



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Avaliação da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar: estudo de caso usina Coruripe para as safras de 2000/2005

Wanda Tathiana de Castro SILVA<sup>1</sup>, Humberto Alves BARBOSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduada em Meteorologia; Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Cep: 57072-970, Tabuleiro do Martins, Alagoas, Brasil. (82)3214-1000, [wandatathiana@gmail.com](mailto:wandatathiana@gmail.com) (autor correspondente), <sup>2</sup>Dr. em Meteorologia, Professor Orientador, Instituto de Ciências Atmosféricas, Campus A. C. Simões, Av. Lourival Melo Mota, S/N, Cep: 57072-970, Tabuleiro do Martins, Alagoas, Brasil. (82)3214-1000, [barbosa33@gmail.com](mailto:barbosa33@gmail.com)

Artigo recebido em 19/04/2021 e aceito em 15/06/2021

### RESUMO

Este trabalho avalia a influência da precipitação, índice de oscilação sul (IOS), índice multivariado do El Niño oscilação sul (ENOS), anomalia de temperatura da superfície do mar (ATSM) do dipolo do atlântico e do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI/ derivado dos satélites METEOSAT 9 e 10) sobre a produtividade agrícola da cana-de-açúcar (ton/ha) no litoral sul do Estado de Alagoas para o período de 2000 a 2005. As análises foram feitas utilizando-se precipitação pluviométrica da Usina Coruripe, localizada no município de Coruripe/AL. Os resultados encontrados mostram que a variabilidade anual da produtividade agrícola da cana-de-açúcar da Usina Coruripe é modulada em grande parte pela precipitação pluviométrica. Além disso, caracterizou-se a variabilidade anual e interanual da produtividade agrícola da cana-de-açúcar relacionadas com a variabilidade climática. Os resultados encontrados também sugerem que os dados do NDVI dos satélites METEOSAT 9 e 10 utilizados neste trabalho, mostraram-se ser, observações úteis para caracterizar a produtividade agrícola de cana-de-açúcar da Usina Coruripe.

Palavras-chave: produtividade agrícola, precipitação pluviométrica, NDVI, variabilidade climática.

## Evaluation of precipitation in agricultural productivity of sugarcane: a case study of the Coruripe plant for the 2000/2005 harvests

### ABSTRACT

This study evaluates the influence of rainfall, southern oscillation index (SOI), multivariate index of El Niño Southern Oscillation (ENSO), sea surface temperature anomaly of the sea surface (SSTA) in the Atlantic dipole index and normalized difference vegetation (NDVI/derived from satellites METEOSAT 9 and 10) on agricultural productivity of cane sugar (ton/ha) on the southern coast of the State of Alagoas for the period 2000-2005. Analyses were performed using rainfall Coruripe Plant, located in the municipality of Coruripe/AL. The results show that the annual variability of the agricultural productivity of cane sugar mill Coruripe is modulated largely by rainfall. Additionally, characterized and interannual variability annual agricultural productivity of cane sugar related to climate variability. The results also suggest that the NDVI data from the satellites METEOSAT 9 and 10 used in this work, proved to be, useful observations to characterize the agricultural productivity of cane sugar mill Coruripe.

Keywords: agricultural productivity, rainfall, NDVI, climate variability.

## Introdução

A agricultura é uma das principais atividades econômicas do Brasil, com destaque para o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp. Hybrid*), matéria-prima para a produção de sacarose, melação e fibra, que pode servir de combustível para a própria Usina, além do álcool direcionado para a produção de combustível, para automóveis e outros produtos álcool-químicos. Cultivada numa ampla faixa de latitude do globo, a produtividade de cana-de-açúcar depende de fatores ambientais como o clima, a energia radiante incidente na região e a disponibilidade hídrica, tornando específicos os cuidados relativos à sua produção. Segundo Mello et al., (2009) essa cultura agrícola vem recebendo cada vez mais destaque no cenário mundial por possuir grande eficiência na produção de biocombustíveis e consequente mitigação da intensificação do efeito estufa. O cultivo da cana é uma das mais capacitadas no que diz respeito ao uso de técnicas para seu gerenciamento.

O setor sucroalcooleiro brasileiro tem um diferencial ambiental positivo, especialmente representado pela produção do etanol, combustível limpo e renovável, proveniente da cana-de-açúcar. O Brasil é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país e os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país (UNICA, 2013). Este valor já ultrapassa o fornecido pelas usinas hidroelétricas.

O setor sucroenergético é um importante agente na questão da sustentabilidade. Além da importância econômica, o setor tem grande participação na redução da emissão de gases poluentes. Como produto final, o setor apresenta o etanol, biocombustível oriundo da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), substituindo parte dos combustíveis de origem fóssil. Segundo a UNICA (2017), a utilização do etanol diminui em torno de 90% a emissão de CO<sub>2</sub>, comparado à queima da gasolina.

O cultivo da cana-de-açúcar é de grande importância nacional, ocupando grandes extensões de terras. O Brasil é o maior produtor e exportador do mundo, seguido da Índia e Austrália. Há dois períodos de safra desse cultivo no Brasil decorrente da plantação no Centro-Sul e no Norte-Nordeste, sendo que 55% da cana brasileira transformam-se em álcool e 45% na produção do açúcar (UNICA, 2004). O cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas é caracterizado pelo baixo investimento, focada nos impactos limitantes das políticas setoriais e dos riscos climáticos Lima (1997). Como consequência, a produtividade, em termos

agrícolas, de geração de trabalho, e especialmente com respeito à degradação da terra, perda de recursos naturais e de biodiversidade.

A cana-de-açúcar e seus derivados contribuem com cerca de 60% da receita gerada pelo ICMS (Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre a Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicações), em mais da metade dos municípios alagoanos (TOLEDO FILHO, 2001). Ocupando grande parte da área geográfica do estado, inclusive do litoral, zona da mata e tabuleiros costeiros.

Verificamos em Araújo, Gomes e Santos Filho (2013), que a situação recente da economia alagoana e dos 102 municípios está diretamente relacionada à formação econômica do Brasil nos séculos XVI e XVII, através da empresa agrícola exportadora.

O ministério da agricultura do Brasil afirma que o país é o maior produtor de açúcar e etanol do mundo e segundo Rocha et al. (2013) conquista, cada vez mais o mercado externo com o uso do biocombustível como alternativa energética. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) estima que para o ano de 2013 a cana-de-açúcar perderá área total e área para colheita, ficando em torno de 9,7 milhões e 9,2 milhões de hectares, respectivamente. Por outro lado, as estimativas de produtividade deverão crescer com relação a 2012, chegando à marca de 712,5 milhões de toneladas de cana, um aumento de 5,6 %.

A produtividade da agricultura canavieira é muito sensível aos impactos decorrentes da variabilidade climática. Nos trópicos, o fator climático que causa maior variabilidade na produtividade é a precipitação. A necessidade de água para o cultivo varia de 1500 a 2500 mm, distribuídos com maior intensidade ao longo da fase de crescimento vegetativo (DOORENBOS E KASSAM, 1979).

O clima, a variedade, o tipo de solo, o estágio de corte, a data do plantio, entre outros, são fatores que também influenciam na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (Maximiliano, 2002).

A Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil apontou em 2014 (CNA, 2014) que a soja, o milho e a cana-de-açúcar foram as principais culturas agrícolas responsáveis pelo crescimento de 7% do Produto Interno Bruto (PIB) da agropecuária em 2013. No entanto, alertou a entidade, as irregularidades climáticas terão efeito negativo sobre a produtividade das lavouras destas culturas. Com a alteração do regime de chuvas, do

aumento das temperaturas e da intensificação da ocorrência de eventos extremos advindas das possíveis mudanças climáticas, a preocupação dos gestores do setor é crescente.

O monitoramento agrícola é item fundamental para o planejamento do setor. Estudos mostram que o monitoramento realizado por meio de sensores orbitais tem obtido resultados com divergência não significativa em relação aos dados oficiais como os do IBGE (MELLO et al., 2013).

Considerando assim a importância real da agropecuária para a economia brasileira, no que se refere à participação no PIB e na geração de divisas e as pressões competitivas, que nesse caso são cada vez maiores, somadas à situação das possíveis mudanças climáticas, o desenvolvimento da pesquisa científica é necessário para aumentar a competitividade e a sustentabilidade deste setor. Neste caso, o monitoramento agrícola e ambiental por meio do sensoriamento remoto permite melhor acurácia destas atividades a um baixo custo.

O laboratório de análises e processamento de imagens (Lapis), desde 2011 desenvolve um projeto que fornece informações sobre a distribuição espacial da área cultivada com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo utilizando imagens de satélites. Mais recentemente alguns desses modelos foram aperfeiçoados e acoplados as técnicas de sensoriamento remoto, com resultados bastante encorajadores, apesar da alta variabilidade espacial da produtividade obtida, sugerindo necessidade de ajustamentos e refinamentos dos modelos agrometeorológicos, em especial os que utilizam produtos EUMETCast que fornecem dados frequentes e precisos de diversos parâmetros agrometeorológicos, tais como evapotranspiração, albedo da superfície, temperatura da superfície, radiação solar, precipitação, etc. O sistema EUMETCast de divulgação de dados em tempo real representa uma rede global de comunicação baseado em satélite de difusão de dados, metadatos e produtos agrometeorológicos, para diversas comunidades de usuários e fornece solução completa e espacialmente densa para observações e avaliações da produtividade potencial da vegetação em escala regional.

Em consonância com o acima exposto e com o devido entendimento das características do clima na grande escala, este trabalho tem por objetivo principal avaliar a influência da variação interanual da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar da Usina Coruripe e sua conexão com o clima. Realiza-se um estudo de caso desta influência climática na produtividade do cultivo da cana-de-açúcar na Usina Coruripe localizada no município de Coruripe no Estado de Alagoas.

### Objetivos Específicos:

- 1 – Análise de dados de precipitações pluviométricas mensais e anuais da Usina Coruripe;
  - 2 – Aquisições de série temporal dos valores do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtidas dos satélites Meteosat disponibilizada pelo Lapis ([www.lapismet.com](http://www.lapismet.com));
  - 3 – Foi utilizado o IOS (Índice de Oscilação Sul), onde valores negativos e positivos indicam a ocorrência do El Niño (aquecimento) e La Niña (resfriamento) das águas superficiais da região, respectivamente. E outro índice muito importante denominado de IME (Índice Multivariado do ENOS), e que através dele pode-se analisar a intensidade do evento El Niño e La Niña.
  - 4 – Discutir as principais características climáticas associadas à variação interanual das chuvas sobre o Nordeste, utilizando o IOS e o IME.
- No capítulo 2 é abordada a revisão bibliográfica onde é descrito detalhadamente a origem da cana-de-açúcar no Brasil e na região Nordeste em particular o Estado de Alagoas, identificando a influência das variações climáticas sobre a variação interanual das chuvas sobre a região.

No capítulo 3 são apresentados dados obtidos na Usina Coruripe - Coruripe/AL com relação à produtividade anual e precipitação pluviométrica no período de 2000-2005. Por fim, no capítulo 4 as considerações finais deste trabalho.

### Material e métodos

#### Localização e Caracterização da Área Experimental

As áreas de cultivo de cana-de-açúcar da Usina Coruripe (figura 1), no município de Coruripe litoral sul do Estado de Alagoas, estão localizadas entre as latitudes sul -10.2736°S e -9.9334°S e as longitudes -36.0299°W e -36.4530 E, a oeste de Greenwich, no período compreendido entre os anos das safras de 2000 a 2005.

O acesso a partir de Maceió é feito através da rodovia pavimentada AL-101, com percurso em torno de 131 km. O relevo de Coruripe faz parte da unidade dos Tabuleiros Costeiros. Esta unidade acompanha o litoral de todo o nordeste, apresenta altitude média de 50 a 100 metros. O clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. O período chuvoso começa no outono tendo início em fevereiro e término em outubro. A precipitação média anual é de 1.634,2 mm e temperatura média é de 24,4°C. A atividade agrícola do município de

Coruripe consiste no cultivo de: Cana-de-açúcar, abacaxi, amendoim, banana, coco-da-baía, feijão, goiaba, laranja, mamão, mandioca, manga, maracujá, melancia e milho. Sendo o cultivo da cana-de-açúcar a principal atividade agrícola e econômica da região.

A análise da relação entre a produção da cana-de-açúcar e o regime regional de chuvas foi efetuada a partir dos registros de acompanhamento da produção da Usina Coruripe de Açúcar e Álcool, localizada no município de Coruripe, Alagoas, a

120 km de Maceió. A área utilizada para o plantio é de aproximadamente 27 mil hectares. As classes de solo predominantes, em ordem decrescente de ocorrência, são: Argissolo, Gleissolo, Planossolo, Latossolo e Espodossolo. De modo geral, esses solos apresentam baixo armazenamento de água e a ocorrência de uma camada de impedimento de origem pedogenética (camada coesa), localizada à 0,3-0,4 m de profundidade (Jacomine, 2001).



Figura 1. Localização geográfica da Usina Coruripe, local onde foram realizados os estudos referentes à variação da precipitação trazendo consequências na produtividade agrícola. Fonte: Própria, 2013.

Por está localizado no litoral sul do Estado de Alagoas, o município de Coruripe (figura 2) é geralmente influenciado pelos fenômenos meteorológicos atuantes próximos ao equador como a variação da ZCIT. A alta variabilidade interanual de precipitação no litoral do NEB é complexa por sofrer influências de diversos

sistemas dinâmicos de circulação atmosférica, tais como: massa de ar tropical marítima; os sistemas frontais, ou seus restos que atingem o sul da Bahia; a intensidade da brisa terrestre; as linhas de instabilidade costeira; a variação sazonal dos ventos e a posição e intensidade da zona de convergência intertropical



Figura 2 – Ilustração da zona canieira da Usina Coruripe localizada no interior do estado de Alagoas. Fonte: Google, Acessado em 18/06/2013

O fenômeno que causa um forte impacto na produtividade da região é o El Niño/Oscilação Sul que não apresenta nítida correlação com o período chuvoso dessa região, indicando uma tendência em diminuição das chuvas no período seco e geralmente se acopla com o fenômeno Dipolo do Atlântico que é o fenômeno oceano/atmosférico que inibe ou aumenta a formação de nuvens diminuindo ou aumentando os índices pluviométricos no Litoral Alagoano, podendo causar secas intensas na região.

