

Uso de dados MODIS e do *Vegetation Condition Index* como instrumentos para identificação de seca agrônômica em Santa Catarina

Gabriel Hertz Cabral¹
Paulo César Polisel¹
Kleber Trabaquini²
Angelo Mendes Massignam²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil
gabrielhzc.agro@gmail.com - poliseli@cca.ufsc.br

² Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – EPAGRI/CIRAM
Caixa Postal 502, CEP 88034-901, Florianópolis, SC, Brasil
{massigna, klebertrabaquini}@epagri.sc.gov.br

Abstract. Observation of *in situ* parameters can evidence the occurrence of agricultural drought, as well as vegetation cover characterization data, such as vegetation indexes (VI). The use of tools that allow getting information independent of meteorological data is indispensable for drought monitoring. The VIs are products of remote sensing and important tools that can cooperate for agricultural management. In this paper, corn yield drop data caused by agricultural drought was related with the Vegetation Condition Index (VCI), estimated from Enhanced Vegetation Index images, during the period of January 2002 to December 2015 in the state of Santa Catarina/ Brazil. Images of the vegetation index and graphs of the relationship between corn crop yield and the VCI were generated. The harvests with lower values were obtained in 2004, 2008 and 2011, whereas the best values were obtained in the harvests of 2002, 2006, 2007, 2009 and 2010. The variation of VCI values corresponded to the corn yield in almost all microregions and for most of the periods evaluated. The crop shortfall occurred only below VCI 0,633. The coefficient of determination between yield and VCI were 0,58. The use of EVI for calculating the VCI was satisfactory, once it evidenced the most severe cases of agricultural drought in the microregions evaluated.

Key words: remote sensing, drought, agricultural drought, crop shortfall, vegetation index, sensoriamento remoto, seca, seca agrônômica, quebra de safra, índice de vegetação.

Introdução

A seca é um evento natural que ocorre praticamente em todos tipos de clima ao redor do mundo, e resulta da diminuição de precipitação em uma área, durante um período extenso de tempo (WILHITE, 2000). Porém, não há consenso na literatura em relação a uma definição universal e precisa, visto que é um desastre natural complexo, cujo início, duração, fim ou efeitos são difíceis de serem estabelecidos e variam conforme a região (KOGAN, 1995; GULÁCSI e KOVÁCS, 2015; WILHITE, 2000). Segundo Wilhite e Glantz (1985) a seca pode ser diferenciada em 4 tipos: hidrológica, meteorológica, agrícola e socioeconômica. A seca agrônômica resulta da ocorrência de deficiência hídrica que impacta no desenvolvimento de uma cultura, e tem efeito direto na produção. (WILHITE, 1993; SOUZA JUNIOR et al., 2010). O rendimento de culturas agrícolas serve como um bom indicador de seca agrícola e seus impactos (KOGAN, 1995).

A cultura do milho tem fases críticas de suprimento de água, principalmente em três estádios fenológicos: iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência, período de fertilização e enchimento de grãos. O déficit hídrico nestas etapas pode ter prejuízo considerável na produtividade, sendo que apenas dois dias de estresse no florescimento podem diminuir o rendimento em torno de 20%, passando os 50%, caso o período se prolongue de quatro a oito dias (MAGALHÃES et al., 1995; MAGALHÃES et al., 2002). No estado de Santa Catarina, o seu plantio normalmente se concentra nos meses de setembro e outubro, se

estendendo até Janeiro, e sua colheita e comercialização ocorrem comumente no período de março a junho (SÍNTESE ANUAL DA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA, 2015).

A utilização de ferramentas que favoreçam a obtenção de informações sem a dependência de dados meteorológicos é indispensável no monitoramento de secas, uma vez que é baixa a densidade de estações meteorológicas e existe grande variabilidade temporal e espacial de precipitação em regiões tropicais (SOUZA JUNIOR et al., 2010). O sensoriamento remoto é uma das ferramentas que dão suporte para este trabalho e pode cooperar para o gerenciamento dos danos socioeconômicos das secas.

