ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA NA PRODUÇÃO CANAVIEIRA NA MICRORREGIÃO DE SÃO CARLOS/SP NO PERÍODO DE 1994 A 2014

SANCHES, Rafael Grecco – rafagsanches@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

SANTOS, Bruno César dos – bruno-unifal@hotmail.com
Universidade de São Paulo / USP

NEVES, Gustavo Zen de Figueiredo – gustavozen@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

SILVA, Maurício Sanches Duarte – msan80@gmail.com
Universidade de São Paulo / USP

SOUZA, Paulo Henrique de – phsouza31@hotmail.com
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL

TECH, Adriano Rogério Bruno – adriano.tech@usp.br
Universidade de São Paulo / USP

RESUMO: A produção agrícola é influenciada direta e recorrentemente pela sazonalidade dos climas. Dentre os cultivos agrícolas influenciados por esse tipo de conjuntura, destaca-se, no Brasil, a cana-de-açúcar cultivada em terras paulistas, pois, as características genéticas do clima Tropical, manifestam estações sazonais distintas, com base na variabilidade da precipitação e temperatura. O presente estudo ocupou-se com a análise dos efeitos climáticos na produção de cana-de-açúcar na microrregião de São Carlos. Para tanto, foram selecionadas três estações climatológicas inseridas na região com uma série temporal entre 1994-2014, a fim de serem analisados em conjunto com os registros da produção agrícola do IBGE (SIDRA/IBGE) no mesmo período. Em seguida a escolha da área e obtenção dos dados, realizou-se a classificação climática de anos-padrão, e a análise dos dados climáticos junto ao script RClimdex. Como resultados, observou-se que o aumento da área plantada é o principal fator de expansão da safra colhida. Em períodos recorrentes de "anos secos" manifesta-se uma retração produtiva significativa (toneladas). Os índices climáticos calculados pelo RClimdex apontaram para a mesma correlação, com destaque para os dias consecutivos secos e úmidos (DCS/DCU), bem como o RX5 dias, que expressam as descontinuidades das chuvas quando associado à produção agrícola. Ressalta-se a importância do planejamento agroclimático para o tempo de recorrência de longos períodos de estiagem e seus efeitos na produção agrícola.

Palavras-chave: Agricultura. Agroclimatologia. Agrometeorologia. Economia agrícola. Cana-de-açúcar.

INFLUENCE OF CLIMATE VARIABILITY IN CANAVIEIRA PRODUCTION IN THE MICROREGION OF SÃO CARLOS / SP IN THE PERIOD 1994 TO 2014.

ABSTRACT: The agricultural production is influenced directly and recurrently by the seasonality of the climates. Among the agricultural crops influenced by this type of conjuncture, in Brazil sugarcane is cultivated in the state of São Paulo, as the genetic characteristics of the Tropical climate show distinct seasonal seasons, based on the variability of precipitation and temperature. The present study dealt with the analysis of climatic effects on sugarcane production in the São Carlos microregion. For this purpose, three climatological stations were selected in the region with a time series between 1994

and 2014, in order to be analyzed together with the records of agricultural production of IBGE (SIDRA / IBGE) in the same period. After the selection of the area and obtaining the data, the climatic classification of standard years was carried out, and the climatic data analysis was done with the RClimdex script. As results, it was observed that the increase of the planted area is the main factor of expansion of the crop harvested. In recurrent periods of "dry years" there is a significant productive decrease (tons). The climatic indexes calculated by the RClimdex showed the same correlation, with emphasis on the consecutive dry and humid days (DCS / DCU), as well as the RX5 days, which express rainfall discontinuities when associated with agricultural production. It is important to emphasize the importance of agroclimatic planning for the time of recurrence of long periods of drought and its effects on agricultural production.

Keywords: Agriculture. Agroclimatology. Agrometeorology. Agricultural economy. Sugar cane

INFLUENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN CANAVIEIRA EN LA MICRORREGIÓN DE SAN CARLOS / SP EN EL PERÍODO DE 1994 A 2014.

RESUMEN: La producción agrícola es influenciada directa y recurrentemente por la estacionalidad de los climas. Entre los cultivos agrícolas influenciados por este tipo de coyuntura, se destaca, en Brasil, la caña de azúcar cultivada en tierras paulistas, pues, las características genéticas del clima Tropical, manifiestan estaciones estacionales distintas, con base en la variabilidad de la precipitación y temperatura. El presente estudio se ocupó del análisis de los efectos climáticos en la producción de caña de azúcar en la microrregión de San Carlos. Para ello, se seleccionaron tres estaciones climatológicas insertadas en la región con una serie temporal entre 1994-2014, a fin de ser analizadas en conjunto con los registros de la producción agrícola del IBGE (SIDRA / IBGE) en el mismo período. A continuación la elección del área y obtención de los datos, se realizó la clasificación climática de años estándar, y el análisis de los datos climáticos junto al script RClimdex. Como resultados, se observó que el aumento del área plantada es el principal factor de expansión de la cosecha cosechada. En períodos recurrentes de "años secos" se manifiesta una retracción productiva significativa (toneladas). Los índices climáticos calculados por el RClimdex apuntaron a la misma correlación, con destaque para los días consecutivos secos y húmedos (DCS / DCU), así como el RX5 días, que expresan las discontinuidades de las lluvias cuando asociado a la producción agrícola. Se resalta la importancia de la planificación agroclimática para el tiempo de recurrencia de largos períodos de sequía y sus efectos en la producción agrícola.

Palabras Clave: Agricultura. Agroclimatología. Agrometeorología. Economía agrícola. Caña de azúcar.

INFLUENCE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE DE LA PRODUCTION DE CANAVIEIRA DANS LE MICROREGION DE SÃO CARLOS / SP DE 1994 À 2014.

RÉSUMÉ: La production agricole est influencée directement et de manière récurrente par la saisonnalité des climats. Parmi les cultures agricoles influencées par ce type de conjoncture, au Brésil, la canne à sucre est cultivée dans l'État de São Paulo, car les caractéristiques génétiques du climat tropical présentent des saisons saisonnières distinctes, fondées sur la variabilité des précipitations et des précipitations. température. La présente étude a porté sur l'analyse des effets climatiques sur la production de canne à sucre dans la microrégion de São Carlos. A cet effet, trois stations climatologiques ont été sélectionnées dans la région avec une série temporelle entre 1994 et 2014, afin d'être analysées avec les enregistrements de la production agricole de l'IBGE (SIDRA / IBGE) dans la même période. Après la sélection de la zone et l'obtention des données, la classification climatique des années standard a été réalisée, et l'analyse des données climatiques a été faite avec le script RClimdex. Comme résultats, il a été observé que l'augmentation de la superficie plantée est le principal facteur d'expansion de la récolte récoltée. Dans les périodes récurrentes d ' "années sèches", il y a une diminution significative de la productivité (en tonnes). Les indices climatiques calculés par le RClimdex ont montré la même corrélation, en mettant l'accent sur les jours secs et

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

humides consécutifs (DCS / DCU), ainsi que sur les jours RX5, qui expriment des discontinuités de précipitations associées à la production agricole. Il est important de souligner l'importance de la planification agroclimatique pour le moment de la récurrence de longues périodes de sécheresse et de ses effets sur la production agricole.

