

Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Michelle Cristina Araujo Picoli ^{1,2}
Jansle Vieira Rocha ¹
Cauã Guilherme Miranda ²
Daniel Garbellini Duft ³

¹ Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola -
UNICAMP/FEAGRI
Caixa Postal 6011 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{michelle.picoli, jansle.rocha}@feagri.unicamp.br

² Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica -
UNICAMP/FEM
Caixa Postal 6122 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
cauagm@fem.unicamp.br

³ Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CTBE
Caixa Postal 6192 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
daniel.duft@bioetanol.org.br

Abstract. Increasing temperatures in the atmosphere and oceans, decreasing ice and snowfall, rising sea levels and increasing concentrations of greenhouse gases in the atmosphere continue to grow. The impacts caused by extreme weather events reveal the vulnerability and exposure of some ecosystems to climate variability. There is, therefore, an urgent need to understand such impacts due to increased temperatures and other extreme events in agricultural crops, this would help in the development and adaptation of cultivated crops to a future with more hot days. Thus, the monitoring of agricultural crops and their vegetative conditions are highly relevant. Data from remote sensing images with low high temporal resolution can help to contribute to this monitoring because they provide essential information in near real time over large areas. In addition, meteorological information is of great importance for agricultural decisions. Thus, there is a growing demand for timely and effective agricultural meteorological information for one to assist in agricultural management decisions, ranging from crop response to rainfall and daily temperature to crop adaptation to climate change. Agrometeorological bulletins can play a key role in making decision-making information relevant to the farming community. The objective of this paper is to present the methodology of Sugarcane Monitoring in São Paulo state.

Palavras-chave: NDVI, bulletin, ECMWF, NDVI, boletim, ECMWF.

1. Introdução

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014) os impactos causados pelos eventos climáticos extremos revelam a vulnerabilidade e a exposição de alguns ecossistemas à variabilidade climática. Existe, portanto, uma necessidade urgente de compreender os tais impactos devido aumento de temperaturas e outros eventos extremos nas culturas agrícolas, isso ajudaria no desenvolvimento e adaptação de cultivares para um futuro com mais dias quentes (Wheeler e Von Braun, 2013), sendo assim, o monitoramento das culturas agrícolas e suas condições vegetativas são altamente relevantes. Dados de imagens de sensoriamento remoto com alta resolução temporal podem contribuir para esse monitoramento, pois fornecem informações essenciais em tempo quase real sobre grandes áreas (Eerens et al., 2014).

Além disso, informações meteorológicas são de grande importância para decisões agrícolas táticas (gerenciamento do plantio, irrigação, colheita) e estratégicas (intenções de cultivo, práticas de gestão e marketing). Enquanto os padrões de chuva e temperatura diárias

têm uma influência direta sobre decisões táticas, os padrões climáticos sazonais favoráveis ou desfavoráveis (incluindo tendências de longo prazo e variabilidade) podem forçar alterações nos padrões das culturas. Sendo assim, existe uma crescente demanda por informações meteorológicas oportunas e eficazes para auxiliar nas decisões de gestão agrícola, que vão desde a resposta da cultura a chuva e temperatura diária até a adaptação da cultura às mudanças climáticas (Motha, 2002).

Boletins agrometeorológicos podem desempenhar um papel essencial na disponibilização das informações de tomada de decisões relevantes para a comunidade agrícola (Motha, 2002). Neste sentido alguns centros de pesquisa ao redor do mundo têm produzido boletins de monitoramento agrícola, como o grupo *Monitoring Agriculture with Remote Sensing* (MARS), que faz parte do *Joint Research Centre* (JRC). O MARS fornece um boletim detalhado das condições atuais e futuras de agrometeorologia para a União Europeia e uma análise detalhada para grandes culturas (em escala nacional), com periodicidade mensal. Essas análises são realizadas a partir de série histórica de dados meteorológicos, agrometeorológicos, de sensoriamento remoto e dados oficiais sobre produtividade, com o objetivo de fornecer previsões da produtividade das principais culturas europeias (<https://ec.europa.eu/jrc/en/mars/bulletins>).