No Estado de Alagoas grande parte da produção da cana-de-açúcar é desenvolvida em regime de sequeiro e o regime de irrigação não atende toda a área de plantio comercial. Sendo a cana-de-açúcar uma cultura dependente de água para seu pleno crescimento e desenvolvimento, em episódios de secas intensas ocorre uma grande diminuição na produtividade e como citada anteriormente a irrigação não pode atender a demanda hídrica da região. Portanto a precipitação é muito importante em todas as fases do ciclo fenológico da cultura.

Sendo que na fase de maturação, a cana-de-açúcar é exigente em temperaturas baixas (abaixo de 20°C) e/ou deficit hídrico para que haja repouso fisiológico e acúmulo de sacarose nos colmos (ANDRADE, 2006).

Segundo BATTA et al. (2002), o sucesso econômico da cultura da cana-de-açúcar é determinado pela capacidade de acúmulo de sacarose nos colmos.

Segundo IPPC (2001), a produtividade agrícola no Brasil depende do clima e sua variabilidade. Esta dependência é importante durante o ciclo de vida das culturas, além de responsável pela alternância das produções agrícolas anuais, o que, sem dúvida, influencia diretamente no balanço da produção, ocorrendo perda ou ganho em função das condições climáticas de uma região; um exemplo disso é o balanço percentual da produção de cereais na América do Sul, que ganha cerca de trinta milhões de t ano<sup>-1</sup>; dos seus doze países, seis perdem mais de sessenta milhões de t e outros ganham noventa milhões. O Brasil, que representa metade da população da região, perde 14% da produção de grãos.

O consumo de água pelas comunidades vegetais é uma informação relevante no planejamento agrícola, com vistas à avaliação da produtividade das culturas (Campos et al., 2008). As necessidades hídricas das culturas agrícolas, precisam ser satisfeitas nos diversos estádios fenológicos, desde a germinação e estabelecimento da cultura, passando pelo desenvolvimento, floração, formação e crescimento dos grãos ou frutos, até atingir a maturação e a colheita. No cultivo agrícola é imprescindível se conhecer as relações entre as chuvas da pré-estação e período chuvoso para escolha da melhor época de semeadura, devido às condições hídricas do solo, visto que, principalmente no Nordeste, antes da pré-estação chuvosa sempre há um período de

estiagem que reduz bastante o conteúdo de água no solo disponível para as plantas.

durante as safras de 2000/2001, 2001/2002, 2002/2003, 2003/2004 e 2004/2005 (tabela 1).

### Dados Utilizados

Os dados de produtividade anual foram coletados na Usina Coruripe (figura 3), obtidos



Figura 3 - Cultivo de cana-de-açúcar da Usina Coruripe-AL. Fonte: Própria, 2013.

Tabela 1 – Exatidão em toneladas de cana-de-açúcar por safra da Usina Coruripe, no período de 2000 a 2005.

Safra	Toneladas Cana própria (ton/ha)
2000 / 2001	1.772.274
2001 / 2002	2.132.042
2002 / 2003	1.860.034
2003 / 2004	2.386.205
2004 / 2005	1.769.659

Foi utilizado neste estudo dados dos totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica de 2000 a 2005 referentes aos meses de agosto a fevereiro os quais foram obtidos na estação pluviométrica (figura 4), localizada na Usina Coruripe no município de Coruripe-AL

(10°03'08"S/36°09'56"W), fornecidos pela Usina Coruripe.

A precipitação pluviométrica varia entre 1.100 e 1.300 mm anuais, e os meses de maior precipitação são dezembro, janeiro e fevereiro (CEPAGRI, 2006).



Figura 4 - Estação pluviométrica localizada na Usina Coruripe-AL, e desde 1999 fornece dados de chuva para a região. Fonte: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool do estado de Alagoas.

Dados NDVI do SEVIRI / METEOSAT segunda geração

EUMETCast é um sistema de compartilhamento de dados espaciais adquiridos por satélite, através da EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites), dissemina imagens produzidas pelos satélites Meteosat segunda geração (MSG). Trata-se de um satélite geoestacionário, ou seja, observa sempre um mesmo ponto do planeta, pois sua velocidade de deslocamento é igual à da Terra. O satélite METEOSAT-9 tem a bordo o sensor SEVIRI que coleta informações em 12 canais espectrais, sendo 4 entre a região visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, e 8 na região do infravermelho médio e termal, com resolução temporal de 15 minutos e resolução espacial de 3 km.

O NDVI é um índice de vegetação frequentemente utilizado em pesquisas, com a finalidade de informar o vigor da vegetação em determinada região. Foi desenvolvido por Rouse et al. (1974), expresso pela Equação 1:  $NDVI = \frac{(pnir - pred)}{(pnir + pred)}$  (Eq. 1) onde  $pnir$  representa a reflectância no infravermelho próximo e  $pred$  a reflectância na faixa espectral do vermelho. Por se tratar de um índice normalizado, os valores resultantes variam no intervalo de -1 a 1, sendo os valores positivos indicadores de presença vegetativa.

As imagens multiespectrais do sensor SEVIRI possuem características fundamentais, tais como sua alta resolução temporal que permitem auxiliar as pesquisas em sistemas terrestres. Em Silva; W. T.C. de.; Barbosa; H.A.

princípio, as 96 imagens diariamente disponíveis desse sensor podem servir como base para geração de outros produtos além dos aplicados ao monitoramento meteorológico de curta duração, como o monitoramento da vegetação global a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O mapeamento e monitoramento do NDVI são de fundamental importância em estudos globais da vegetação e vem sendo amplamente utilizado nas estimativas remotas de evapotranspiração e da temperatura da superfície continental (BARBOSA, 2013).

A série temporal de NDVI do sensor SEVIRI foi obtida do Lapis ([www.lapismet.com](http://www.lapismet.com)). A série representa a variação dos valores de 16 dias do NDVI ao longo de 2000 a 2005 sobre o pixel selecionado sobre a área de cultivo da cana-de-açúcar da Usina Coruripe-AL. O cálculo do NDVI (BARBOSA et al., 2013) utiliza imagens SEVIRI, com resolução espacial 3-4 km e resolução temporal de 15 minutos.

Indicadores Climáticos

As evidências e as características do ENOS e do Dipolo do Atlântico foram obtidas através de indicadores, o Índice de Oscilação Sul (IOS), o Índice Multivariado do ENOS (IME), e a Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) de duas regiões do Oceano Atlântico conhecidas como Dipolo do Atlântico. Essas informações encontram-se disponíveis no Australian/BOM (IOS) e CDC/NOAA aos respectivos.

A TSM é obtida das médias mensais das áreas do Dipolo do Atlântico que se localiza no Atlântico Sul (lat 20°S e long 60°W) e Atlântico Norte (lat 28°N e long 15°E).

## Análise dos Dados

Na primeira etapa obtiveram-se totais mensais e os sazonais de precipitação. Os resultados da primeira etapa foram utilizados para auxiliar a avaliação da influência na produtividade agrícola da cana-de-açúcar para as safras de 2000 a 2005.

A região canavieira de Alagoas tem na precipitação pluvial o principal fator limitante da produtividade. Embora em termos dos totais anuais (em 1500 - 2000 mm) esse suprimento hídrico se enquadre dentro das exigências da cana-de-açúcar (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005), há um excedente no outono-inverno (a precipitação equivale a 70% do total anual) e uma deficiência na primavera-verão (Souza et al., 2004) coincidindo com a fase de desenvolvimento da cana-de-açúcar que tem maior exigência hídrica. Essa característica agroclimática contribui muito para as baixas produções alcançadas nessa região.