Mots-clés: Agriculture. Agroclimatologie Agrométéorologie. Économie agricole Canne à sucre

INTRODUÇÃO

A tolerância das espécies vegetais ao estresse hídrico pode variar em função de seus aspectos estruturais ou, até mesmo, das intervenções antrópicas promovidas pelo uso de biotecnologia. A necessidade de estudos que associem a agricultura e clima (mudanças climáticas), bem como os múltiplos fatores que causam estresse no ambiente tropical, se fazem necessários para a compreensão e a gestão nessas áreas (TANIWAKI et al., 2017).

De acordo com a Embrapa (2012), o estresse hídrico constitui-se numa ameaça à segurança alimentar, pois pode comprometer a produção agrícola e o desempenho da lavoura; por isso, o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a seca e o emprego de tecnologias que auxiliem as plantas na superação da diminuição que ocorre na oferta de água ao longo dos veranicos e períodos prolongados de estiagem, respondem pelo desafio da agricultura em qualquer porção do planeta.

Ressalta-se, ainda, que os sistemas frontogenéticos, a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), entre outros mecanismos atmosféricos, expressa alguns dos principais elementos associados às chuvas na região, e que se correlacionam por meio das teleconexões ou interação Oceano-Atmosfera-Continente (CARVALHO, 2004; KAYANO e CAPISTRANO, 2014).

De acordo com Battisti et al., (2017), as alterações climáticas ao longo do tempo, podem ocasionar momentos de déficit hídrico devido a períodos prolongados na redução das chuvas e, assim, expressando um aspecto negativo quanto à tolerância dos organismos vegetais e na gestão de adaptação dos cultivares, na minimização de perdas da sua produtividade.

Os impactos do clima na agricultura são observados, também, na sanidade dos organismos vegetais quanto à suscetibilidade de doenças, sendo os estudos da adaptação climática dos cultivares de grande valia para as estratégias produtivas (SENTELHAS et al., 2016; VELASCO e PIMENTEL, 2010).

De acordo com IBGE (2015), as atividades agrícolas somam quase 10% do volume de PIB (Produto Interno Bruto) do país, conferindo ao Brasil destaque na produção de commodities como o milho, a soja, a laranja e a cana-de-açúcar dentre outras, auxiliando a economia graças aos recursos externos que proporcionam.

Segundo a ÚNICA (União da Indústria de Cana-de-açúcar) o setor sucroenergético destacou-se como o terceiro maior segmento na pauta de exportação do agronegócio do Brasil no ano de 2014 com aproximadamente US$ 10 bilhões em volume de exportação de açúcar e álcool, sendo que o valor bruto movimentado pelo setor superou US$ 100 bilhões, com um PIB de aproximadamente de US$ 43 bilhões que equivale a cerca de 2% do PIB brasileiro.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

O Brasil possui a maior produção de cana-de-açúcar do planeta com um volume da ordem de 630 milhões de toneladas processadas em 2014/2015, sendo a região Centro-Sul (Figura 1) a que obtém maior destaque respondendo por 90% de toda produção nacional.

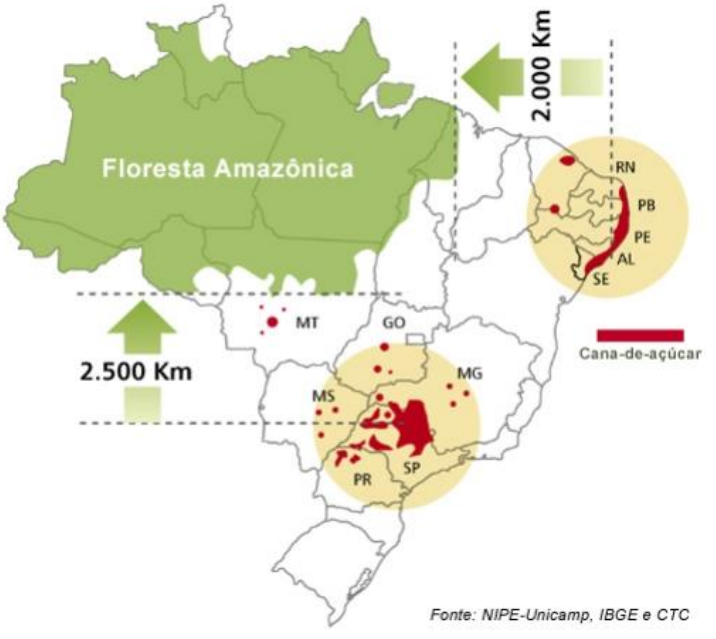


Figura 1 - Mapa da produção de cana-de-açúcar no Brasil Fonte: NIPE-Unicamp; IBGE; CTC, 2017.

Na região Centro-Sul, o Estado de São Paulo possui a maior participação na produção de cana-de-açúcar, como observado no Figura 2.

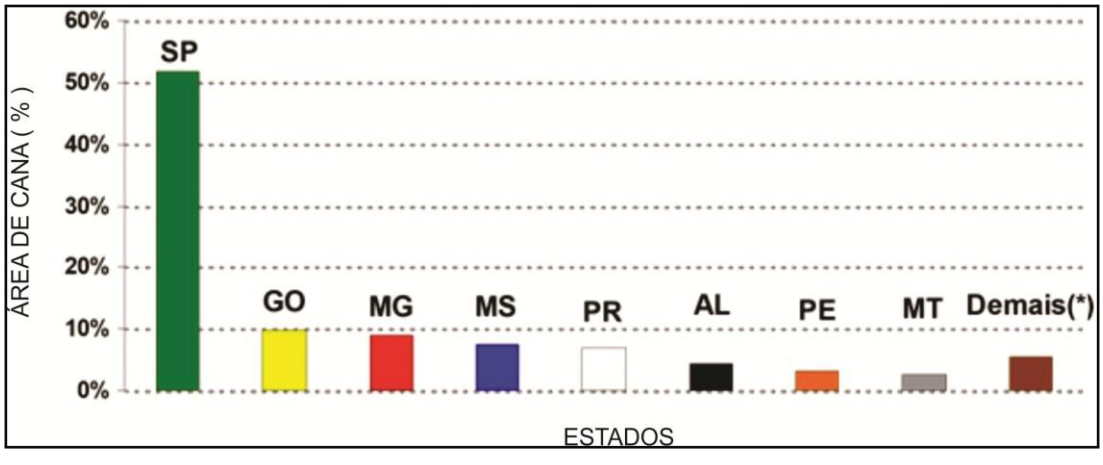


Figura 2 - Percentual de área de cana-de-açúcar nos principais Estados produtores. Fonte: Brasil, 2015.