A formulação do *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (HUETE et al., 1996) objetivou o aumento da sensibilidade e resposta da vegetação, diminuindo efeitos de saturação apresentados pelo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) em áreas com grande quantidade de biomassa, como também a diminuição de influências atmosféricas e do solo (HUETE et al., 2002). Uma das diferenças para o NDVI foi a adição de coeficientes de correção e da banda azul, que favoreceu uma resposta maior às mudanças estruturais do dossel, como fisionomia, arquitetura, tipo e índice de área foliar (HUETE et al., 2002), enquanto o NDVI é mais responsivo a estresses fisiológicos (ANDERSON et al., 2007). O EVI é dado pela seguinte Equação (1):

$$EVI = \frac{G(IVP - \text{vermelho})}{[L + IVP + (C1 * \text{vermelho}) - (C2 * \text{azul})]} \quad (1)$$

onde: G = fator de ganho (2,5); IVP = reflectância na banda do infravermelho próximo; L = fator de correção para a interferência do solo (1); C1 = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6); C2 = coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para o azul (7,5); vermelho = reflectância na banda do vermelho; azul = reflectância na banda do azul.

O *Vegetation Condition Index* (VCI) é um Índice de Vegetação (IV) criado para verificar de forma mais efetiva a ocorrência de secas, inicialmente desenvolvido por Kogan (1995) para o NDVI, mas com aplicação para outros índices (BAJGAIN et al., 2015), entre eles, o EVI. Ele permite a comparação de diferentes ecossistemas, uma vez que normaliza e aumenta as variações temporais do IV utilizado como resposta a oscilações climáticas, sendo um melhor indicador de estresse hídrico que o NDVI ou EVI utilizados separadamente (JAIN et al., 2009; KLISCH e ATZBERGER, 2016).

Conforme o contexto anteriormente apresentado, o objetivo deste trabalho foi comparar dados de quebra de safra por seca agrônômica com o *Vegetation Condition Index* (VCI), calculado a partir de imagens de *Enhanced Vegetation Index* (EVI), das safras de 2002/2003 a 2014/2015, em seis microrregiões grande produtoras de milho do estado de Santa Catarina.

Material e Métodos

A área de estudo foi definida com base nas microrregiões com maior área de plantio, maior produção e que possuem o melhor rendimento médio da cultura de milho no estado de Santa Catarina, durante as últimas 14 safras, dentre as quais 6 foram escolhidas. As microrregiões selecionadas foram: Canoinhas, Chapecó, Curitibanos, Joaçaba, São Miguel do Oeste e Xanxerê.

O estado de Santa Catarina está localizado entre os paralelos 25°57'41" e 29°23'55" de latitude sul e entre os meridianos 48°19'37" e 53°50'00" de longitude oeste. As microrregiões localizam-se na parte centro-oeste do estado. Segundo a classificação climatológica de Köppen, o estado de Santa Catarina apresenta clima mesotérmico úmido, com predominância de dois tipos: Cfa, clima subtropical, com verões quentes chuvosos e geadas pouco frequentes; e Cfb, clima temperado, com verões amenos e sem estação seca definida (PANDOLFO et al., 2002).

As 168 imagens utilizadas neste trabalho são do produto “MOD13A3 – Monthly 1km EVI” do sensor MODIS e possuem resolução espacial de 1 km. A série temporal utilizada foi de janeiro de 2002 a dezembro de 2015, porém a aplicação do VCI foi realizada analisando-se as diferenças mensais.

O processamento das imagens ocorreu em 3 etapas: pré-processamento, processamento das imagens e análise dos dados. Na primeira etapa, utilizou-se o MODIS Reprojection Tool, o qual permite transformar os sistemas de coordenadas e projeções dos mesmos, salvando-os no formato desejado. As imagens foram reprojetaadas da projeção Sinusoidal para a Geográfica datum WGS 1984.

