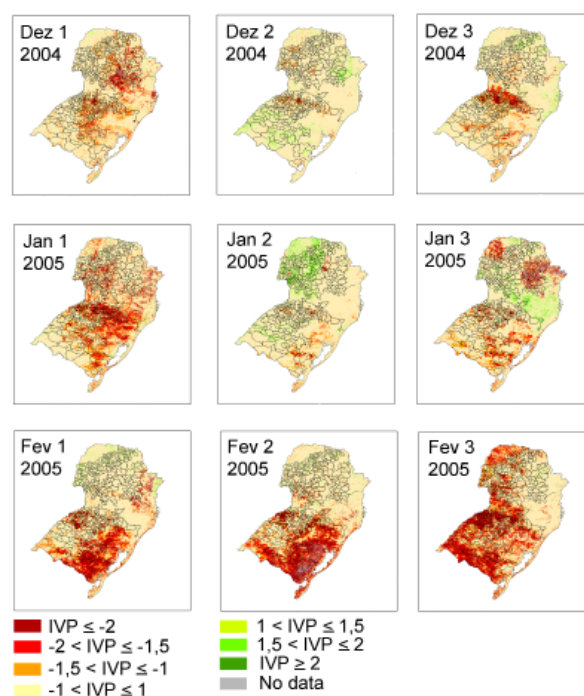


Fig. 2 - Índice de vegetação padronizado (IVP) dos decêndios compreendidos dezembro de 2004 a fevereiro de 2005.

Especificamente para cultura da soja, pesquisas demonstraram que a chuva de dezembro a março explica 80% do rendimento de grãos no Rio Grande do Sul. A fim de que o rendimento máximo seja atingido são necessários aproximadamente 200 mm de chuva por mês (MATZENAUER *et al.*, 2003). Salienta-se que, mesmo em condições normais (médias), esse volume de chuva não ocorre na região.

No ano agrícola de 2008/2009, observou-se ocorrência de estiagem nos municípios produtores de soja. As anomalias negativas do IVP, representadas em tons de vermelho nos mapas da Figura 3, indicam que a cobertura vegetal das áreas de plantio de soja apresentava-se com vigor da vegetação abaixo do normal. Esse resultado pode-se relacionar com a ocorrência de precipitação abaixo da normal em

novembro e dezembro no sul do Rio Grande do Sul (RS) e parte oeste de Santa Catarina (SC) e Paraná (PR), conforme Figura 6.

Segundo o relatório de acompanhamento da CONAB (2008), durante todo o desenvolvimento da cultura, houve períodos de estiagem, afetando com diferentes graus de severidade, que variavam em função da quantidade de dias de estiagem e da fase de desenvolvimento da cultura em cada região. O Paraná foi um dos estados mais castigados comparativamente com as safras anteriores, reduzindo consideravelmente a produtividade média. Estiagens ocorridas no final do ano de 2008 impactaram negativamente a produtividade média da soja de ciclo precoce. Os rendimentos de soja obtidos ficaram abaixo das médias obtidas na safra anterior, apresentando redução de produtividade de 6,6%. No Paraná, onde o rendimento caiu de 2.991 kg/ha para 2.337 kg/ha, além da diminuição do uso do pacote tecnológico, a estiagem foi um dos responsáveis por essa queda.

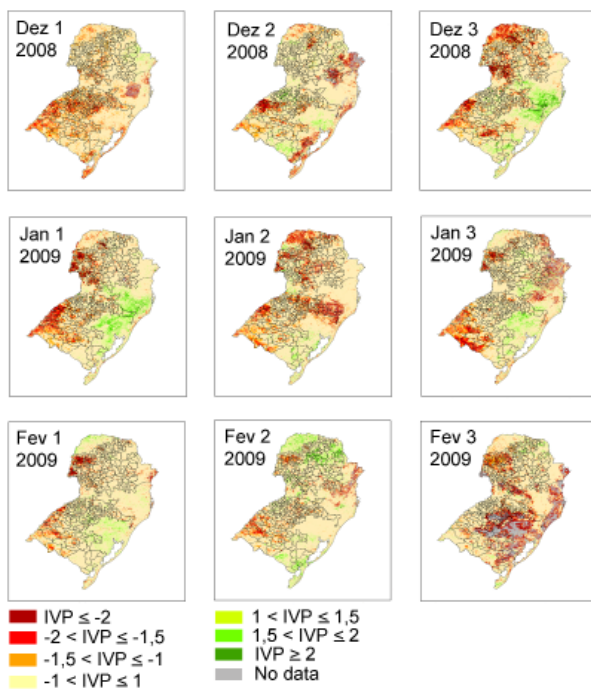


Fig. 3 - Índice de vegetação padronizado (IVP) dos decêndios compreendidos dezembro de 2008 a fevereiro de 2009.