As médias mensais e sazonais foram obtidas através de planilha eletrônica. Para o cálculo da média sazonal utilizou-se os meses de agosto a fevereiro que coincidiram com o período de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar na Usina Coruripe.

Na segunda etapa obtiveram-se as médias mensais de TSMs do Dipolo do Atlântico para os anos de 2000 a 2005. Os resultados foram formatados de maneira a alimentarem uma planilha eletrônica, na qual foram elaborados os gráficos.

O gráfico da série temporal de NDVI é derivado de um pixel do SEVIRI, selecionado

sobre a área de cultivo da cana-de-açúcar da Usina Coruripe-AL. O pixel SEVIRI é formado de uma área de no mínimo 3,5 x 3,5 km. Para implementar a metodologia de importação das séries de dados raster de NDVI para o ILWIS (EUMETCast software), rotinas específicas, disponíveis no Lapis, foram adaptadas para importação. Durante a importação foi aplicada a máscara, para reter apenas os valores do mapa que estavam localizados sobre área de interesse. Através do ILWIS “arquivo NDVI Coruripe” foi extraído a série temporal com uma sequência animada de mapas, usando como representação “NDVII”, onde cada mapa é uma média do NDVI para o período de 16 dias, calculada pelo algoritmo de composto de valor máximo (Maximum Value Composite Algorithm). Foi selecionada a opção “Layers => Add Layer” e selecionando o “Polygon Map” “Coruripe”.

## Resultados e discussão

### Variação anual da produtividade agrícola do cultivo da cana-de-açúcar da Usina Coruripe e sua conexão com o clima

Observando a figura 5 é possível constatar que nas safras 2000/2001, 2002/2003 e 2004/2005 os valores mais baixos de produtividade anual (ton/ha), associados à diminuição de precipitação acumulada sazonal (mm), indicam que em anos de El Niño acentuado (2000/2001) ocorrem variações dos valores da produtividade.

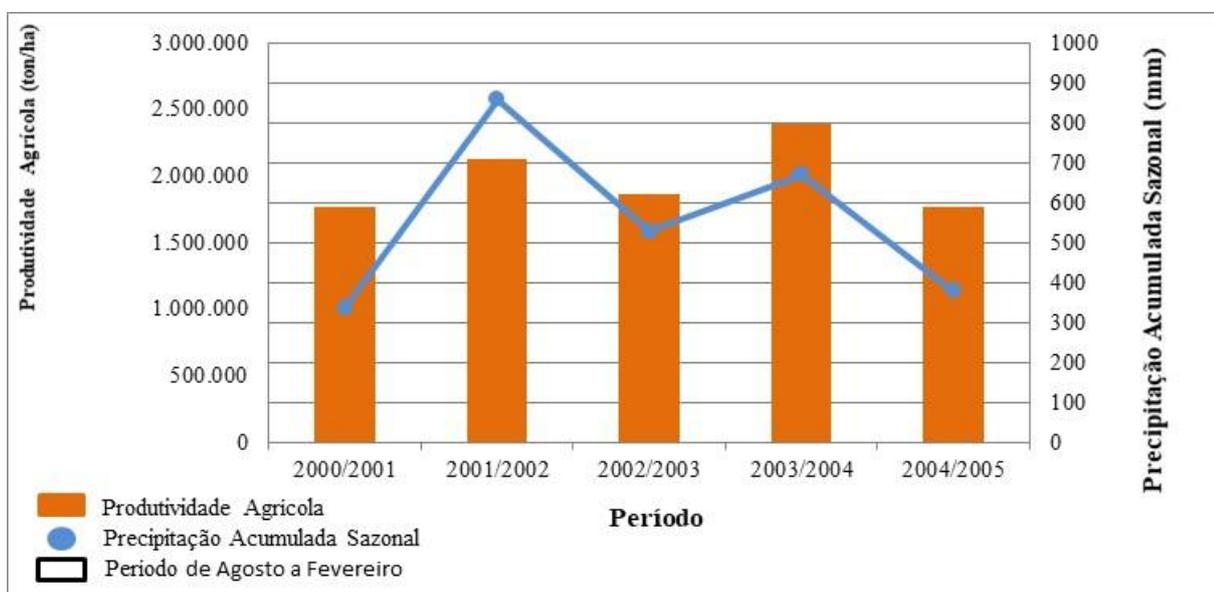


Figura 5 – Comportamento da produtividade agrícola de cana-de-açúcar (ton/ha) em relação à precipitação acumulada mensal (mm) da Usina Coruripe entre os anos de 2000 a 2005. Fonte: Própria, 2013.

Conforme Cirino et al. (2012), alguns desses anos são coincidentes com a formação de La Niña no Oceano Pacífico. Anos que foram registrados a ocorrência desse fenômeno marcam a chegada das frentes frias a região Nordeste, o que, normalmente garantem níveis de precipitação acima da média. Essa maior possibilidade de chuvas, quando efetiva nas fases em que as culturas mais necessitam de água, permite um desempenho agrícola favorável.

No caso da safra 2003/2004 quando ocorreu uma La Niña houve um aumento do valor da produtividade, ou seja, acréscimo de precipitação consequentemente um aumento da produtividade. Quanto mais fortes forem as La Niñas, maior será o aumento da produtividade, dentro da série temporal estudada.

Embora a produtividade não seja uma medida direta da temperatura ou da pressão da superfície do mar, mas sim um valor que pode ser relacionado com a precipitação, à análise temporal, na região e no período estudado, permitiu a associação de um padrão coincidente com o fenômeno ENSO.

Sobre o Oceano Atlântico ocorreu um aumento na produtividade agrícola (safra 2001/2002), associado à fase positiva do Dipolo do Atlântico. Ao contrário do observado na fase positiva do Dipolo e fenômeno El Niño, a produtividade agrícola (2003/2004) é maior. A produtividade agrícola anual é menor em ano, de El Niño e Dipolo Negativo, e maior em ano, de La Niña e Dipolo Positivo.

A região Nordeste é onde historicamente registraram-se as maiores perdas agrícolas e pecuárias relacionadas às secas severas, conforme

dados do Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS, 2012).

As safras 2002/2003 e 2004/2005 (figura 5) apresentaram os menores valores de produtividade agrícola registrados em anos típicos de El Niño. Com exceção das safras 2001/2002 e 2003/2004 que ocorreram eventos neutros de ENSO, conforme mostra o IOS (figura 6). Além disso, em 2001/2002 ocorreu à fase positiva do Dipolo do Atlântico.

Desta forma, apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, a cana-de-açúcar apresenta melhores condições quando ocorrer período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, seguido por um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita (BRUNINI, 2008).

As evidências e as características do ENSO também foram obtidas através do IOS. Esse índice pode ser considerado como o mais importante fenômeno de larga escala que está associado às variabilidades interanuais nas regiões tropicais. As anomalias negativas acentuadas de IOS indicam a ocorrência do fenômeno El Niño, enquanto as anomalias positivas correspondem à ocorrência do fenômeno La Niña. O IOS, assim como a TSM, tem sido amplamente utilizado como parâmetro para diagnosticar a variabilidade climática nos trópicos. Na figura 6 pode-se observar a ocorrência de anomalias positivas nos anos de La Niña e anomalias negativas nos anos de El Niño. Observa-se também, que o fenômeno El Niño é o que mais destaca no período analisado.