Nos Estados Unidos, o Boletim Semanal do Tempo e de Culturas (*Weekly Weather and Crop Bulletin* – WWCB) foi publicado pela primeira vez como em 1872 com o nome de *Weekly Weather Chronicle*. Ele é produzido em conjunto pelo *United State Department of Commerce* (USDC), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), e o *United State Department of Agriculture* (USDA) (<http://www.usda.gov/oce/weather/pubs/Weekly/Wwcb/index.htm>). O WWCB fornece informações sobre temperaturas, precipitação, seca, neve e colheita.

A Comissão de Pesquisa Espacial e da Atmosfera Paquistanesa (*Pakistan Space and Upper Atmosphere Research Commission* – SUPARCO) com o apoio da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture organization* – FAO), tem lançado mensalmente um Boletim, o Pak-SCMS, desde 2005, para fornecer um relato das suas atividades referente ao monitoramento das culturas através do uso de sensoriamento remoto e de sistemas de informação geográfica (SIG). O boletim fornece informações sobre a safra baseada em índices de vegetação que descrevem o padrão de crescimento da cultura, e também informações sobre fertilizantes, disponibilidade de irrigação e estimativa de produtividade das culturas em diferentes estações do ano. Além disso, as aplicações, em larga escala, utilizando a tecnologia de sensoriamento remoto têm sido feitas para o monitoramento e mitigação de desastres naturais (inundações, enchentes e secas), fornecendo informações detalhadas para a impulsionar a agricultura e atividades associadas (<http://suparco.gov.pk/webroot/pages/pak-scms.asp>).

O monitoramento global das culturas da China começou em 1998 com o lançamento do sistema CropWatch, desenvolvido pelo *Institute of Remote Sensing and Digital Earth* (RADI) e a *Chinese Academy of Sciences* (CAS). O CropWatch, que possui periodicidade mensal, utiliza dados de sensoriamento remoto combinados com dados de campo para determinar os principais indicadores de produção agrícola: área plantada, produtividade e produção, condição de culturas, colheita, disponibilidade de alimentos e o status e severidade das secas.

No Brasil a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), empresa pública vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em conjunto com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) tem realizado desde 2012 um monitoramento por imagem de satélite, que é feito a partir de índices de vegetação. Nos Boletins de Monitoramento Agrícola há uma análise da variação temporal desses índices, comparando-os com os de outras safras e com a média histórica, com o intuito de apoiar as estimativas de safras, as análises de mercado e a gestão de estoques da CONAB.

O boletim que é disponibilizado mensalmente no site da CONAB, consiste no monitoramento das safras de grãos (amendoim, arroz, feijão, milho, soja e sorgo, algodão, girassol, aveia, trigo e cevada) nas principais regiões produtoras do Brasil. As condições das lavouras são analisadas através dos monitoramentos agrometeorológico e espectral e também de dados de campo que resultam em informações complementares, auxiliando no aprimoramento das estimativas da produção agrícola. Os recursos técnicos utilizados têm origem em três fontes de dados: a) imagens de satélites, utilizadas para calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) das lavouras; b) dados climáticos e prognósticos de probabilidade de chuva; e c) dados de campo.

Porém, ainda não existe nenhum sistema de monitoramento para a cultura da cana-de-açúcar, que é a terceira cultura plantada em maior extensão no território brasileiro (10,5 milhões hectares em 2014), perdendo apenas para a soja (30,3 milhões hectares em 2014) e para o milho (15,8 milhões hectares em 2014) (IBGE, 2015). Além disso, a indústria da cana-de-açúcar no Brasil tem tirado grandes vantagens na produção combinada de açúcar e etanol, e, recentemente, muitas usinas têm ampliado suas receitas com a venda de eletricidade excedente produzida pela queima da palha/bagaço da cana (Walter et al., 2014). Estima-se que a produção de etanol tende a expandir no Brasil devido ao tamanho potencial do mercado interno e para as oportunidades de exportação, além disso há esforços para diversificação da produção da cana que visam a produção de etanol através da hidrólise de resíduos da cana (etanol 2º geração) e no desenvolvimento de rotas químicas.