A estiagem de 2011/12 é facilmente observada na Figura 4, pois nota-se que o IVP ficou muito abaixo do normal no período analisado, acarretando quebra de safras e sérios prejuízos econômicos para a região.

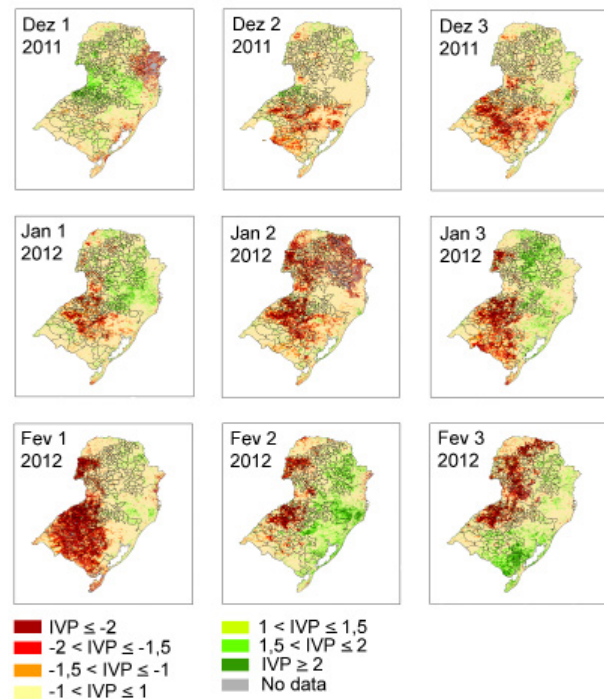


Fig. 4 - Índice de vegetação padronizado (IVP) dos decêndios compreendidos dezembro de 2011 a fevereiro de 2012.

Os baixos valores de IVP mostram que a vegetação apresentava vigor vegetativo abaixo do normal, possivelmente a soja estava com um desenvolvimento abaixo do que seria esperado para o período. Essa adversidade teve influência do fenômeno La Niña devido à diminuição da precipitação pluvial (Puchalski, 2000), ficando muito abaixo da normal (Figura 6), como foi o caso de 2011/2012. Outro fator importante que influenciou na estiagem foram temperaturas elevadas registradas no período conforme dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), fazendo com que aumentasse a demanda evaporativa, intensificando os efeitos da estiagem na região sul do Brasil. Diante da forte estiagem que atingiu o Rio Grande do Sul, em janeiro de 2012, o Conselho Permanente de Agrometeorologia Aplicada do Estado do Rio Grande do Sul (COPAAERGS) lançou um Boletim Extraordinário, com recomendações técnicas aos produtores para a possibilidade de irrigação das lavouras, especialmente no período crítico das culturas (florescimento e início de enchimento de grãos).

A cultura da soja apresenta uma redução de 8,95 milhões de toneladas, passando de 5,32 milhões de toneladas colhidas na safra

2010/11 para 66,37 milhões na safra 2011/12. As condições climáticas adversas causadas pelo fenômeno La Niña foram os responsáveis pelo resultado negativo da safra. O longo período de estiagem causou perdas significativas às lavouras nos estados da região sul, sobretudo no Rio Grande do Sul, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas), seguido do Paraná com redução de 29,4% (4,53 milhões de toneladas) e Santa Catarina que também sofreu com as adversidades climáticas (CONAB, 2012).