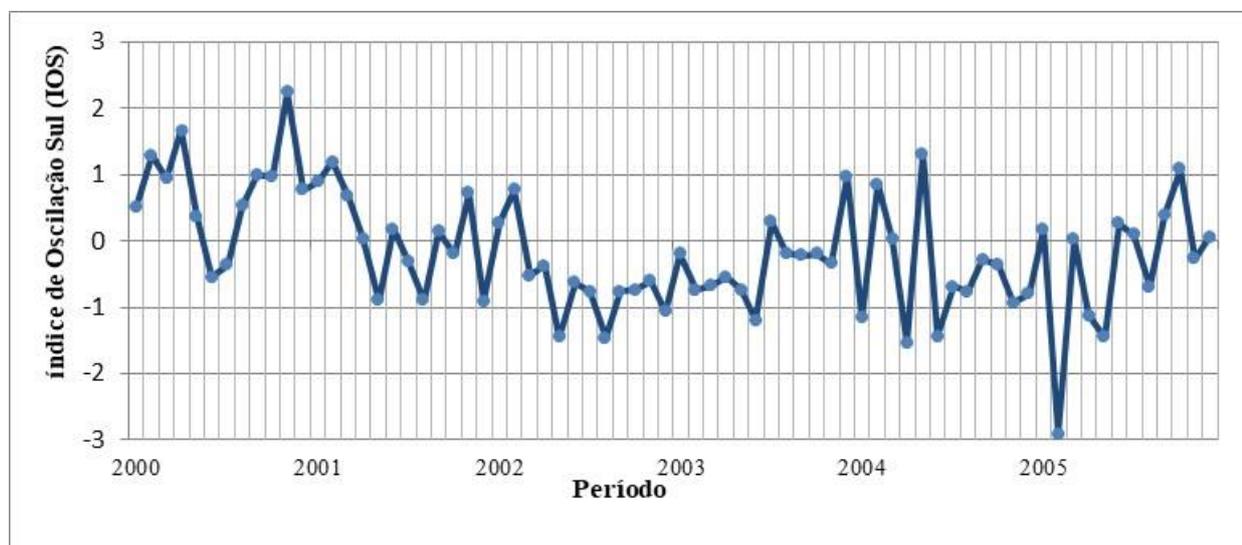


Figura 6 - Comportamento do Índice de Oscilação Sul (IOS) entre os anos de 2000 a 2005. Fonte: (Australian/BOM).

Na figura 7 pode-se observar o Índice Multivariado do ENOS (IME) ou (MEI-Multivariado ENSO Index) que é a quantificação da variação entre períodos de El Niños e La Niñas, e que considera na sua composição as seguintes variáveis: pressão ao nível do mar, as componentes zonal e meridional do vento em superfície, TSM, a temperatura do ar e um indicador de nebulosidade.

Dentre esses fatores, o Índice Multivariado do El Niño Oscilação Sul (IME) pode ser um deles e necessita um estudo de sua relação com a precipitação. Ele é um índice numérico que integra a ação de diferentes fatores que caracterizam o

fenômeno e que oscila entre valores positivos para a fase quente, o El Niño, e negativo para a fase fria, a La Niña, e que consideram, na sua composição, as seguintes variáveis: pressão ao nível do mar, as componentes zonal e meridional do vento em superfície, a temperatura da superfície do mar, a temperatura do ar em superfície e um indicador de nebulosidade (LAY & AIELLO, 2001).

O IME é um parâmetro adequado para se avaliar a influência das condições proporcionadas por El Niños e La Niñas.

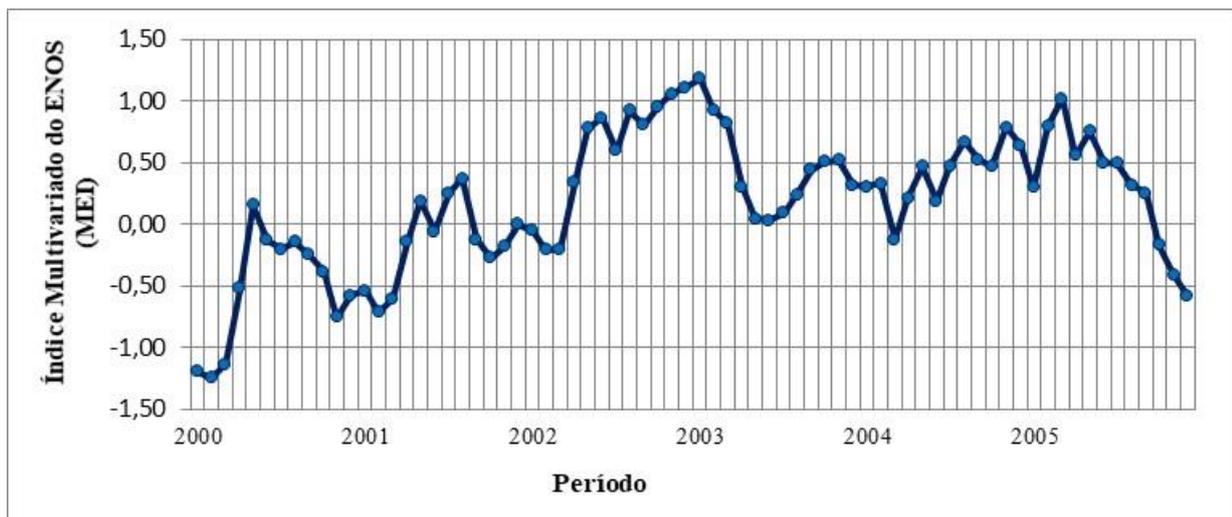


Figura 7 – Comportamento do Índice Multivariado do ENOS (IME) entre os anos de 2000 a 2005. Fonte: (CDC/NOAA).

O Dipolo do Atlântico e fenômenos El Niño/La Niña podem agir conjuntamente para influenciarem na produtividade agrícola. Deste modo, associações da fase negativa do Dipolo com El Niño tendem a reduzir a produtividade agrícola, enquanto associações da fase positiva do Dipolo com La Niña tendem a aumentá-las como demonstram as figuras 8 e 9.

A produtividade de culturas em sistema de sequeiro é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações interanuais do tempo e clima. Toda cultura plantada nesse sistema depende, inevitavelmente,

da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas. Por outro lado, os fenômenos El Niño e Dipolo influenciam os totais pluviométricos do Nordeste brasileiro; em consequência, contribuem nas variações do rendimento das culturas de subsistência (Silva et al, 2002).

As figuras 8 e 9 denotam ainda que fase positiva do Dipolo, com menos chuva, e uma fase negativa do Dipolo, que se manifesta com chuvas mais abundantes.