Algumas iniciativas já foram feitas nesse sentido, como o projeto CANASAT (Rudorff et al., 2010), que foi criado em 2003 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ / USP) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) (www.dsr.inpe.br/canasat/) e mantido até 2013. O projeto utilizava técnicas de geoprocessamento de imagens e sensoriamento remoto, para mapear áreas plantadas com cana-de-açúcar e monitorar a forma de colheita (manual ou mecanizada) com periodicidade anual. Inicialmente, o mapeamento foi realizado apenas no estado de São Paulo, no entanto, desde 2005, o mapeamento foi estendido para outros cinco estados da região centro-sul do Brasil.

O Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) que está integrado ao Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em parceria com a Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) lançou em 2014 o boletim de "Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo". Esse boletim, de periodicidade mensal, utilizava dados de sensoriamento remoto para fornecer informações para as mesorregiões produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. As informações contidas nesse Boletim são referentes a precipitação e ao desempenho da cultura (através do NDVI) dessas regiões.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar as metodologias utilizadas na confecção do Boletim "Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo", discutir como elas podem ser utilizadas pelos produtores e possíveis melhorias.

2. Materiais e Método

A área de estudo é o estado de São Paulo, que possui 645 municípios agrupados em 63 microrregiões e 15 mesorregiões. Das 15 mesorregiões doze são produtoras de cana-de-açúcar: Araçatuba, Araraquara, Assis, Bauru, Campinas, Itapetininga, Marília, Macro Metropolitana Paulista, Piracicaba, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto (Figura 1).



Figura 1. Mesorregiões produtoras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

2.1 Dados Climáticos

Os dados climáticos utilizados no Boletim provêm do modelo ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*) (ECMWF, 2014), que tem se destacado como um dos mais utilizados na modelagem numérica. O ECMWF explora modelos de circulação global que são rodados diariamente para decêndios. Ele utiliza no seu cálculo dados de estações meteorológicas e radares espalhadas pelo mundo, satélites, e outras fontes, coletados a cada 6 horas. Estas informações são processadas (equações meteorológicas) e o resultado são parâmetros meteorológicos em escala mundial.

O Boletim “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” divulga dados sobre a precipitação mensal das mesorregiões canavieiras. Para isso é feito o download dos dados de precipitação decendial na plataforma do JRC (<http://spirits.jrc.ec.europa.eu/>). Em seguida os dados no formato de grade são extraídos no software ArcGIS e então são inseridos em uma planilha onde há todos os dados históricos, desde 2002, de cada mesorregião. Os dados referentes aos três decêndios do mês atual são somados para então ser confeccionado um gráfico para cada mesorregião onde o leitor pode identificar o valor da precipitação do mês atual e compará-lo com a média histórica.

Além do gráfico de precipitação é feito um mapa de diferença de precipitação onde os valores dos três decêndios do mês atual são somados, para constituir o valor de precipitação mensal. Então o valor de precipitação mensal do mês atual é subtraído pelo valor de precipitação do mês atual do ano anterior (Equação 1). Utiliza-se o método interpolação do Inverso Quadrado da Distância (IQD), para interpolar a grade de pontos do estado de São Paulo, com resolução espacial de 5x5km, para confecção do mapa de diferença de precipitação.

$$\text{Diferença de precipitação} = \text{precipitação mensal do mês atual no ano atual} - \text{precipitação mensal do mês atual no ano anterior} \quad (1)$$

2.2 NDVI e o Semáforo de Desempenho da Safra

O índice de vegetação NDVI foi selecionado como um indicador do desempenho da safra por ter correlação com vários parâmetros da vegetação como: índice de área foliar (IAF),

biomassa, cobertura do dossel e fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (fAPAR) (Huete et al., 2002). Índices de vegetação provindos do sensor MODIS são projetados para fornecer comparações espaciais e temporais consistentes das condições da vegetação. Para o Boletim são utilizados os dados de NDVI do sensor MODIS a bordo em dois satélites: Terra e Aqua (produto MOD13), com resolução espacial de 250 metros e com resolução temporal de 16 dias.