Diversos trabalhos analisam a produção do setor agrícola relacionando-a ao clima e suas alterações temporais - sazonalidade (BRAIDO e TOMMASELLI, 2010; SILVA et al., 2008). No entanto, o impacto sofrido com os períodos de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

estiagem prolongada ou com a baixa precipitação de seu período mais úmido, não foi estudado na microrregião de São Carlos/SP, uma das áreas que se destacam na produção de cana-de-açúcar.

Nessa região, a produção de cana-de-açúcar é a cultura agrícola mais expressiva do setor primário em área plantada e produção, com a constatação de que continua em crescimento, como destacado nos Figuras 3 e 4.

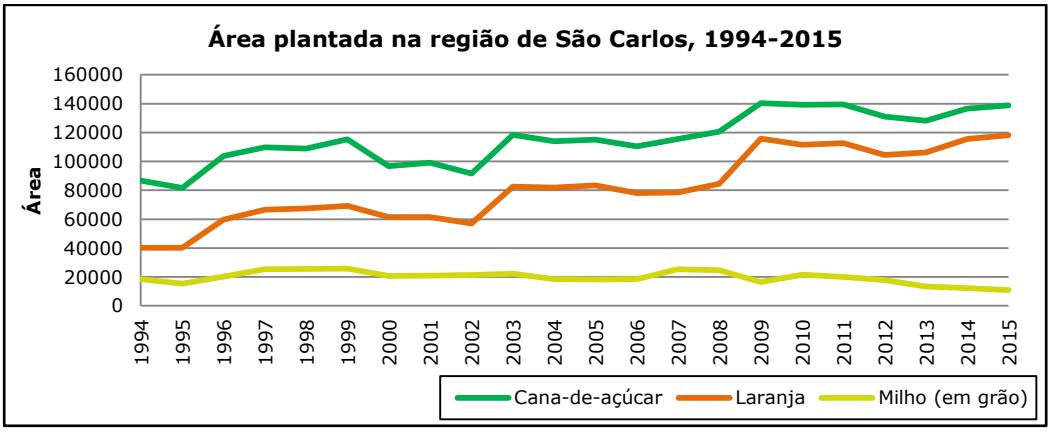


Figura 3 - Área total plantada, por cultura agrícola, na microrregião de São Carlos/SP. Fonte: Adaptado de SIDRA/IBGE, 2015.

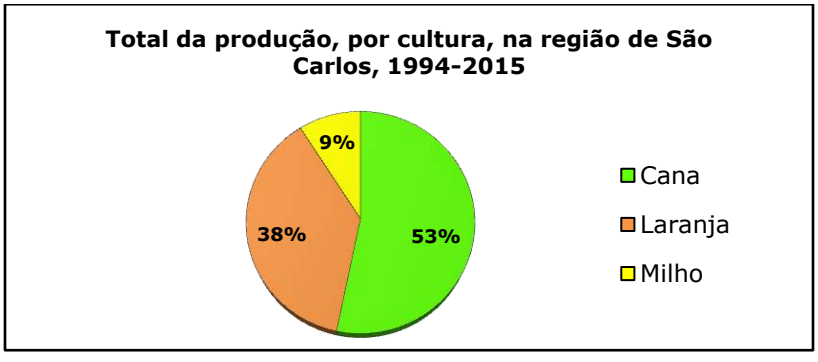


Figura 4 - Participação (%) das culturas agrícolas na microrregião de São Carlos/SP. Fonte: Adaptado de SIDRA/IBGE, 2015.

Assim, atentando para a magnitude do setor sucroenergético na microrregião de São Carlos/SP, na dependência que existe das atividades agropecuárias frente à circulação atmosférica, e, nos dados de precipitação para o período de 1994 a 2014 na referida área, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar os efeitos do comportamento climático regional e seus impactos na cultura agrícola da cana-de-açúcar.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A microrregião de São Carlos agrega os municípios de Descalvado, Ibaté, Ribeirão Bonito, Dourado, Analândia e São Carlos (Figura 5). Apresenta, aproximadamente, 335.000 habitantes dispostos em uma área de, aproximadamente, 3.190 km², e se localiza na porção centro norte do estado de São Paulo (IBGE, 2015).

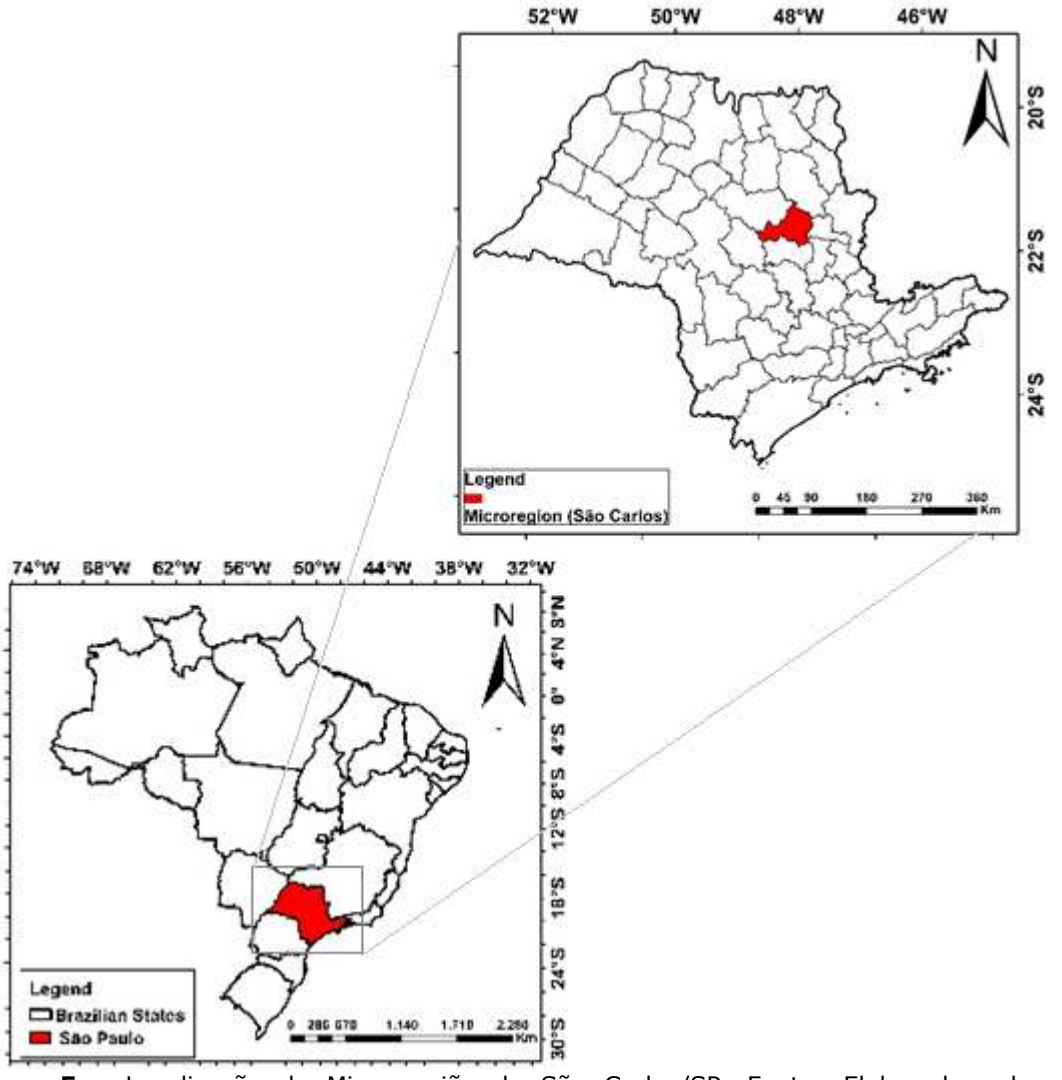


Figura 5 - Localização da Microrregião de São Carlos/SP. Fonte: Elaborado pelos autores.