Nos anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007, 2007/08, 2009/2010 e 2010/2011 não apresentaram indicativos de ocorrência de estiagem no sul do Brasil, nos períodos críticos para a soja, analisados neste estudo (Figura 5). A produtividade da soja no Paraná e Rio Grande Sul nas safras 2005/2006 e 2006/2007 evidencia a realidade climática do período, pois a manutenção da área e a boa produtividade da região sul resultaram em produção de 22,72 milhões de toneladas, 24,5% superior a safra 2004/2005 (AMADO *et al.*, 2007). O levantamento realizado pelo IBGE da safra brasileira de cereais, leguminosas e oleaginosas, estimou uma produção de 133,8 milhões de toneladas, a qual foi 14,3% maior do que a colhida em 2006 (IBGE, 2007). Segundo o mesmo levantamento, a área plantada nessa safra foi apenas 0,3% superior a do ano anterior, alcançando 45,4 milhões de hectares e, portanto, não explica o aumento da produção verificado. Este incremento pode ser justificado pelas condições climáticas favoráveis observadas no período da safra, mas também pelo continuado aprimoramento tecnológico do manejo das lavouras, uso crescente de insumos, adoção do plantio direto e da biotecnologia (AMADO *et al.*, 2007). Nesses anos agrícolas, observa-se predominância de vegetação com comportamento dentro do normal com algumas manchas correspondentes à vegetação com vigor acima/abaixo do normal para os decêndios analisados (Figura 5). Observa-se que na maioria dos decêndios o IVP ficou acima do normal, com exceção a alguns decêndios, na região sul, onde foi observado IVP abaixo do normal, ou seja, área com anomalia negativa da vegetação.

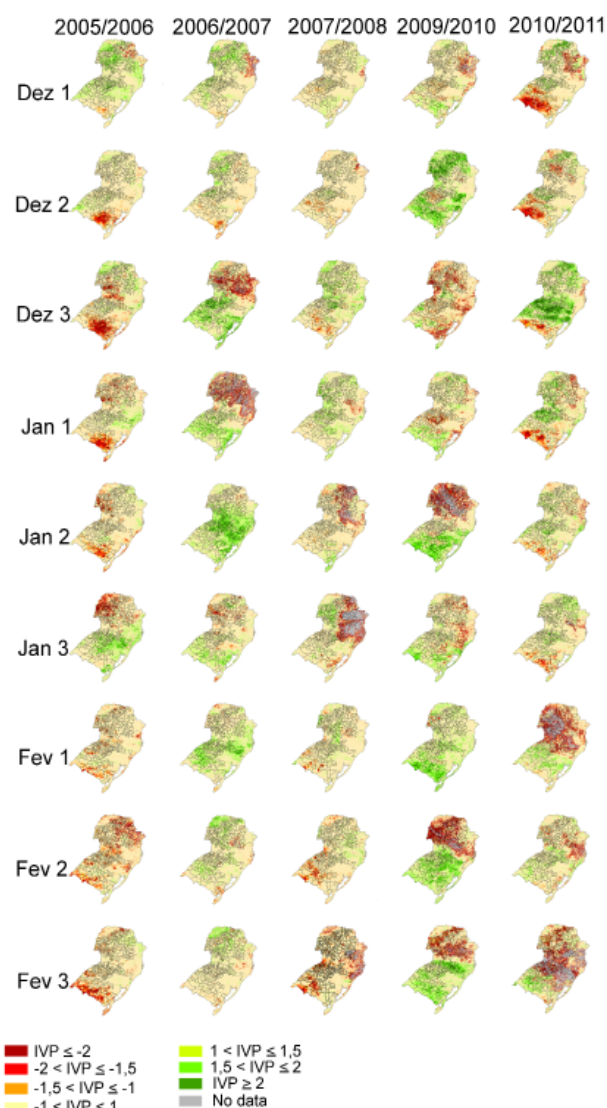


Fig. 5 - Índice de vegetação padronizado (IVP) dos decêndios compreendidos entre dezembro a fevereiro de 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008, 2009/2010 e 2010/2011.

Na Figura 6, constata-se que a precipitação obtida a partir dos dados do TRMM, no Rio Grande do Sul ficou em torno da normal climatológica em novembro de 2004. Em dezembro e janeiro de 2005, a precipitação ficou abaixo do normal em grande parte da região sul, conforme constatado nas áreas em tons de vermelho. Em fevereiro de 2005, ocorreu estiagem em toda a região sul do Brasil, deixando o solo com alto déficit hídrico, agravando ainda mais a situação no decorrer do mês de fevereiro. Em condições de precipitação pluvial muito abaixo da normal, como foi o caso de 2004/2005,

acentuou-se ainda mais os efeitos da estiagem na região sul.