A informação de NDVI para cada uma das 12 mesorregiões de São Paulo é utilizada de base para o mapa de semáforo de desempenho da safra. Para isso os dados do sensor MODIS são extraídos no software ArcGIS utilizando uma máscara das áreas de cana-de-açúcar. Para a confecção deste mapa, que apresenta as cores vermelho, amarelo e verde, é utilizada a seguinte metodologia:

- Verde: valor de NDVI igual ou maior que a média histórica (verde: $\text{NDVI atual} \geq \text{NDVI médio}$);
- Amarelo: valor de NDVI abaixo da média histórica até menos um desvio padrão (amarelo: $\text{NDVI médio} > \text{NDVI atual} > \text{NDVI médio} - \text{um desvio padrão}$);
- Vermelho: valor de NDVI abaixo de um desvio padrão (vermelho: $\text{NDVI atual} < \text{NDVI médio} - \text{um desvio padrão}$).

Além do mapa, são confeccionados gráficos de comparação do NDVI do mês atual do ano atual, NDVI do mês atual do ano anterior e o NDVI médio histórico (desde 2002), para as 12 mesorregiões produtoras de cana-de-açúcar no estado. Mais detalhes do processamento das imagens MODIS podem ser vistos em Moreira et al. (2015).

3. Resultados e Discussão

O Boletim “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” apresenta as condições da cultura da cana-de-açúcar em campo, através de índices de vegetação e do acompanhamento da precipitação. Essas informações permitem monitorar e dimensionar ganhos e perdas da lavoura para fornecer subsídios à tomada de decisão em escala regional. As informações estão organizadas para todo o estado de São Paulo e para as suas 12 mesorregiões produtoras de cana-de-açúcar.

Pelo mapa de diferença de precipitação é possível observar se há deficit de chuva de no mês atual comparado ao mesmo mês do ano anterior, ou seja, identificar quais são as regiões do estado de São Paulo onde a precipitação está acima ou abaixo dos valores, no mesmo período, do ano anterior. Por isso, grande parte das inferências feita no Boletim são baseadas nos mapas de diferença de precipitação, pois sabendo o atual estágio da cana-de-açúcar, a quantidade de chuva que ocorreu naquele mês e a comparação com a safra anterior é possível fazer observações de como a cana-de-açúcar está sendo prejudicada ou favorecida pela precipitação. Um exemplo pode ser observado na Figura 2, onde é apresentado o mapa de diferença de precipitação para o mês de outubro de 2015.

Diferença de Precipitação

Outubro (2015-2014)