Para a obtenção dos dados e consequente análise pluviométrica, foram analisadas três estações climatológicas (Tabela 1). A primeira está localizada no município de São Carlos/SP, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) em parceria com a UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), a segunda, localizada na EMBRAPA/Pecuária Sudeste, e a terceira estação climatológica, que se localiza no município de Itirapina, no CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais) que pertence a EESC/USP (Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo), conforme a Figura 6.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 1 - Estações climatológicas utilizadas no estudo

Estação	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)	Funcionamento
CRHEA/USP	737	22º10'12"	47º53'55"	1972 - presente
INMET/UFSCar	856	21º58'48"	47º53'2"	1939 - presente
EMBRAPA/ Pecuária Sudeste	850	21º9'	47º8'	1992 - presente

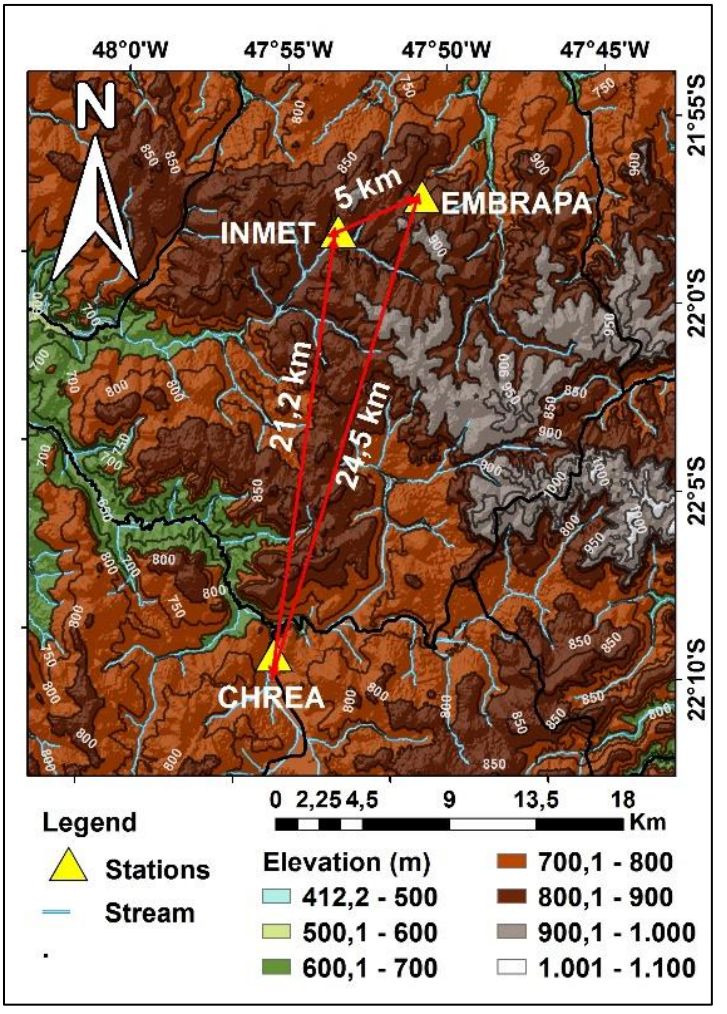


Figura 6- Localização das estacoes climatológicas. Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo Tolentino (1967), São Carlos se insere em uma área planáltica pertencente à borda da linha cuestiforme arenítica da Serra Geral, destacando suas relações com a ação das massas de ar e chuvas orográficas, além de fenômenos frontogenéticos que contribuem para sua dinâmica geográfica.

O mesmo autor (1967) afirma ainda, que o clima da região de São Carlos/SP apresenta diferentes análises genéticas, fazendo com que seja

classificado de duas formas próximas conforme as proposições dessa natureza feitas por Köepen, Thornthwaite e Serebrenick:

> A) Classificação de Köeppen: tipo Cwa.i – Awi, que é considerado quente de inverno seco, com transição para clima tropical com verão úmido e inverno seco e com uma amplitude de 5° C entre verão e inverno;
>
> B) Classificação de Thornthwaite: tipo BB´w, que é definido como úmido mesotermal com deficiência de umidade no inverno;
>
> C) Classificação de Serebrenick: tipo TUV°, considerado tropical úmido com verão chuvoso e chuvas abundantes na primavera, sendo provável como transitório para o temperado úmido.

Tais classificações contribuem para a compreensão de uma realidade climática norteada por temperaturas elevadas alternadas por temperaturas amenas no período de Junho, Julho e Agosto, com precipitação concentrada nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Segundo a abordagem da climatologia clássica (e separativa), são manifestas duas estações facilmente observáveis; uma úmida e quente que ocorre entre os meses de Outubro a Março (ano hidrológico, com chuvas mais concentradas no primeiro trimestre) e outra seca e amena com ocorrência entre os meses de Abril e Setembro.

O compartimento recortado da microrregião de São Carlos para estudo, apresenta altitudes que variam de 800 a 1000m com trimestre mais chuvoso situado entre os meses de Dezembro e Fevereiro com uma variabilidade pluviométrica anual situada entre 1.500 e 1.800 mm.

Os dados de produção agrícola foram obtidos junto ao SIDRA/IBGE (Sistema IBGE de Recuperação Automática), que consiste em um banco de dados constituído de tabelas contendo dados agregados às pesquisas realizadas pelo IBGE e em diferentes escalas (municipal, estadual, regional, federal, etc.).

Os dados são referentes à microrregião de São Carlos e expressam a produção agrícola, a área plantada e a evolução da produtividade de diferentes culturas presentes na mesma. Foi selecionado nesse estudo o período de 1994-2015 (referente aos últimos dados de safra contabilizados).