Nas safras em que o comportamento climático contribuiu para o bom desenvolvimento das lavouras como 2005/06, 2006/07, 2007/08, 2009/10 e 2010/11, observa-se que grande parte da região sul apresentou indicativos de elevado vigor da vegetação nas áreas produtoras de soja, com IVP acima do normal (Figura 5), ou seja, áreas em tons de verde representando anomalias positivas de vegetação apontam ausência de estiagem no Rio Grande do Sul (RS) e oeste de Santa Catarina (SC). Em alguns decêndios de fevereiro, algumas áreas em vermelho na imagem indicam áreas de estiagem. Na Figura 6, observa-se que a precipitação variou entre normal e acima da normal climatológica, na maior parte da região sul do Brasil. Esse fator indica que grande parte da região sul estava com vegetação em elevado vigor, ou seja, com IVP acima do normal, possivelmente em resposta ao regime pluviométrico, com predominância de áreas com precipitação acima da normal na região sul do Brasil, conforme se constata nas imagens de Índice de Precipitação Padronizado (IPP) obtidas a partir dos dados do TRMM (Figura 6). Na análise dos resultados foram calculadas as correlações entre o IVP, obtido do SPOT-Vegetation, e IPP, do TRMM, sendo encontradas correlações baixas. Isso é devido ao fato de que as resoluções dos sensores de 1 Km (SPOT-Vegetation) e 25Km (TRMM). Segundo Owrangi *et al.* (2011) nos eventos de seca que tem aspecto regional, é recomendável realizar análise visual. Segundo Mohamed (2011), na análise da série histórica do SPOT-Vegetation e NOAA-AVHRR, para o monitoramento de seca, quando os parâmetros são diferentes, como IVP e IPP, há grande chance de ocorrência de correlações fracas, mesmo que os parâmetros sejam totalmente dependentes. Essa chance é maior quando os valores são interpolação desde técnicas de interpolação envolvem diferentes funções matemáticas que mais uma vez geram erros. Portanto, em vez de depender de coeficientes de correlação, é sugerida a distribuição espacial através de análise visual, a fim de proporcionar maior compreensão em escala regional.

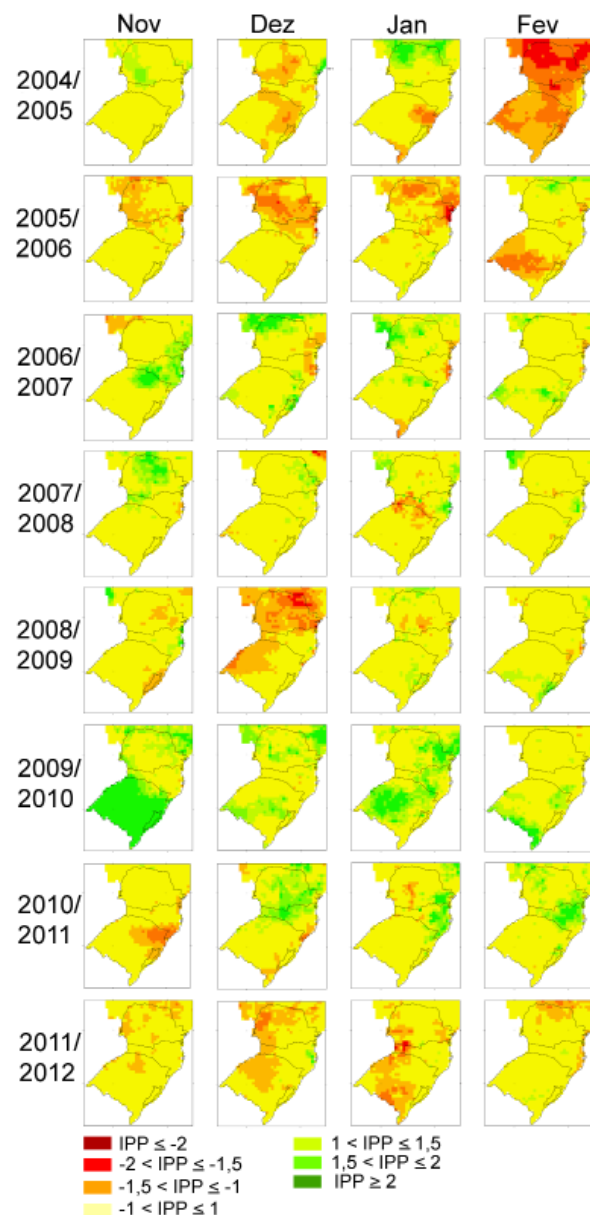


Fig. 6 - Índice de precipitação padronizada (IPP) do TRMM de novembro a fevereiro de 2004/2005 a 2011/12.