A aplicação do método VCI gerou composições de cada mês dos 14 anos, ou seja, a mesma quantidade de imagens de EVI utilizadas. O VCI é calculado pela seguinte Equação (2), adaptado de Kogan (1995):

$$VCI = \frac{(EVI - EVI \text{ mín})}{(EVI \text{ máx} - EVI \text{ mín})} \quad (2)$$

onde: *EVI* se refere a um mês específico de um ano; *EVI mínimo* é o menor valor do EVI de toda série mensal; e *EVI máximo* é o maior valor do EVI de toda série mensal; calculados individualmente para cada pixel. O índice gera um valor entre 0 e 1, onde zero indica baixo vigor da vegetação e 1 alto vigor. Em um mês com pouca chuva, a tendência do índice é de ser próxima de 0, enquanto em meses com chuva abundante, o índice se aproxima de 1 (KOGAN, 1995; JAIN et al., 2009).

Por último, as imagens de VCI foram redimensionadas (clip) de acordo com os limites do estado de Santa Catarina. Com o propósito de facilitar a visualização dos resultados e a estatística, os arquivos foram transformados de “raster” para “point”, para a extração dos dados de cada microrregião.

Os resultados gerados foram imagens do índice de vegetação, as quais tiveram uma classificação de cores conforme intervalos de valores do VCI, e gráficos da relação do índice de vegetação e rendimento das safras (total e por microrregiões), assim como de variações temporais das médias do VCI e o rendimento por safras. Os dados foram analisados por safra (ex. 2002/2003), tanto das imagens quanto do rendimento da cultura do milho, e, para isso, a média foi calculada considerando-se o mês de dezembro de um ano (ex. 2002), e os meses de janeiro, fevereiro e março do ano seguinte (ex. 2003). Nas imagens, cada cor foi atribuída a um intervalo de 0,2 do índice de vegetação, onde: 0 a 0,2 representou condição da vegetação muito ruim; 0,2 a 0,4 ruim; 0,4 a 0,6 moderada; 0,6 a 0,8 boa; e 0,8 a 1 muito boa.

Os dados da cultura de milho por safra foram obtidos do Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foi considerado o período de 1989 a 2015 para o cálculo do rendimento potencial, excluindo-se as safras com ocorrência de eventos climáticos adversos, e o período de 2002 a 2015, para comparação com os dados de rendimentos observados. A classificação de safras com ocorrência de eventos climáticos adversos ou de safras normais se baseou em publicações da “Síntese anual da agricultura de Santa Catarina”, do CEPA e da Epagri. A estimativa do rendimento potencial por safra baseou-se na técnica da média móvel e da interpolação linear simples entre safras sem ocorrência de eventos climáticos adversos. Para cada safra agrícola, a quebra de produção foi calculada pela seguinte Equação (3):

$$QS = \frac{R_{pot} - R_{real}}{R_{pot}} \quad (3)$$

onde: *Rreal* é o rendimento obtido nas condições reais de disponibilidade hídrica por microrregião, proveniente do banco de dados do IBGE; *Rpot* é o rendimento potencial estimado (MASSIGNAM et al., 2013).

Resultados e Discussão

O perfil temporal do rendimento da cultura de milho denota quebra de safra coincidente em todas microrregiões no período de 2003 a 2005, 2008 e 2011. As safras com valores VCI mais baixos foram as de 2004 (Figura 1), 2008 e 2011; enquanto os maiores valores ocorreram nas safras de 2002, 2006 (Figura 1), 2007, 2009 e 2010. A variação do VCI correspondeu ao rendimento da cultura de milho praticamente na totalidade das microrregiões e na maior parte do período avaliado, com exceção de Canoinhas, que apresentou algumas discrepâncias (Figura 2). De forma geral, nas safras onde o rendimento de milho ficou abaixo de 80%, as médias de VCI ficaram abaixo de 0,6.