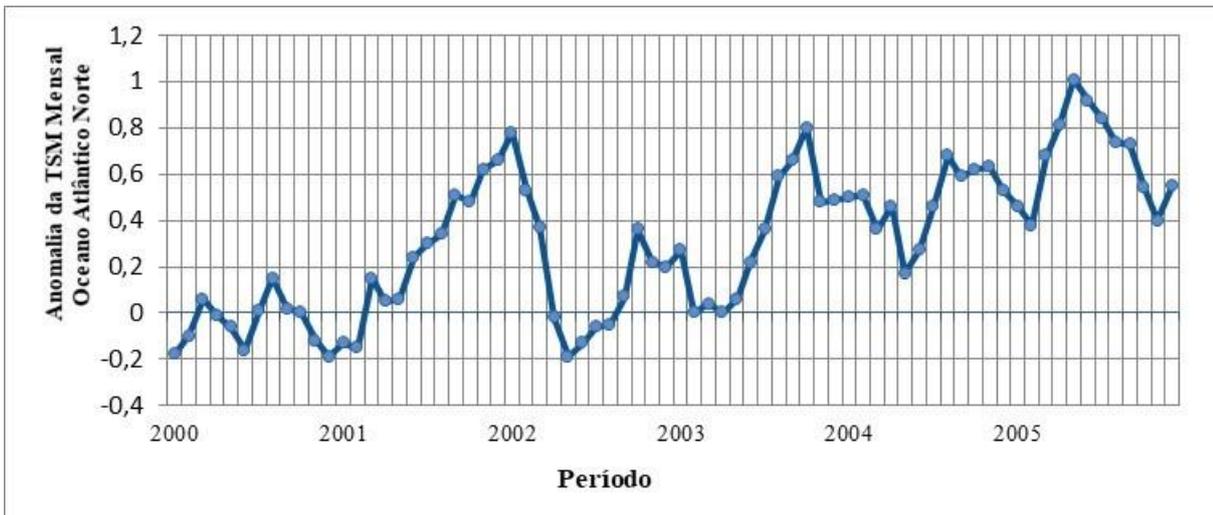


Figura 8 – Variação da Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Norte entre os anos em estudo. Fonte: (CDC/NOAA).

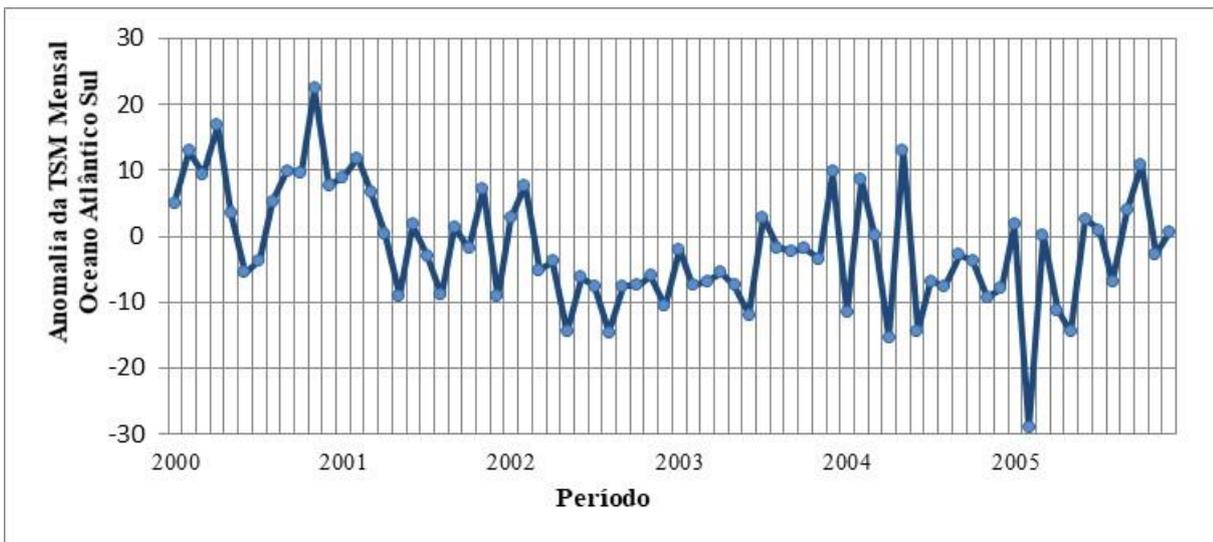


Figura 9 – Oscilação da Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Sul entre os anos em estudo. Fonte: (CDC/NOAA).

Na figura 10 pode-se observar a ocorrência de três quedas acentuadas no NDVI nos anos 2001, 2002 e 2004. No ano de 2001, a queda foi mais marcante que os anos 2002 e 2004, o El Niño deste ano foi mais intenso que os de 2002 e 2004. Além disso, constatou-se que os eventos de ENSO, independente de sua intensidade, afetam

distintamente o NDVI. O El Niño provoca uma diminuição da precipitação e que tem um período seco bem definido, o NDVI apresenta muita variabilidade durante o período de plantio da safra e tempo de resposta à precipitação.

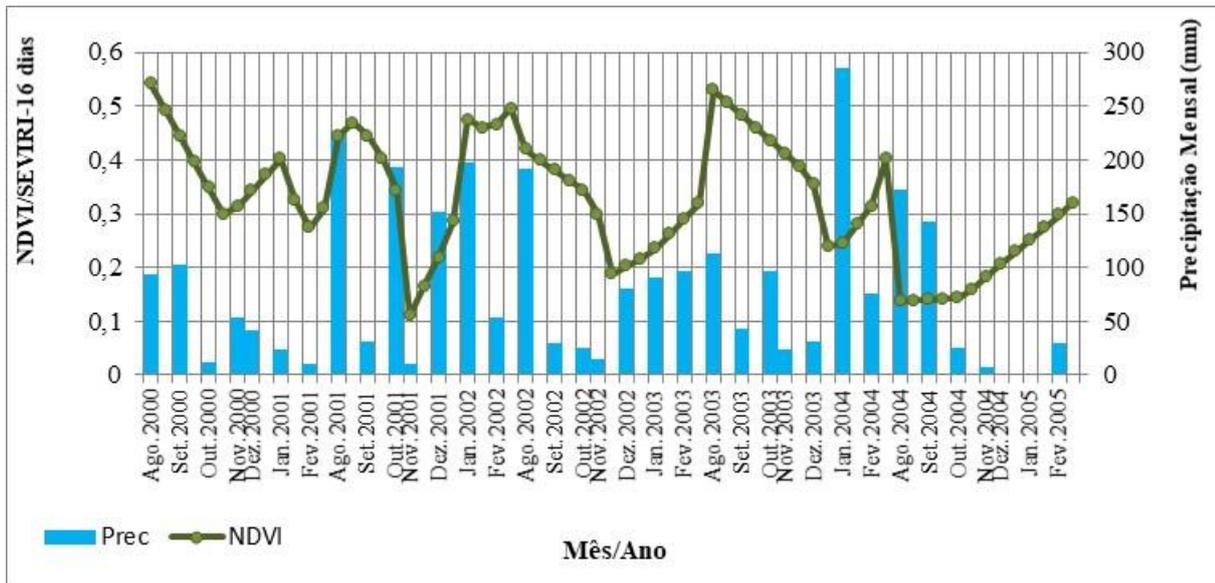


Figura 10 - Comportamento do NDVI está ligado à variação da precipitação mensal (mm) no município de Coruripe. Fonte: Própria, 2013.

A análise visual da figura 10 mostra as séries temporais do NDVI-16 dias do sensor SEVIRI e precipitação acumulada mensal da estação meteorológica da Usina Coruripe entre os meses de agosto e fevereiro para os anos de 2000 a 2005. Ao se analisar a evolução temporal do perfil do NDVI percebe-se que as variações interanuais do ciclo semi-anual devem estar, principalmente, relacionadas à época de diminuição na precipitação

e, por conseguinte no NDVI da Usina. A variabilidade interanual do ciclo semi-anual é relativamente irregular, sofrendo pequenas alterações em anos de El Niño, os dados do NDVI, portanto, apresentaram boa aderência no que tange a variabilidade da chuva, dentro da série temporal estudada.