Rosembach *et al.* (2010) utilizaram imagens NDVI do produto MOD-13, MODIS-Terra, entre 2000 e 2006 e observaram variação sazonal das diferentes coberturas vegetais presentes na região sul, assim como anomalias na resposta da vegetação. A análise da correlação entre o comportamento da vegetação e variáveis climáticas em escala regional não foi abrangente ou aprofundada o suficiente para incitar proposições objetivas. Porém, a exploração desses dados e técnicas se mostrou válida, uma vez que foram fomentadas novas discussões

acerca da otimização dos recursos atualmente disponíveis.

Muitos pesquisadores (Bajgiran *et al.*, 2008; Di *et al.*, 1994; Reed *et al.*, 1994; Kogan (1997) determinaram a condição da vegetação utilizando o índice de vegetação NDVI e precipitação. Gebrehiwot *et al.*, 2011 analisaram o índice de precipitação padronizada (IPP), e índice de condição da vegetação (VCI – *Vegetation Condition Index*) para avaliar as características espaciais e temporais de seca e cobertura vegetal em Tigre, no norte da Etiópia. Com base nos valores críticos de seca IPP e VCI definiram a extensão espacial e temporal das secas, produzindo mapas de seca multi-temporais.

A defasagem entre o IVP e o IPP (Figura 6) deve-se à resposta da vegetação ao déficit hídrico, conforme constatado em estudos anteriores como o realizado por Gonçalves (2008) que verificou aumento da precipitação e de NDVI com defasagem de dois anos da resposta da vegetação à condição hídrica. Segundo Campos *et al.* (2009) e Wang *et al.* (2003), o comportamento do NDVI está fortemente influenciado pela precipitação, bem como o tempo da defasagem entre a precipitação e o NDVI. Ávila *et al.* (2009) observaram uma defasagem entre a resposta do NDVI e a precipitação. Diante dos resultados de pesquisas anteriores, na Figura 6, é exposto o produto Índice de Precipitação Padronizada (IPP), com a finalidade de visualizar a distribuição da precipitação em relação à normal para o mês. Analisando-se conjuntamente o IVP (Figura 2 a 4) e o IPP, observa-se que o NDVI tem uma resposta à precipitação pluvial, conforme já discutido anteriormente. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os obtidos por Sousa *et al.* (2009) que a partir de imagens do sensor MODIS, realizaram a padronização sazonal do índice de vegetação EVI (Enhanced Vegetation Index) e avaliaram a ocorrência de estiagens no sul do Brasil.

4. CONCLUSÃO

Com o Índice de Vegetação Padronizada (IVP), obtido a partir de imagens sínteses NDVI do sensor SPOT-Vegetation foi possível realizar o monitoramento indicativo de estiagens na região sul do Brasil. A partir da análise da série

histórica 1998 a 2012, foram identificados os períodos críticos de 2004/2005, 2008/2009 e 2011/2012, os quais apresentaram as maiores áreas com anomalias negativas, indicando baixo vigor da vegetação e, conseqüentemente fortes estiagens, impactando de forma negativa a produtividade da soja na região sul do Brasil.

De forma geral, os resultados comprovam o potencial do IVP para o monitoramento indicativo de estiagens, auxiliando o setor agrícola na tomada de decisão em termos de políticas públicas. Assim, a implementação e automatização dessa metodologia em tempo quase real, contribui para análise da cobertura vegetal e obtenção de indicadores da ocorrência de fenômenos climáticos de larga-escala.

REFERÊNCIAS

- AMADO, J. C. *et al.* A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento do RS. **Revista Plantio Direto**, v.101, 10p., 2007.
- ÁVILA, A. M. H. *et al.* Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14., 2009, Natal. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos: p. 553-560. On-line. ISBN:978-85-17-00044-7.
- BAJGIRAN, P. R. Using AVHRR-Based Vegetation Indices for Drought Monitoring in the Northwest of Iran, **Journal of Arid Environments**, Vol. 72, No. 6, 2008, p. 1086-1096.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D.C. El Niño e La Niña **Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul - Aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003. 110p.
- CAMPOS, I. B. P. *et al.* Análise dos efeitos do déficit hídrico na resposta temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em diferentes condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14., 2009, Natal. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos: p. 4671-4677.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; COUTO JUNIOR, A. F.; SILVA, N. C. da; MARTINS, E. de S.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A.