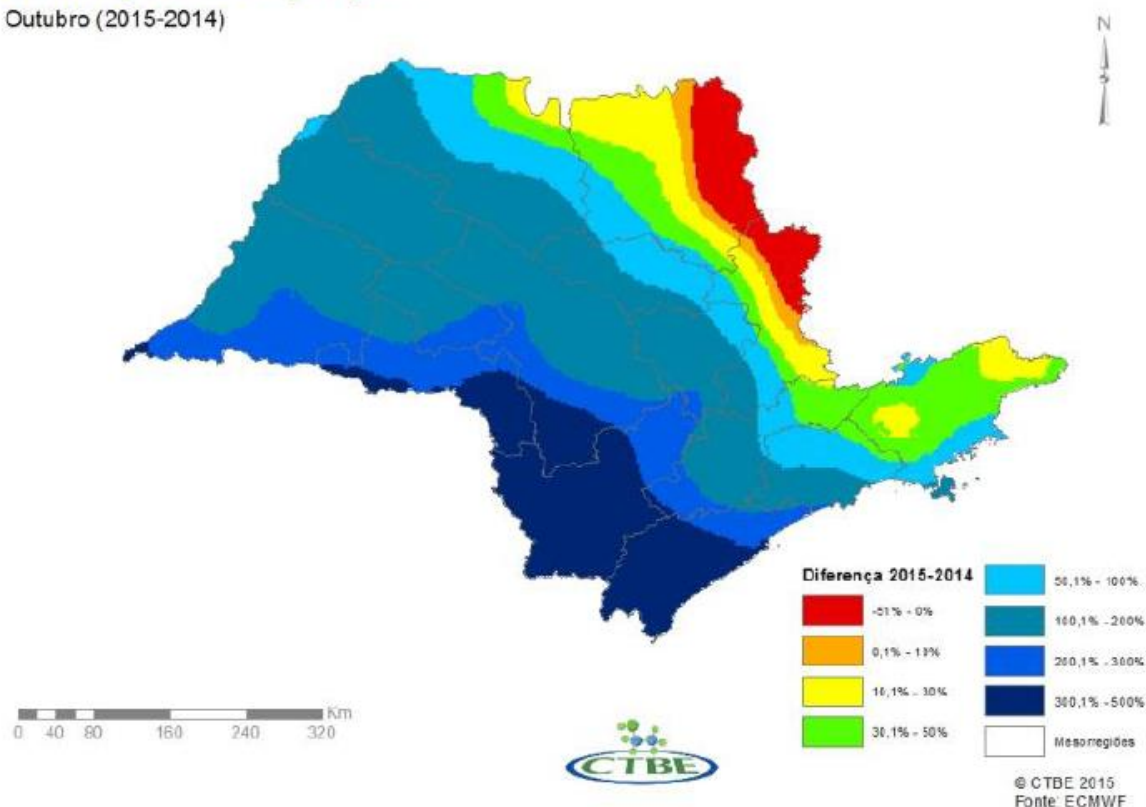


Figura 2. Mapa de diferença de precipitação do mês de outubro divulgado no Boletim “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” número 13 divulgado em novembro de 2015.

Pelo mapa da Figura 2 é possível observar que na maioria das regiões produtoras do estado, no mês de outubro, choveu mais do que no mesmo período do ano anterior. Essas chuvas colaboraram para o melhor desenvolvimento das soqueiras em campo (pois era o estágio em que a cana estava naquele momento), abrindo a próxima safra com boas perspectivas se o regime se mantiver até o fim do período de brotação.

O do semáforo de desempenho da safra apresenta a condição vegetativa das mesorregiões canavieiras, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Pelo mapa do semáforo é possível identificar de forma rápida e intuitiva se naquele determinado mês o valor de NDVI, que está altamente correlacionado com o vigor vegetativo da planta, está acima, abaixo ou na média. A Figura 3 apresenta o mapa do semáforo de desempenho da safra do mês de outubro de 2015.