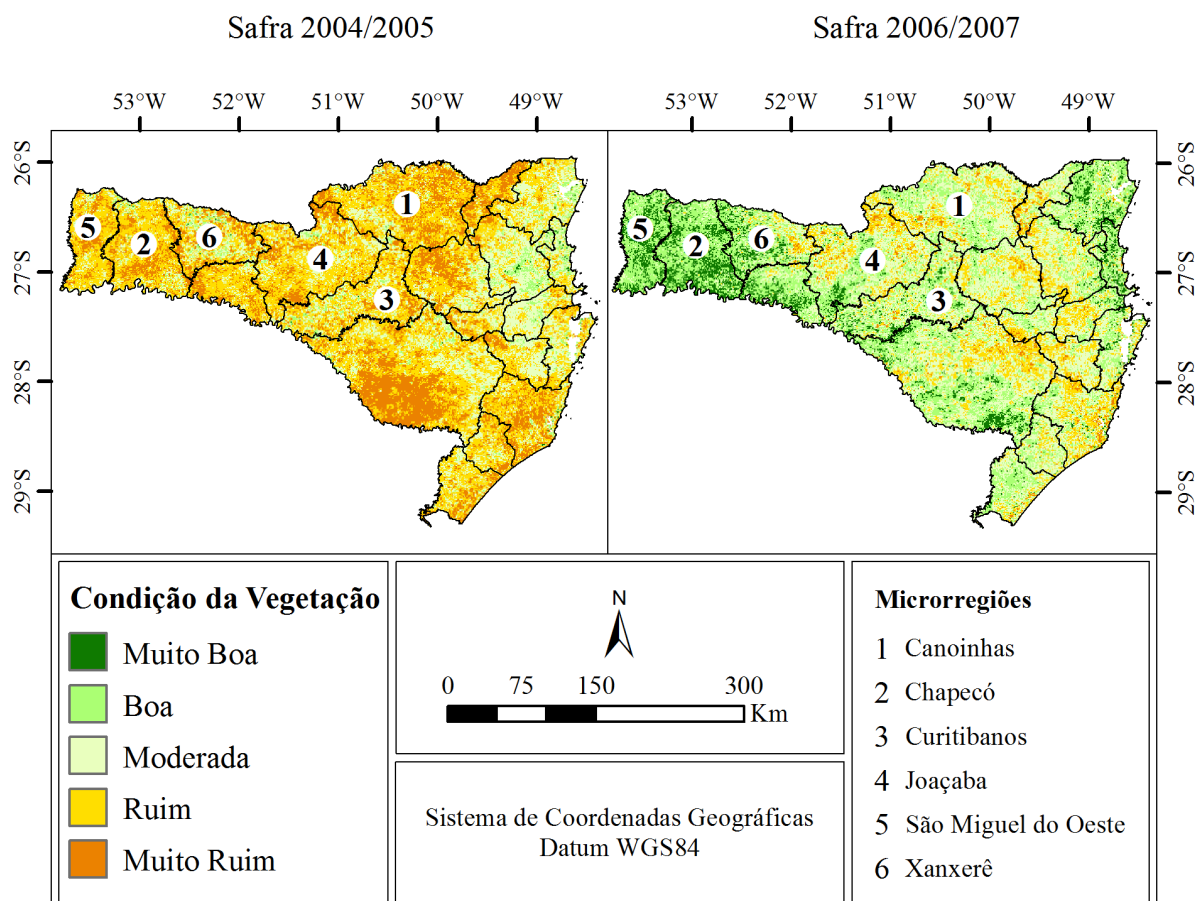


Figura 1. Condição da vegetação com base no VCI da safra de 2004/2005 e 2006/2007 do estado de Santa Catarina.

As quebras de safras nas microrregiões ocorreram apenas abaixo do valor 0,633 de VCI, como é possível observar na Figura 3. O coeficiente de determinação (R^2) da relação entre o VCI e o rendimento relativo da cultura de milho foi em torno de 0,58, prejudicado pelos resultados na microrregião de Canoinhas, que divergem das outras microrregiões.