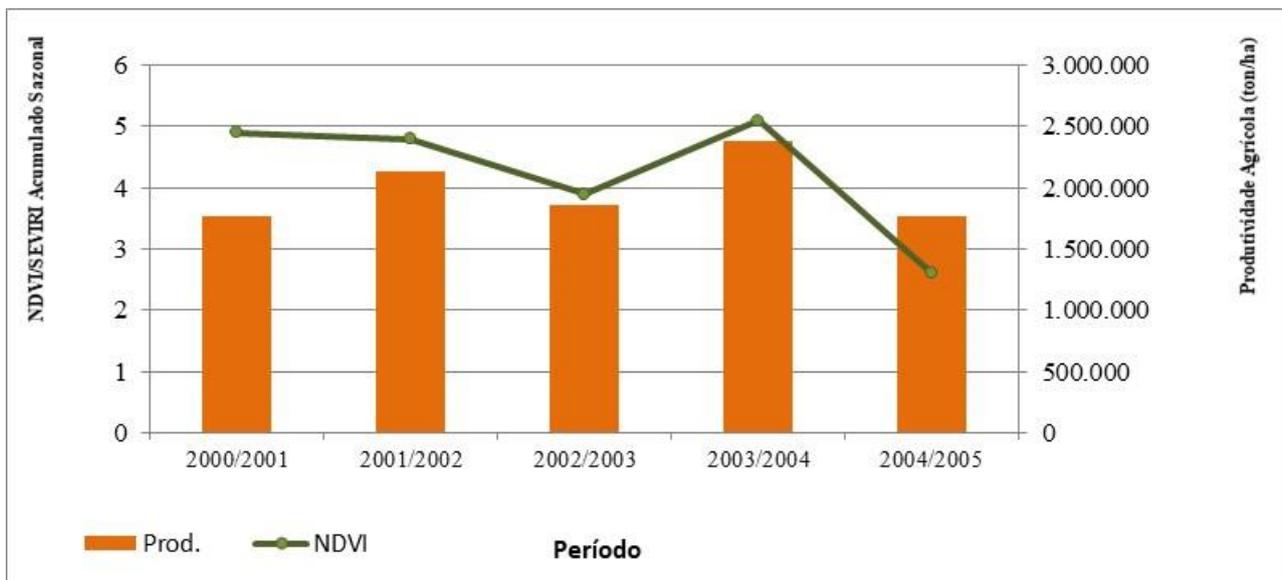


Figura 11 - Comportamento do NDVI acumulado sazonalmente e da produtividade agrícola (ton/ha) no município de Coruripe. Fonte: Própria, 2013.

A análise visual da figura 11 mostra as séries temporais da soma do ciclo semi-anual do NDVI-16 dias e produtividade agrícola (ton/ha) na Usina Coruripe. Comparando as cinco safras

avaliadas, observa-se uma grande similaridade para os dois perfis analisados. Em todas as safras, a soma do ciclo semi-anual do NDVI apresenta boa aderência no que tange a variabilidade anual da

produtividade agrícola. Na safra 2003/2004, pode ser visto que as séries temporais obtidas do NDVI e da produtividade agrícola apresenta os maiores valores. Esses resultados corroboram a hipótese de ligação do NDVI com a produtividade agrícola, os dois em conjunto permitem uma caracterização mais robusta do que utilizados individualmente. Nos locais em que a precipitação não é disponível o NDVI é o maior indicador disponível. Quando a precipitação é o principal fator limitante da produtividade agrícola, o NDVI acumulado é um bom indicador da produtividade agrícola.

Isso indica que o uso de sensoriamento remoto, especificamente os dados do sensor SEVIRI, em conjunto com dados meteorológicos, foi eficiente para o monitoramento da produtividade agrícola, dentro da série temporal estudada.

### Conclusões

O presente trabalho evidenciou a partir dos resultados preliminares (estudo de caso) a influência da variação interanual da precipitação na produtividade agrícola da cana-de-açúcar no litoral sul do Estado de Alagoas. Através das análises dos índices IOS, IME, fase do Dipolo do Atlântico, precipitação e NDVI, verifica-se que período intenso de La Niña tende a apresentar um aumento na produtividade agrícola nessa região.

Em síntese, a La Niña provoca aumento da precipitação, como é o caso de grande parte no litoral sul do Estado de Alagoas a produtividade agrícola apresenta um aumento significativo. A variabilidade anual da produtividade agrícola é modulada, em grande parte, pelo ENOS e Dipolo do Atlântico, dentro da série temporal estudada. Esses fenômenos podem agir conjuntamente para influenciarem na produtividade agrícola. Porém, as associações da fase negativa do Dipolo com o El Niño tendem a diminuir a produtividade. No entanto, toda a produtividade da agricultura é vulnerável aos condicionantes climáticos, principalmente, os fenômenos ligados as baixas precipitações.

Os dados de NDVI demonstram a potencialidade desta variável em caracterizar a produtividade agrícola na Usina Coruripe. Recomenda-se utilização de séries longas de produtividade agrícola, o que possibilitava uma análise mais direta da relação da produtividade com a variabilidade climática.

### Referências

Andrade, L.A. de B. Cultura da cana-de-açúcar.

In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). Produção de aguardente de cana-de-açúcar. 2.ed. rev. e amp. Lavras: UFLA, 2006. Cap.1, p.25-67.

Araújo, A. H. dos S. e Gomes, Fábio G. e Santos Filho, José Emílio dos. Composição financeira dos municípios alagoanos com ênfase na lei de responsabilidade fiscal 1999/2010. Revista Economia Política do Desenvolvimento (online), Maceió, v. 6, n. 17, p. 65-84, maio/ago. 2013. DOI: {HYPERLINK"\"https://doi.org/10.4000/confins.21096"} }

Barbosa, H.A. Sistema Eumetcast: Uma Abordagem Aplicada dos Satélites Meteosat de Segunda Geração. Maceió / AL, p. 195-201. EDUFAL, 2013.

Barbosa, H.; Tote, C.; Kumar, L.; Bamutaze, Y. Harnessing earth observation and satellite information for monitoring desertification, drought and agricultural activities in developing countries, environmental change and sustainability, Dr. Steven Silvern (Ed.), ISBN: 978-953-51-1094-1, InTech, DOI: 10.5772/55499.2013. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/environmental-change-and-sustainability/harnessing-earth-observation-and-satellite-information-for-monitoring-desertification-drought-and-ag>.

Batta, S.K. et al. Sucrose accumulation and maturity behaviour in sugarcane is related to invertase activities under subtropical conditions. Internacional Sugar Journal, v.104, p.10-13, 2002.

Brunini, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: Dinardomiranda, L.L.; Vasconcelos, A.C.M. de; Andrade L.M.G. de. Cana- de- açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 205-218,2008.

Campos, J.H.B. da C.; Silva, V. de P.R. da; Azevedo, P.V. de; Borges, C.J.R.; Soares, J.M.; Moura, M.S.B. de; Silva, B.B. da. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.2, p.150-156, 2008.

Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI ). Clima dos municípios paulistas. Disponível em: http://www.cpa.unicamp.br/portal/index.php. Acesso em: ago/2006.