Semáforo de Outubro

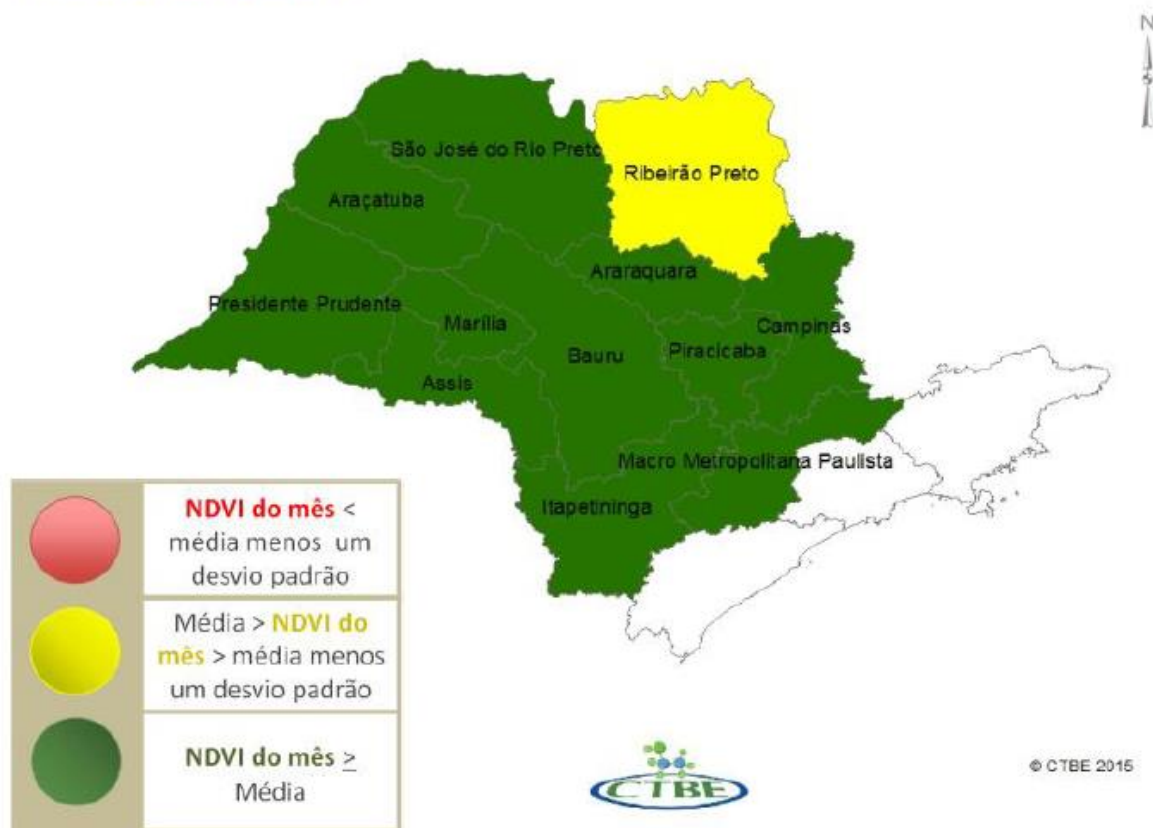


Figura 3. Mapa do semáforo de desempenho da safra do mês de outubro divulgado no Boletim “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” número 13 divulgado em novembro de 2015.

Pelo mapa apresentado na Figura 3 é possível inferir que apenas a mesorregião de Ribeirão Preto teve o valor de NDVI abaixo da média histórica até menos um desvio padrão. Ao observar a Figura 2 em conjunto com a Figura 3 observa-se que o deficit de chuva pode ter influenciado na queda do valor do NDVI para esta região.

Já nos gráficos elaborados no Boletim é possível observar com maior detalhe o comportamento do NDVI da cana e o comportamento dos dados de precipitação para cada uma das 12 mesorregiões. Através desses gráficos se pode monitorar a produção de cana e fazer uma comparação da safra atual com a média das últimas 10 safras. A Figura 4 apresenta o gráfico de duas mesorregiões no mês de outubro de 2015 (Piracicaba e Ribeirão Preto).