Kogan (1995) comparou rendimentos de milho e trigo de primavera com valores de VCI, respectivamente em ecossistemas de pradarias em Illinois e estepes em North Dakota, Estados Unidos. Ele observou que o rendimento das culturas caiu abaixo de VCI 0,35 no ano de 1988, com ocorrência de seca. Segundo o autor, o índice foi útil na detecção de secas localizadas,

breves e não muito bem definidas, além de casos mais abrangentes, prolongados e definidos. O coeficiente de determinação (R^2) para a relação dos rendimentos e valores de VCI nas áreas avaliadas por Kogan (1995) foi de 0,79.

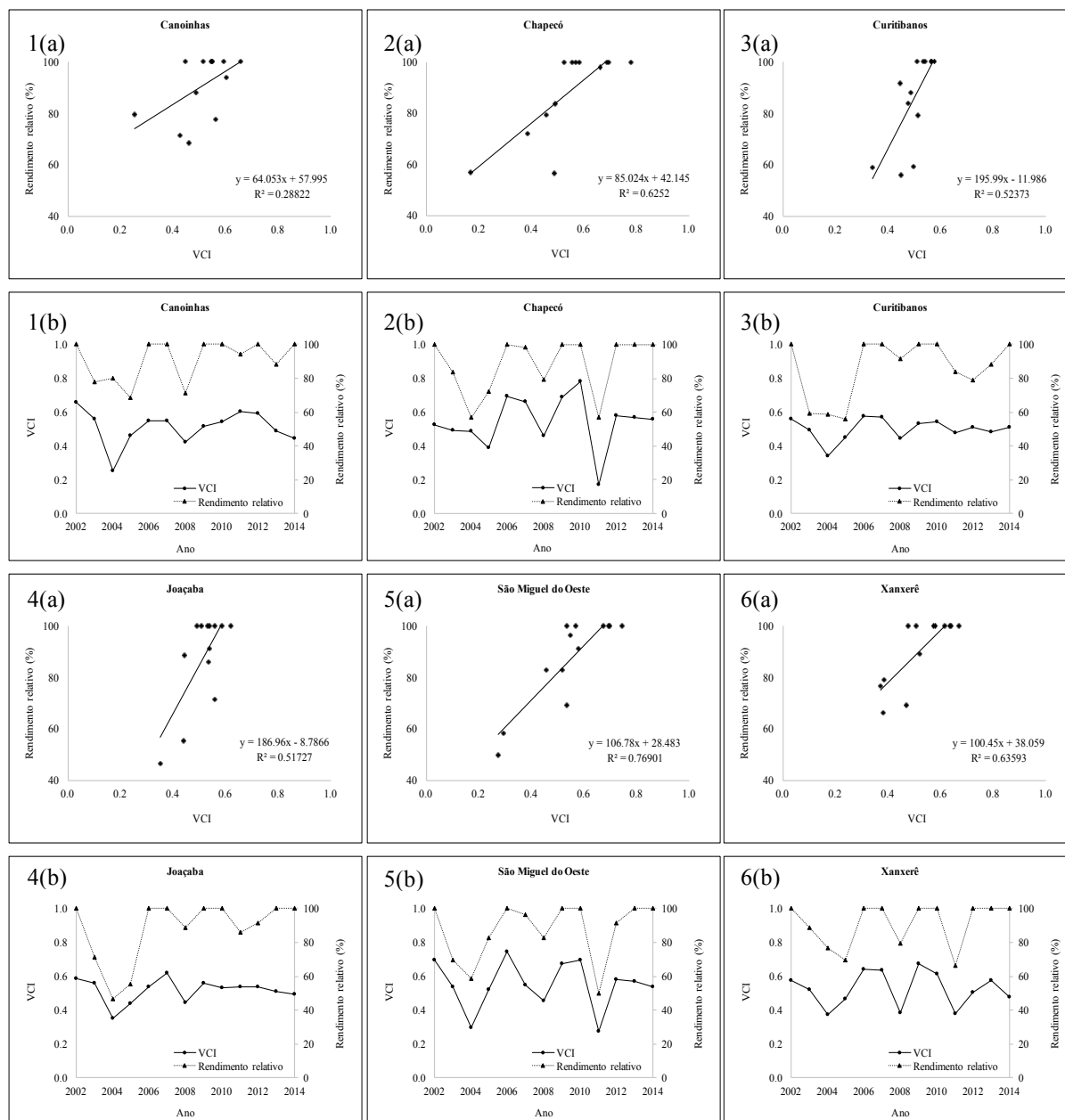


Figura 2. Relação entre o VCI e o rendimento relativo (%) da cultura do milho (a) na microrregião de Canoíhas (1), Chapecó (2), Curitibaanos (3), Joaçaba (4), São Miguel do Oeste (5) e Xanxerê (6); e variação temporal das médias de dezembro a março do VCI e do rendimento relativo (%) da cultura do milho (b) nas mesmas microrregiões, nas safras de 2002/2003 a 2014/2015.

Em ecossistemas com pequena quantidade de biomassa se espera que a resposta dos índices de vegetação seja menor que em ecossistemas com abundância de vegetação, ou seja, que os valores do índice sejam menores. Porém, a aplicação do VCI aumenta a diferença entre os valores mínimos e máximos de cada pixel em uma série