MATERIAIS E MÉTODOS

CLASSIFICAÇÃO DE ANOS-PADRÕES

Para a classificação de anos padrões, buscou-se identificar os anos que se mostraram fora dos padrões, ou seja, os diferentes valores de precipitação que apresentaram desvios próximos da habitualidade ao lado daqueles afetados por irregularidades e manifestações atmosféricas, apresentando desvios padronizados pluviométricos mais distantes em relação às médias, caracterizando-se como anos “chuvosos” ou “secos”, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação de anos padrões

Metodologia "Anos Padrões"		
Classificação	**Padrões Pluviométricos**	**Desvio (+) ou (-) em %**
Anos Secos	Extremamente Seco (S)	**< 30%**
	Tendente a seco (TS)	**15 – 30 %**
Anos Normais	Normal levemente tendente a seco (NS)	**5 – 15%**
	Normal (N)	**0 – 5%**
	Normal levemente tendente a chuvoso (NC)	**5 – 15%**
Anos Chuvosos	Tendente a chuvoso (TC)	**15 – 30%**
	Extremamente chuvoso (C)	**> 30%**

Fonte: Adaptado de Sant´anna Neto (1995). Elaboração: Os autores.

Ressalta-se que tal metodologia não discute pontualmente ocorrências que se manifestam em períodos curtos (diários), recobrando, por conseguinte, uma atenção maior do pesquisador no cuidado de eventos que por vezes possam ser mais significativos que a média mensal avaliada.

RCLIMDEX E ÍNDICES CLIMÁTICOS

Buscou-se por meio dos índices calculados, compreender o comportamento pluviométrico das chuvas a partir do máximo acumulado em um único dia, a intensidade pluviométrica diária, eventos extremos de precipitação, dias consecutivos secos, dias consecutivos úmidos e a precipitação anual nos dias para a série histórica em estudo.

Os índices foram analisados a partir da construção de gráficos com suas respectivas variáveis. Adotou-se, para cada um dos índices, o valor médio de toda a série histórica para comparação entre períodos acima ou abaixo do mesmo em meio às flutuações interanuais dos dados. Os índices calculados e utilizados para as chuvas diárias foram: A) RX 5 dias; B) SDII; C) DCU; D) DCS; E) PRCPOT, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos índices climáticos utilizados no estudo

Índices	Nome dos índices	Definição dos índices	Unidades
RX 5 dias	Máximo de chuva acumulada em 5 dias	Máximo de chuva acumulada em cinco dias consecutivos	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Total anual de chuvas acumulado dividido pelo número de dias úmidos (quando o dia esteve >= 1.0mm) no ano	mm/dia
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias em que as chuvas >= 1 mm	dias
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias em que as chuvas < 1 mm	dias
PRCPTOT	Total de chuvas acumuladas em um ano	Valor total anual de chuvas acumuladas nos dias úmidos (dias >= 1 mm)	mm

Fonte: Adaptado de Zhang e Yang (2004)

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Os índices se baseiam na metodologia de Zhang e Yang (2004) e Haylock (2006), e foram calculados no ambiente RClimdex. A fim de estabelecer o controle de qualidade para o cálculo dos índices, foram utilizados os procedimentos para o controle de qualidade dos dados, conforme Santos (2010) e que corresponde a substituição de todos os dados faltosos (nesse, codificados como -99.9) em uma formatação reconhecida pelo programa R e, dessa forma, substituindo todos os valores não aceitáveis por -99.9.

Estes valores incluem as quantidades de precipitação diárias menores que zero e, as estações climatológicas utilizadas, onde foram apresentadas falhas de dados em alguns dos anos em estudo, sendo mais crítico o caso da estação INMET/UFSCar, onde os dados faltosos no ano de 1999 superaram 5%, enquanto as estações CRHEA/EESC/USP e EMBRAPA não apresentaram falhas significativas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entretanto, vale ressaltar que os indicativos de aumento na produção também se dão pelo aumento direto da área plantada, ou seja, o que de fato influi no aumento da capacidade produtiva (em toneladas), é a produção total agregada pelas áreas expandidas de cultivo em terras ociosas, ou, até mesmo, pela substituição de outros tipos de culturas, como o milho e a laranja.

Foi inserido o valor total da produção de cana-de-açúcar para compreensão da influência que sofre com as alterações no padrão atmosférico. Pode-se observar a ocorrência de um relativo adiamento produtivo na lavoura que pode estar associado à pluviosidade, sobretudo nos períodos de 1994-1995, 2000-2002 e 2006-2008, uma vez que, mesmo com o aumento da área plantada, a produção não sofreu alteração positiva, apresentando, inclusive, leve redução quantitativa (Figura 7).

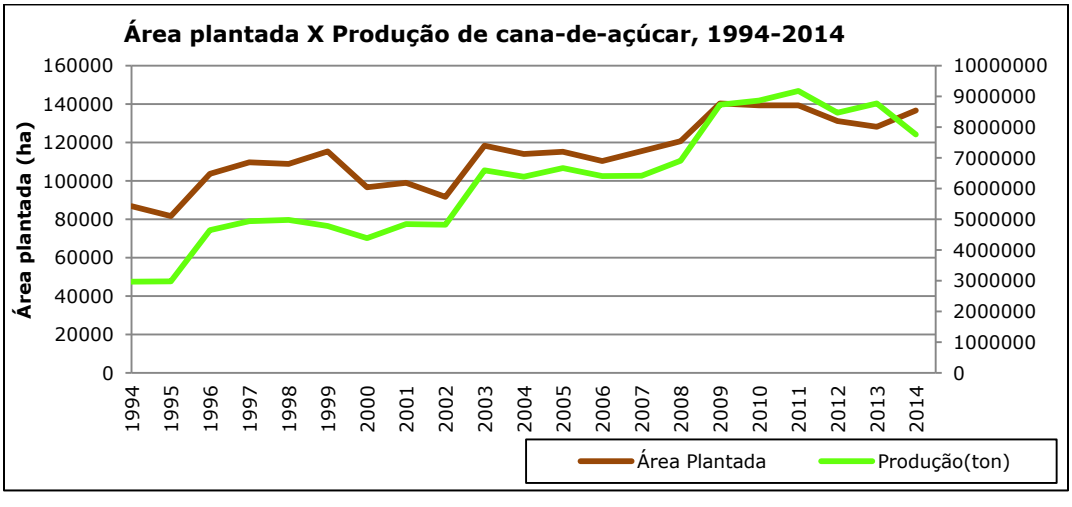


Figura 7- Área total plantada e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

Contudo, a observação de algumas variáveis climatológicas (temperatura, precipitação, radiação, etc) se mostraram importantes para o

planejamento agrícola, estimulando a avaliação de sua influência sobre as últimas safras analisadas do período 1994-2014.

CLASSIFICAÇÃO DOS SEMESTRES CHUVOSOS (OUTUBRO A MARÇO) ENTRE 1993-94 A 2013-14.

Essa classificação evidencia os anos que apresentaram valores extremos (positivos e negativos) da precipitação média obtida nos dados coletados em cada estação. A média do período chuvoso considerado nesse estudo a partir das três estações consultadas é de aproximadamente de 1.177 mm em função da ocorrência de anos-padrões, de chuvosos a secos (Tabela 4).

Tabela 4 - Ocorrência das classes de "Anos Padrão" na série histórica considerada.