- T. Avaliação dos classificadores espectrais de mínima distância euclidiana e spectral correlation mapper em séries temporais NDVI-MODIS no campo de instrução militar de Formosa (GO). **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61, v. 04, p. 399-412, 2009.
- CEMETRS, **Esclarecimentos acerca de quebras de safras agrícolas**. Porto Alegre: CEMETRS, 2012. 2p. (Nota Técnica, n.04)
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 01, p. 93-99, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Central de Informações Agropecuárias: **Séries históricas de soja e milho**. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em março de 2012.
- CUNHA, G. R., BARNI, N. A., HAAS, J. C., MALUF, J. R., MATZENAUER, R., PASINATO, A., PIMENTEL, M. B. Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, N. especial: Zoneamento Agrícola, v. 9, n. 3, p. 446 – 459. 2001.
- DI, L. P.; RUNDQUIST, D. C.; HAN, L. H. Modeling Relationships between NDVI and Precipitation during Vegetative Growth Cycles. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 10, p. 2121-2136., 1994.
- GONÇALVES, R. R. V. **Relação entre a resposta espectral da cana-de-açúcar, registrada nas imagens dos satélites AVHRR/NOAA, em São Paulo, e dados agroclimáticos, no período de 2001 a 2008**. 2008. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.
- GEBREHIWOT, T., VAN DER VEEN, A., MAATHUIS, B. Spatial and temporal assessment of drought in the Northern highlands of Ethiopia, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. v. 13, p. 309-321, 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Pesquisa Agrícola Municipal – 2009**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em janeiro de 2012. 10p.
- KOGAN, F.N., Global drought watch from space. **Bulletim. American. Meteorology. Society**. v.78, p. 621–636, 1997.
- LUNETTA, R. S. et al. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, n. 2, p. 142–154, 30 nov. 2006.
- LUNETTA, R. S. et al. Monitoring agricultural cropping patterns across the Laurentian Great Lakes Basin using MODIS-NDVI data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 12, n. 2, p. 81–88, abr. 2010.
- MARTINUZZI, S. et al. Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean Island of Mona. **Revista de Biologia Tropical**, v. 56, n. 2, p. 625–639, jun. 2008.
- MATZENAUER, R. et al. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural** [online]. 2003, vol.33, n.6, pp. 1013-1019.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**, 2. Ed., Viçosa: UFV, 307p., 2003.
- MOHAMMAD, A. O.; ADAMOWSKI, J.; RAHNEMAEI, M.; MOHAMMADZADEH, A. SHARIFAN, R. A. Drought Monitoring methodology based on AVHRR images and spot vegetation maps. **Journal of water resource and protection**, v.3, p. 325-334, 2011.
- MORTON, D. C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p. 14637–14641, set. 2006.
- OWRANGI, M. A.; ADAMOWSKI, J.; RAHNEMAEI, M.; MOHAMMADZADEH, A.; SHARIFAN, R. A. Drought Monitoring Methodology Based on AVHRR Images and SPOT Vegetation Maps. **Journal of Water Resources and Protection**, v.3, p. 325-334, 2011.

- PARK J. S. *et al.* Application of Vegetation Condition Index and Standartized Vegetation Index for assessment of spring drought in South Korea. In: Geoscience and remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008, Boston, Massachusetts, U.S.A. **Proceedings...** IEEE International, vol. 3, p. 111-774, July 2008.
- REED, B. C. Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery. **Journal of Vegetation Sciences**, v. 5, n. 5, p. 703-714, 1994.
- ROSEMBACK, R.; FERREIRA, N. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; CONFORTE, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados do MODIS/Terra. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62 Edição especial 2, p. 401-416, 2010.
- SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. Utilização de índices espectrais de vegetação do sensor MODIS na determinação de áreas suscetíveis a alagamento no pantanal sulmatogrossense. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 35-44, 2007.
- SOUSA JUNIOR, M. A. *et al.* **Monitoramento de estiagem na Região Sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009.** São José dos Campos: INPE, 2010. 134 p.
- VICTORIA, D. DE C. *et al.* Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais do Pantanal. **Geografia, Número especial: Geopantanal.** v. 34, p. 721-729, dez. 2009.
- VICTORIA, D. DE C. *et al.* Cropland area estimates using Modis-NDVI times series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1270-1278, 9 nov. 2012.
- WANG, J. *et al.* Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.11, p.2345-2364, 2003.