temporal, permitindo uma visualização melhor de mudanças relacionadas ao clima na cobertura vegetal (Kogan, 1995). Como a vegetação característica da área de estudo deste trabalho é composta majoritariamente por

Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Decidual, e, em áreas menores, Floresta Ombrófila Densa e Savana, haveria áreas com saturação do NDVI, caso este fosse o índice usado para aplicação do VCI, o que não permitiria uma verificação clara de estresses fisiológicos.

A tendência de decréscimo de IAF em ecossistemas com predominância de vegetação arbórea e durante períodos de estresse hídrico é muito menor que em ecossistemas com vegetação predominante de gramíneas, como verificado por Hoffman et al. (2005) no bioma de Cerrado. Isso resulta em uma diminuição maior da reflectância de regiões com este tipo de vegetação, reduzindo drasticamente os NDs de índices de vegetação. Essas diferenças entre ecossistemas explicaria a diferença do valor de VCI com ocorrência de quebra de safra encontrado por Kogan (1995), 0,35, e a definida neste trabalho, 0,63.

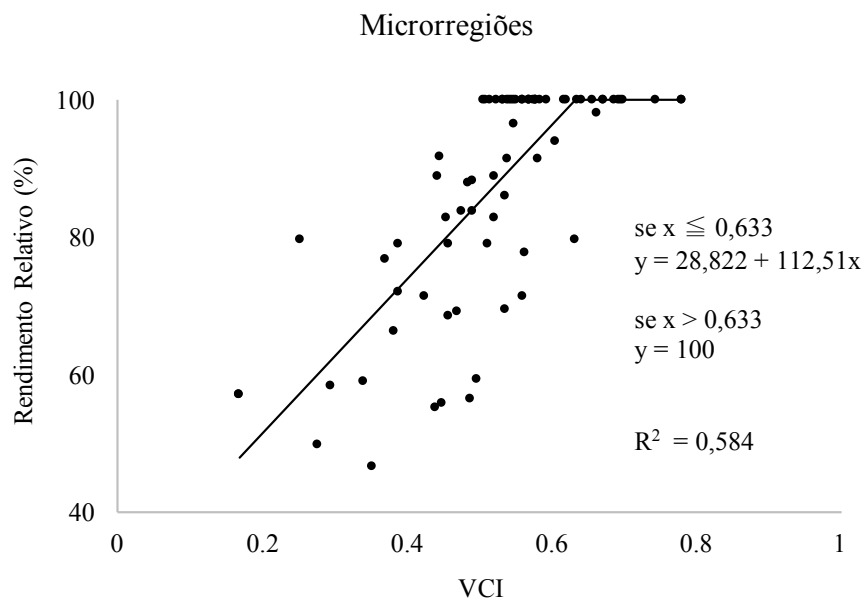


Figura 3. Dispersão da média de dezembro a março do VCI e do rendimento relativo (%) da cultura do milho para as 6 microrregiões avaliadas do estado de Santa Catarina, nas safras de 2002/2003 a 2014/2015.