CLASSES	CREHA	INMET	EMBRAPA	Porcentagem	Ordem de frequência
C	2x	-	-	**3,17%**	**6º**
TC	2x	4x	3x	**14,28%**	**4º**
NTC	4x	3x	5x	**19,04%**	**3º**
N	3x	7x	7x	**26,98%**	**1º**
NTS	7x	4x	3x	**22,22%**	**2º**
TS	3x	2x	2x	**11,11%**	**5º**
S	-	1x	1x	**3,17%**	**6º**
TOTAL	**63 Classificações**			**100%**	

Elaboração: Os autores.

Após a aplicação da metodologia observa-se que em alguns anos a precipitação apresentou desvio positivo em relação à média, ou seja, manifestou índices acima da média da série histórica consideradas. Este foi o caso dos semestres hidrológicos de 1994-95, 1998-99, 2001-02, 2009-10 e 2010-11. Não obstante ao impacto que tal excedente possa ter ocasionado no desempenho da lavoura canavieira, verifica-se com base nos dados coletados de produção que nos períodos de 1994-95 e 2001-02 o volume da safra colhida está diretamente relacionada à área plantada. Por seu turno, no ano de 1998-99 o ritmo de produção manteve-se inalterado, não apresentando nenhum pico de aumento ou redução. Já nos anos de 2009-10 e 2010-11 a área plantada se manteve a mesma, mas os valores da produção tiveram um ligeiro crescimento, principalmente no ano de 2010-11, sinalizando uma possível interferência do comportamento atmosférico sobre a produtividade das plantas.

Além dos anos positivos, foram identificados anos com valores negativos de precipitação em relação ao valor médio da série histórica, este foi o caso dos semestres hidrológicos de 1993-94, 2007-08, 2008-09 e 2013-14. Nesse perfil apenas no período 2013-14 observou-se uma queda no valor da produção canavieira não obstante à expansão de área plantada. Esta redução na produção de 2013-14 está associada à reduzida precipitação durante o período chuvoso,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

principalmente nos meses referente ao verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) que apresentaram valores extremamente abaixo da média (Figura 8).

Segundo Coelho et al. (2016), o estabelecimento excepcional de um sistema de alta pressão, no caso a ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul), ao oeste do oceano Atlântico subtropical gerou um quadro de déficit hídrico em 2014, devido ao seu bloqueio atmosférico. Isso impediu a entrada do fluxo de umidade da Amazônia, dos sistemas frontais e, assim, desfavorecendo a configuração de eventos de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) e, consequentemente, reduzindo o volume pluviométrico para a região Sudeste do Brasil.

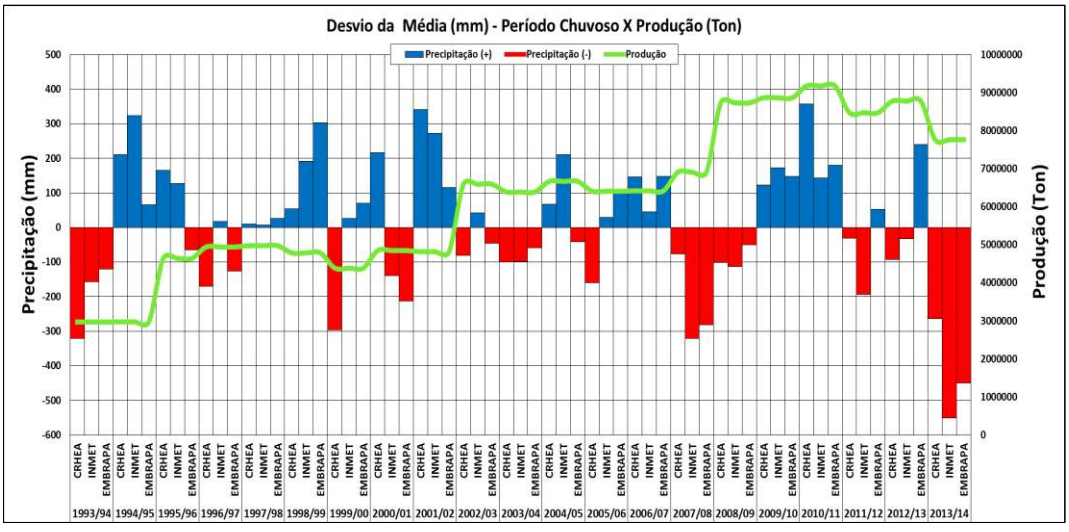


Figura 8 - Desvios de precipitação e produção de cana-de-açúcar (ton) no período de 1994-2015. Elaboração: Os autores.

Nos anos 2000, notou-se a expansão da produção (toneladas), que se justifica a partir da ampliação da área produzida (hectares), conforme apontado anteriormente. Contudo, as oscilações interanuais se dão, também, em função da flutuação pluviométrica.

As chuvas do verão de 2013-14 não foram suficientes para gerar um quadro hídrico positivo para o processo de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, prejudicando significativamente o desempenho das plantas e a produtividade da lavoura.

Para Gouvêa (2008, p. 20) "a disponibilidade de água para a cana-de-açúcar é o principal fator climático causador da variabilidade da produtividade. Entretanto, devido às variações locais de clima e de variedades, é complexo estabelecer uma relação entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar".

A necessidade hídrica anual que a planta necessita para o seu desenvolvimento máximo, é em torno de 1.300mm a 1.500mm, principalmente nos meses iniciais (Janeiro a Março) do ano que respondem pelo momento onde as condições desejadas e ideais para o plantio devem ocorrer para garantir o seu desenvolvimento (MARTINS E OLIVETTE, 2015).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Nesse sentido, a estiagem verificada no ano de 2014 foi o fator climático que provavelmente constituiu o condicionante para a redução na produtividade da cana-de-açúcar para a microrregião de São Carlos, pois, no caso do semestre hidrológico de 2013-14 é importante ressaltar sua condição diferenciada que o situa exclusivamente na classe "Seco" com valores extremamente abaixo da média. Aliás, seus índices acusam um comportamento atípico do esperado.

A observação de alguns índices climáticos se mostrou também importante para o planejamento agrícola, demandando sua avaliação frente ao desempenho das safras obtidas no período 1994-2014. Para tanto, foi feita a análise dos índices de chuvas calculados no script RClimdex associando-os à produção da cana-de-açúcar na microrregião de São Carlos.

PRECIPITAÇÃO TOTAL (PRCPTOT)

Esse índice expressa o total pluviométrico anual nas três estações selecionadas. Nesse, pode-se observar que o valor médio das chuvas anuais é de, aproximadamente, 1.460mm. Esses valores são utilizados como base para o entendimento de períodos chuvosos, secos ou normais.