Cirino, P.H.A. Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola brasileira. 2012. 76f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)

- Departamento de Economia Rural/ Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- CNA. Notícias CNA: Safra recorde de grãos e fibras garante crescimento de 7% da agropecuária em 2013. Disponível em < <http://www.canaldoprodutor.com.br/comunicacao/noticias/safra-recorde-de-graos-e-fibrasgarante-crescimento-de-7-da-agropecuaria-em-2013>>, Data de Acesso: 27 de março de 2014.
- Doorembos, J.; Kassam, A.H. Efectos ós água sobre ó rendimento de ós cultivos. Roma: FAO (FAO. Riego y Drenaje, 33), p. 212, 1979.
- Dnocs. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Acesso em: mar. 2013. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/>
- IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Previsão de Safra. Cana-de-açúcar. Disponível em: {HYPERLINK “https://www.sidra.ibge.gov.br/”\t”\_blank”}. Acesso em 09 Nov., 2013.
- Inman-Bamber, N.G.; Smith, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. The scientific basis. Houghton, J. T.; Ding, Y.; Nogua, M.; Griggs, D.; Linden, P. V.; Maskell, K. (eds.) Cambridge: University Press, 2001. 892p.
- Jacomine, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: Workshop-Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, 2001, Aracaju, SE. Anais... Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 19-46.
- Lay, J.A. & Aiello, J.L. Relaciones entre el MEI (Multivariate ENSO Index) y las precipitaciones en la Argentina continental. In: Congreso Latino Americano de Meteorología, 9. Congreso Argentino de Meteorología, 8. Clímet 9, Comet 8, Buenos Aires del 7 al 11 de Mayo, 2001. CD-ROM., 2001.
- LIMA, J.P.R. O setor sucro-alcooleiro do nordeste: Evolução recente e a reestruturação possível. In: Workshop sobre Avaliação e Manejo dos Recursos Naturais em área de Exploração da Cana-de-Açúcar, Aracaju. Palestras. Aracaju: Embrapa-CPATC, 1997. p.9-32., 1997.
- Maximiliano, S.S. Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos. 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível na biblioteca digital de teses e dissertações da USP: Acesso em dez/2004.
- Mello, M.P.; Vieira, C.A.; Aguiar, A.D.; Rudorf, B.F.T. Classificação da colheita da cana-de-açúcar por meio de imagens de satélites utilizando superfícies de resposta espectro-temporais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril., INPE, p.279-286., 2009.
- Mello, M.P.; Aguiar, D.A.; Rudorff, B.F.T.; Pebesma, E.; Jones, J.; Santos, N.C.P. Spatial statistic to asses remote sensing acreage estimates: an analysis of sugarcane in São Paulo State, Brazil. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013, Anais... IEEE International, 2013, p.4233-4236.
- Rocha, D.; Barbosa, H.; Silva, L. A gis approach using remote sensing derived products for quantification of sugar cane productivity in Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física, América do Sul*, 424 09., 2013.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D. W. “Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS”, *Proceedings, Thrid Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017.*, 1974.
- Silva, V. de P.R. da; Guedes, M.J.F.; Lima, W.F.A.; Campos, J.H.B.C. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.83-87, 2002.
- Souza, J.L.; Moura Filho, G.; Lyra, R.F.F.; Teodoro, I.; Santos, E.A.; Silva, J.L.; Silva, P. R.T.; Cardim, A.H.; Amorin, E.C. Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001. *Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria*, v. 12, n. 1, p. 131-141, 2004.
- Site: [https://www.google.com.br/search?q=usina+coruripe&bav=on.2,or.r\\_qf.&bvm=bv.47883778,d.dmg&biw=1366&bih=562&wrapid=tlif137155795445010&um=1&ie=UTF8&hl=en&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=ZVDAUfDbEeI0QGTgYGADg#um=1&hl=en&tbm=isch&sa=1&q=imagem+usina+coruripe&oq=imagem+usina+coruripe&gs\\_l=img.3...69782.70367.2.70761.6.6.0.0.2.322.1041.0j5j0j1.6.0..0.0...1c.1.17.img.Cqs6zbNtOuw&bav=on.2,or.r\\_r\\_qf.&bvm=bv.47883778,d.dmg&fp=b0559754c481341b&biw=1366&bih=562&facrc=\\_&imgrc=cW09TrdYwKY63M%3A%3BEMGWwQThrIcvZM%3Bhttp%252A%252F%252F2.bp.blogspot.com%252F1qnSrdk4ike%252FUD8P1aZgWI%252FAAAAAAAAKR8%252FMJ5iIH1yAow%252Fs1600%252FUSINA%252BCORURIFE%252B\(3\).jpg%3Bhttp%252A%252F](https://www.google.com.br/search?q=usina+coruripe&bav=on.2,or.r_qf.&bvm=bv.47883778,d.dmg&biw=1366&bih=562&wrapid=tlif137155795445010&um=1&ie=UTF8&hl=en&tbm=isch&source=og&sa=N&tab=wi&ei=ZVDAUfDbEeI0QGTgYGADg#um=1&hl=en&tbm=isch&sa=1&q=imagem+usina+coruripe&oq=imagem+usina+coruripe&gs_l=img.3...69782.70367.2.70761.6.6.0.0.2.322.1041.0j5j0j1.6.0..0.0...1c.1.17.img.Cqs6zbNtOuw&bav=on.2,or.r_r_qf.&bvm=bv.47883778,d.dmg&fp=b0559754c481341b&biw=1366&bih=562&facrc=_&imgrc=cW09TrdYwKY63M%3A%3BEMGWwQThrIcvZM%3Bhttp%252A%252F%252F2.bp.blogspot.com%252F1qnSrdk4ike%252FUD8P1aZgWI%252FAAAAAAAAKR8%252FMJ5iIH1yAow%252Fs1600%252FUSINA%252BCORURIFE%252B(3).jpg%3Bhttp%252A%252F)

252F%252Fjdacidade.blogspot.com%252F%3B800%3B726.

Toledo Filho, M.R. Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana de açúcar em Alagoas. Tese (doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 168p., 2001.

UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. [http://www.unica.com.br/pages/cana\\_origem.asp](http://www.unica.com.br/pages/cana_origem.asp). 15 Fev. 2004.

UNICA. (2013). A sustentabilidade no setor sucroenergético energético. Retrieved JANEIRO 28, 2013, from {HYPERLINK”https://www.unica.com.br/sustentabilidade.php”}

UNICA Setor sucroenergético no Brasil uma visão para 2030. Outubro de 2016. Publicado no DOU, com prazo entre 15/02/2017 a 20/03/2017. Assunto: Consulta Pública dos Objetivos, valores e diretrizes do programa RenovaBio. União das Indústrias de cana-de-açúcar (UNICA), [http://www.mme.gov.br/web/guest/consultaspublicas?p\\_p\\_id=consultapublicaexterna\\_WAR\\_consultapublicaportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column1&p\\_p\\_col\\_count=1&\\_consultapublicaexterna\\_WAR\\_consultapublicaportlet\\_consultaId=26&\\_consultapublicaexterna\\_WAR\\_consultapublicaportlet\\_mvcPath=%2Fhtml%2Fpublico%2FdadosConsultaPublica.jsp](http://www.mme.gov.br/web/guest/consultaspublicas?p_p_id=consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_consultaId=26&_consultapublicaexterna_WAR_consultapublicaportlet_mvcPath=%2Fhtml%2Fpublico%2FdadosConsultaPublica.jsp) Acesso em: 20 de nov 2017.