Anderson et al (2007) avaliaram a eficiência de três IVs na detecção de estresses do dossel durante um período de seca na Amazônia, no ano de 2005. Os autores concluíram que o EVI parece ter uma resposta mais rápida a oscilações na taxa de precipitação. O índice apresentou anomalias negativas coincidentes aos meses com ocorrência de períodos secos, enquanto o NDVI e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) apresentaram um atraso nas respostas ao déficit hídrico, segundo o autor, talvez pela ocorrência de alta precipitação nos meses anteriores. Em estudo similar, Bajgain et al. (2015) também avaliaram a sensibilidade de índices de vegetação, em duas áreas de pradaria nos Estados Unidos. O NDVI, EVI e *Land Surface Water Index* (LSWI) tiveram valores baixos em anos com períodos de seca. Entretanto, a mudança no EVI máximo em anos de seca foi mais drástica que no NDVI máximo. Por exemplo, em 2006 e 2012, anos com ocorrência de seca, na área do El Reno, o EVI máximo teve decréscimos de 10 e 19%, enquanto o NDVI teve decréscimos de 4 e 10%, respectivamente. Os autores concluíram que o NDVI foi relativamente menos sensível a secas, comparado ao EVI e LSWI.

Esses resultados evidenciam que o EVI é um bom índice para verificação de ocorrência de secas. Enquanto o NDVI satura facilmente em áreas com grande quantidade de biomassa vegetal, isto porque não há grande variação na taxa de reflectância das folhas devido a altos IAF, gerando NDs máximos com maior facilidade; o EVI tem uma sensibilidade maior, com

amplitude suficiente para possibilitar a determinação de secas de forma mais clara que o NDVI (GINCIENE e BITENCOURT, 2011). A vantagem do NDVI estaria no seu uso em ecossistemas semiáridos, onde apresenta maiores variações do que o EVI (HUETE et al., 2002).

A baixa correlação entre os rendimentos da cultura do milho e o VCI obtidos em Canoinhas podem estar relacionados a inúmeras variáveis biofísicas da região. Fatores como a temperatura média do ambiente e os diferentes tipos de coberturas vegetais na área poderiam ter influência na relação entre o rendimento relativo de milho e o VCI. As plantas têm um desenvolvimento melhor em determinadas faixas de temperatura, e a diferença de médias de temperaturas entre as microrregiões pode ter efeito na produtividade e/ou desenvolvimento. Como consequência, a reflectância de lavouras pode variar conforme a região, uma vez que essa depende da quantidade de folhas fotossinteticamente ativas em uma área. A grande variedade de coberturas vegetais e o cultivo de outras culturas anuais na microrregião também podem ter afetado os valores obtidos pelo sensor MODIS nos índices de vegetação.

A validação dos valores obtidos com o VCI, pela sua relação com dados que expressam a realidade fisiológica de lavouras (rendimento) e a obtenção de resultados satisfatórios em 5 das 6 microrregiões avaliadas comprovam a potencialidade de uso dos IVs na delimitação de secas. Além disso, as imagens do sensor MODIS são gratuitas e obtidas com grande frequência, permitindo a avaliação de grandes áreas, como o estado de Santa Catarina, e o monitoramento de locais com propensão conhecida à ocorrência de seca. Isto não se aplica exclusivamente a este estado ou à cultura do milho, mas pode ser estudada em estados com grandes produções de soja, cana-de-açúcar ou qualquer outra cultura de interesse econômico.

Conclusões

A utilização do EVI para cálculo do *Vegetation Condition Index* se mostrou satisfatória, uma vez que indicou os casos mais severos de seca agrônômica nas microrregiões avaliadas. A capacidade do VCI em caracterizar os eventos de seca aliada à grande frequência de aquisição de imagens pelo sensor MODIS possibilita o monitoramento de secas quase em tempo real, com o potencial de ser uma importante ferramenta na gestão agrícola.