A partir das Figuras 8 e 9, observou-se que no período de 2010-2014, mesmo com o aumento da área plantada, a produção se manteve estável, ou foi reduzida. Nesse período, notou-se a maior escassez hídrica causada pela redução quantitativa das chuvas anuais, o que certamente interferiu no aumento do estresse hídrico e, neste caso, ocasionou a redução da produtividade canavieira

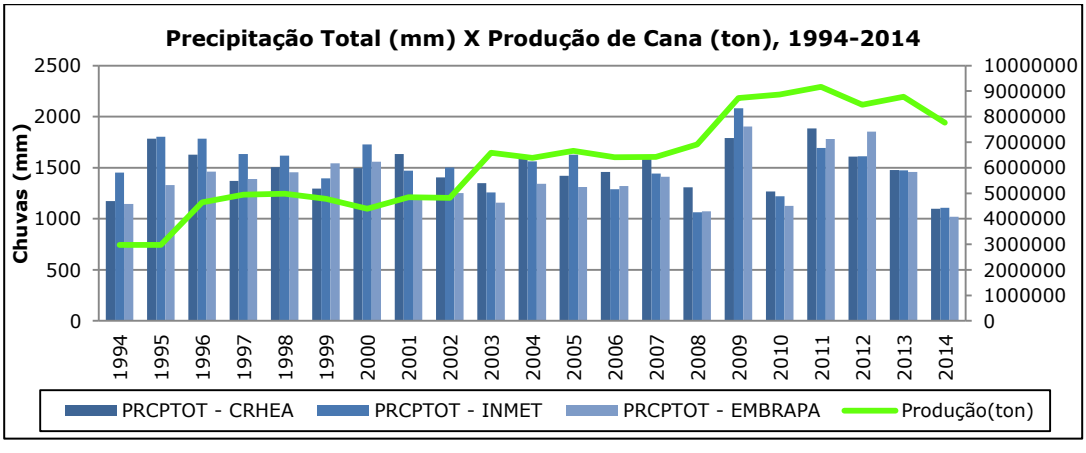


Figura 9 - Precipitação total anual e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

ÍNDICE SIMPLES DE INTENSIDADE DAS CHUVAS (SDII)

Esse índice expressa o valor médio anual de intensidade das chuvas. Por meio dele pode-se observar a flutuação das chuvas ao longo dos anos nos dias chuvosos sendo que, para as estações, o valor médio foi de 14 mm, ou seja, nos dias em que houve chuva, a média diária foi de 14 mm entre as estações.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Diante dos dados faltosos excederem 5% na estação climatológica INMET, o ano de 1999 foi descartado. Contudo, as demais estações encontraram-se com valores dentro dos limites tolerados pelo programa.

Nessa metodologia fica evidente que a produção da cana-de-açúcar sofre maior influência da área plantada que da intensidade das chuvas quando ocorrem nos parâmetros habituais observados. Entretanto, quando é feita uma avaliação do impacto ocasionado pela redução da intensidade das chuvas nos dias úmidos, é evidente a redução da produção em alguns períodos, como o caso de 2010-2014, ou ainda de 2003-2004, que acusaram uma possível associação entre a retração produtiva e a intensidade das chuvas (Figura 10).

Vale ressaltar que, por meio deste índice, é possível compreender a evolução da intensidade das chuvas diárias, o que pode ser um fator determinante para a estimativa da capacidade produtiva e sua relação com períodos recorrentes de escassez hídrica (anos secos).

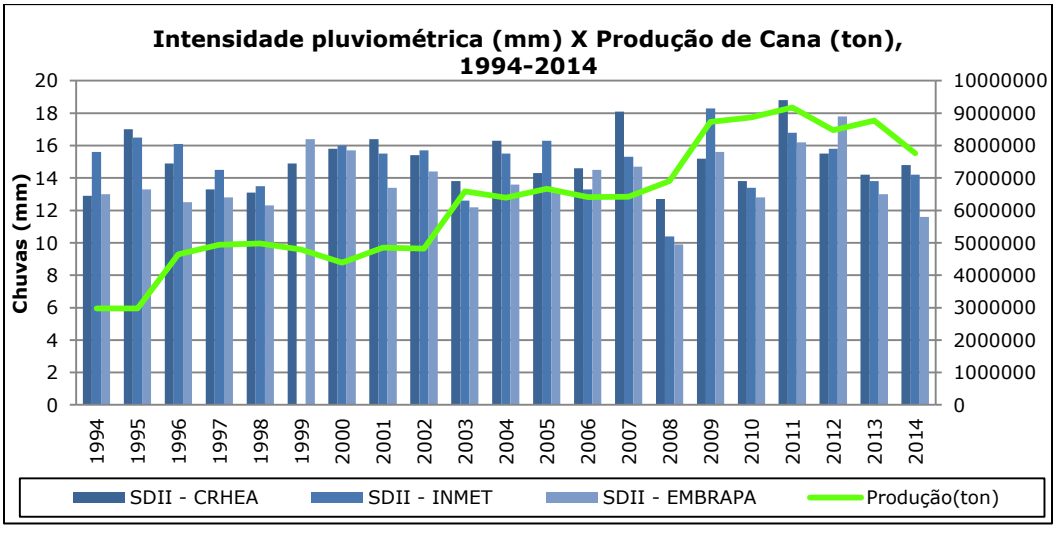


Figura 10- Intensidade simples, diária, das chuvas (SDII) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

DIAS CONSECUTIVOS SECOS E ÚMIDOS (DCS E DCU)

Os dias consecutivos secos e úmidos (DCS e DCU) expressam os valores máximos calculados dentro de um ano, ou seja, expressam o número máximo de dias sem ou com chuva em um ano. Esse índice contribui para a verificação de longos períodos de estiagem ou períodos em que as chuvas permaneceram durante vários dias que, nesse caso, pode-se associar ao fenômeno de ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; LIEBMANN et al., 1999; QUADRO et al., 2012; ZANDONADI et al., 2016).

As observações mais significativas se associam aos DCS, uma vez que longos períodos de estiagem se mostraram marcantes, sendo o valor médio anual, para as estações, de aproximadamente, 43 dias. Com isso, nota-se que é recorrente tais períodos e, na série histórica observada, notou-se, ao menos, 1 mês contínuo sem chuvas.

No período de 1994-1995, os valores chegaram a dois meses ou mais. Nos períodos de 1997, 1999, 2002, 2004, 2007, 2010, 2011, 2012, 2013 e

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2014, observa-se episodios marcantes de estiagem nos quais pode-se observar uma relação com a retração produtiva mesmo que a área cultivada não tenha diminuído, como expresso na Figura 11.