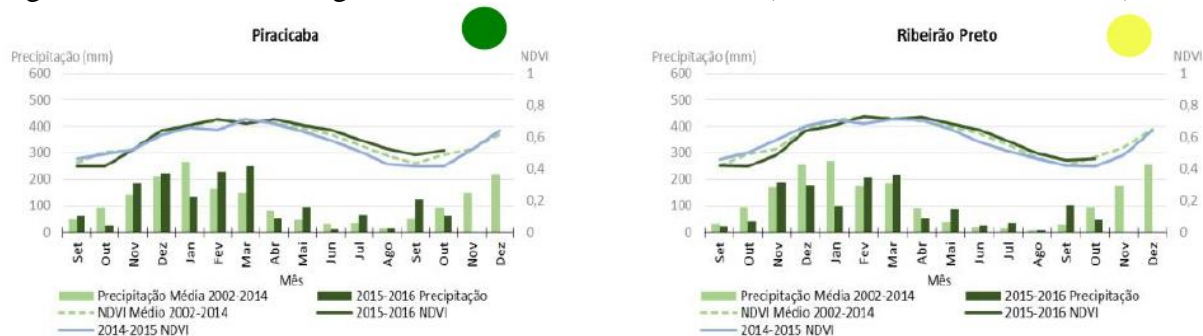


Figura 4. Gráfico de desempenho da safra até o mês de outubro divulgado no Boletim “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” número 13 divulgado em novembro de 2015.

O gráfico da mesorregião de Ribeirão Preto (Figura 4) o índice de vegetação no mês de outubro está acima da média histórica, e indicava um bom começo de desenvolvimento da safra 2016/17. Apesar do valor de precipitação estar abaixo da média histórica isso não afetou o vigor vegetativo da planta. Já a mesorregião de Ribeirão Preto sofreu com a queda da precipitação e teve o valor de NDVI abaixo da média histórica.

4. Conclusões

Através do Boletim de “Monitoramento da Cultura de Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo” é possível realizar o acompanhamento da situação mensal das lavouras de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, por todos os envolvidos na cadeia produtiva da cana, e compreender o andamento da safra.

O Boletim, que tem periodicidade mensal, é utilizado como uma ferramenta para que as pessoas ligadas ao setor sucroalcooleiro possam monitorar e dimensionar ganhos e perdas da lavoura, através dos valores de precipitação e do NDVI, para fornecer subsídios à tomada de decisão em escala regional. Além disso, o Boletim fornece informações para que produtores possam aprimorar o seu planejamento naquela safra.

Para a ampliação do escopo do Boletim é necessário a inserção de dados sobre o balanço hídrico da cana, a criação de uma metodologia para realização do acompanhamento da colheita da cana, e o desenvolvimento de uma metodologia para sugerir uma nova forma de divisão das regiões produtoras de cana-de-açúcar, pois sabe-se que a divisão por mesorregiões não é a ideal, pois não leva em conta fatores relacionados a solo, microclima, relevo, etc.

Referências Bibliográficas

- Eerens, H.; Haesen, D.; Rembold, F.; Urbano, F.; Tote, C.; Bydekerke, L. Image time series processing for agriculture monitoring. **Environmental Modelling & Software**, v. 53, p. 154-162, 2014.
- European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF). **ERA-Interim**. Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>>. Acesso em: 08.out.2014.
- 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). **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 14.mai.2015.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlömer, S.; von Stechow, C.; Zwickel, T.; Minx, J.C. (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. 1454 p.
- Moreira, M.E.M.; Leal, M.R.L.V.; Picoli, M.C.A.; Duft, D.G. Análise estatística do uso da média mensal do NDVI no monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 2015, São Pedro - SP. **Anais... Jubileu de Ouro da SBEA, 2015**. ISBN 978-85-64681-10-1. Disponível em: <<http://publicacoes.conbea.org.br/livros>>. Acesso em: 16.ago.2016.
- Motha, R. Agrometeorological Bulletins - How can we improve them? In: Inter-Regional Workshop held in Bridgetown, Barbados, 15-19 October 2002. **Proceedings...** Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2002. Disponível em: <<http://www.wamis.org/tools/dissemin/ImproveAgBull.pdf>>. Acesso em: 12.ago.2016.
- Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.
- Walter, A.; Galdos, M.V.; Scarpere, F.V.; Leal, M.R.L.V.; Seabra, J.E.A.; Cunha, M.P.; Picoli, M.C.A.; Oliveira, C.O.F. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, v. 3, n. 1. p. 70-92, 2014.
- Wheeler, T.; Von Braun, J. Climate change impacts on global food security. **Science**, v. 341, n. 6145, p. 508-513, 2013.