Recomenda-se mais estudos sobre a aplicação do VCI com o EVI em locais com maiores áreas e produções de culturas agrícolas mais expressivas, que caracterizam bem os resultados do índice e permitem a obtenção de dados mais robustos e maior certeza da relação entre rendimento de culturas agrícolas e o VCI. A aplicação em outros biomas também favorece a avaliação do índice quanto a diferentes padrões de reflectância, ou até permitiria o estabelecimento de um modelo de rendimento agrícola de determinada cultura e o VCI.

Agradecimentos

Agradeço aos colegas que cooperaram diretamente na elaboração deste trabalho, Kleber Trabaquini, Paulo C. Polisel e Angelo M. Massignam. Meus agradecimentos também à equipe de geoprocessamento do Ciram/EPAGRI pela colaboração na formulação deste trabalho.

Referências

ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. O. C. Evaluating MODIS vegetation and water indices for detecting canopy stress during the 2005 drought in Amazonia. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 Abril de 2007, INPE, p. 6593-6495.

BAJGAIN R.; XIAO, X.; WAGLE, P.; BASARA, J.; ZHOU, Y. Sensitivity analysis of vegetation indices to drought over two tallgrass prairie sites. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 108 (2015), 151-160.

GINCIENE, B. R.; BITENCOURT, M. D. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 2011, INPE p. 1620-1627.

GULÁCSI, A.; KOVÁCS, F. Drought monitoring with spectral indices calculated from MODIS satellite images in Hungary. **Journal of Environmental Geography** 8 (3-4), 11-20, 2015.

HOFFMAN, W. A.; SILVA JR., E. R. da; MACHADO, G. C.; BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C. Seasonal leaf dynamics across a tree density gradient in a Brazilian savanna. (2005) **USDA Forest Service / UNL Faculty Publications**. Paper 61.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; van LEEUWEN, W. (1996). **MODIS Vegetation Index (MOD 13), EOS MODIS Algorithm** – Theoretical Basis Document. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, USA, 115p.

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** 83 (2002) 195-213.

JAIN, S. K.; KESHRI, R.; GOSWAMI, A.; SARKAR, A.; CHAUDHRY, A. Identification of drought-vulnerable areas using NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 30:10, 2653-2668, May 2009.

KLISCH, A.; ATZBERGER, C. Operational drought monitoring in Kenya using MODIS NDVI time series. **Remote Sensing**, 2016, 8, 267.

KOGAN, F. N. Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-Orbiting Satellite Data. **Bulletin of the American Meteorological Society**: Vol. 76, No. 5, May 1995.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 27p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 20).

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; PAIVA, E. **Fisiologia do Milho**. Circular Técnica Embrapa n.22, p.65. Sete Lagoas, MG, 2002.

MASSIGNAM, A. M.; VIANNA, L. F. N.; PANDOLFO, C. A distribuição espacial da quebra de safra da cultura do milho em Santa Catarina. In: **REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DO MILHO E FEIJÃO**, 9, 2013, Campos Novos, Sc. Anais... Campos Novos, SC: UNOESC, 2013.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P. da; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.

SÍNTESE ANUAL DA AGRICULTURA DE SANTA CATARINA. V.1 1976 – 2015. Florianópolis: Epagri/Cepa, 1976-Anual.

SOUSA JÚNIOR, M. de A.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Monitoramento de estiagem na região sul do Brasil utilizando dados EVI/MODIS no período de dezembro de 2000 a junho de 2009**. INPE: São José dos Campos, 2010.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. **Water International** 10: 111-20.

WILHITE, D. A. **Drought assessment, management, and planning: theory and case studies**. Boston: Kluwer Academic, 1993.

WILHITE, D. A. **Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions**. Drought Mitigation Center Faculty Publications. Paper 69. University of Nebraska – Lincoln: 2000.