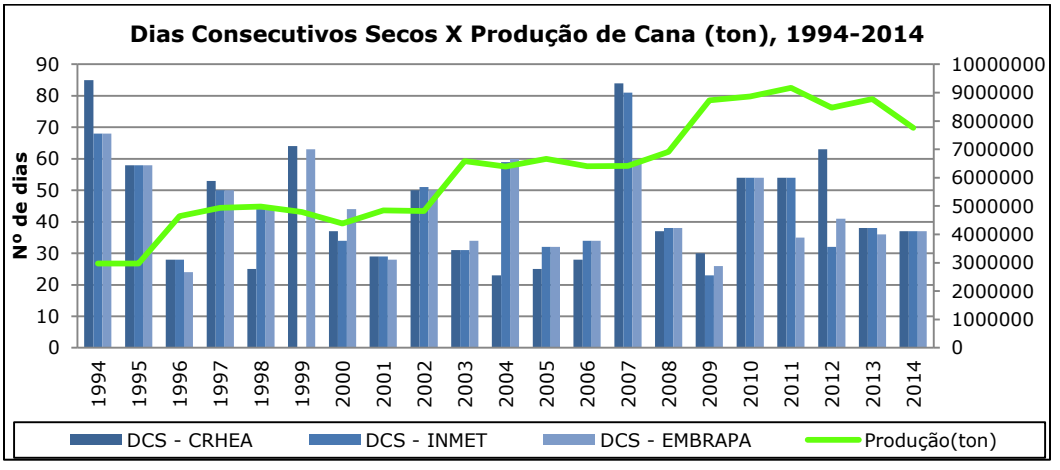


Figura 11 - Dias consecutivos secos (DCS) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

Nos anos de 1994, 2007 e 2013-2014 a recorrência de longos períodos de estiagem expressaram a redução da produtividade (toneladas), o que reafirma a relação entre anos secos e o estresse hídrico na produtividade agrícola.

Em relação aos DCUs nota-se que, apesar de alguns valores mostrarem-se acima do valor médio base de, aproximadamente, 8 dias, a recorrência desses valores reafirma a maior ou menor influência dos fenômenos da ZCAS na série histórica, cuja manifestação pode ser melhor observada junto ao índice RX 5 dias.

Ainda se destaca o fato de que o aumento da produção de cana-de-açúcar, nesse caso, se associa diretamente à expansão da área plantada (Figura 12).

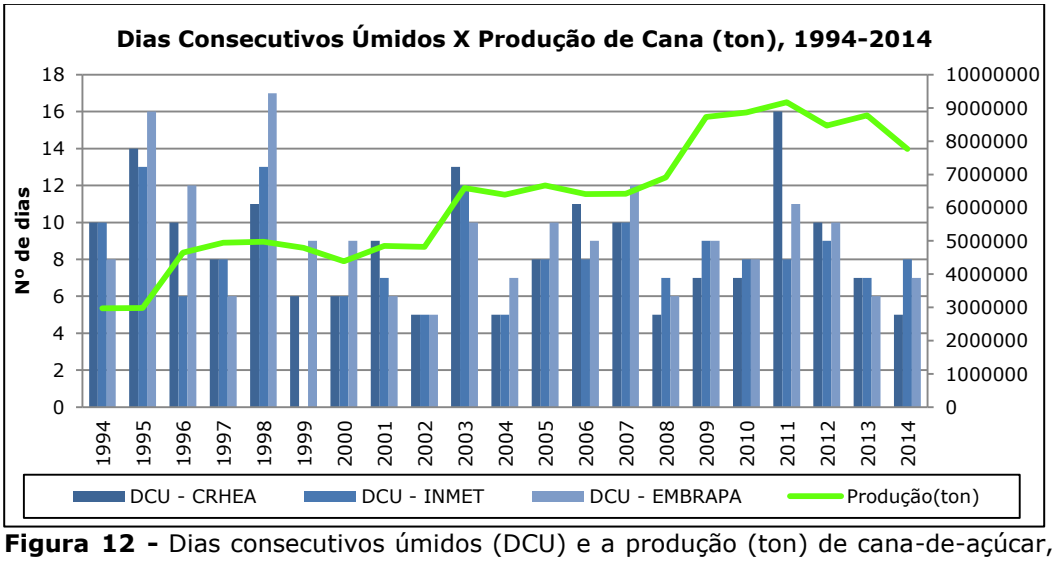


Figura 12 - Dias consecutivos úmidos (DCU) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

VALORES MÁXIMOS ACUMULADOS EM 5 DIAS (RX5 DIAS)

O índice RX 5 dias, bem como o descrito acima, se associa claramente à ocorrência da ZCAS na região sudeste do país e na microrregião de São Carlos/SP. Contudo, a recorrência de valores que sejam significativos para incidir no aumento da produtividade agrícola não ficam claramente evidenciados.

Diante disso, em poucos casos pode-se observar a associação entre esses eventos e o desempenho da lavoura canavieira. Os valores médios, entretanto, são interessantes, uma vez que a resposta do cálculo desse índice é mensal e, notou-se um valor médio de, aproximadamente, 156 mm entre as estações.

No período chuvoso (Outubro, Novembro, Dezembro, Janeiro, Fevereiro e Março), ocorrem os valores mais intensos, e as estações registraram, aproximadamente, 95 mm nesses meses, o que ressalta a ocorrência de episódios chuvosos prolongados.

Nos anos de 1995, 2000 e 2011, pode-se observar melhores associações entre a ocorrência de tais períodos prolongados de chuvas e o aumento da produção de cana-de-açúcar na microrregião. E, no período de 2013-2014, mesmo com o aumento produtivo total a produtividade média decresceu, e os dados das estações mostraram valores abaixo da média para o RX5 dias, o que reafirma a ocorrência de um período de estiagem marcante, conforme expresso por meio da Figura 13.

As teleconexões, nesse sentido, subsidiam a compreensão da flutuação climática por meio de dados oceânicos do Atlântico e do Pacífico, como a OMA (Oscilação Multidecadal do Atlântico), as fases do El Niño – sua fase positiva (ENSO – El Niño Oscilação Sul; aumento na temperatura do Pacífico) e La Niña – sua fase negativa (resfriamento na temperatura do Pacífico), a ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), entre outros aspectos que evidenciam a interação Oceano-Atmosfera-Continente.

No Brasil, a região sudeste expressa significativa relevância nessa análise, que pode ser verificada por meio de sua influência em tendências para o aumento ou diminuição das temperaturas, bem como nas tendências dos volumes de chuvas (KAYANO; CAPISTRANO, 2014; PSCHEIDT; GRIMM, 2009; VÁSQUEZ et al., 2018).

Segundo Vázquez, et al. (2018), desde 1994, há baixa variabilidade no volume das chuvas. Contudo, notam-se tendências positivas e/ou negativas associadas à interação Oceano-Atmosfera-Continente, em que se observam as teleconexões nos dados da série histórica para a região de estudo, como no ano 2000, onde se observou tendência negativa para o Pacífico (La Niña) e o acréscimo no valor de RX 5 dias, fator associado à possibilidade do aumento nos acumulados pluviométricos.

Já para os anos de 1995 a 1999, observou-se tendência positiva para o Pacífico (El Niño) e que culminou na retração dos acumulados de chuvas na PRCPTOT, RX 1 e 5 dias, e no aumento dos DCS, enquanto os valores de DCS de apresentaram de maneira semelhante aos outros índices, sendo que, o número máximo de dias consecutivos secos na série histórica chegou, em alguns anos, a 80 dias consecutivos sem chuvas.

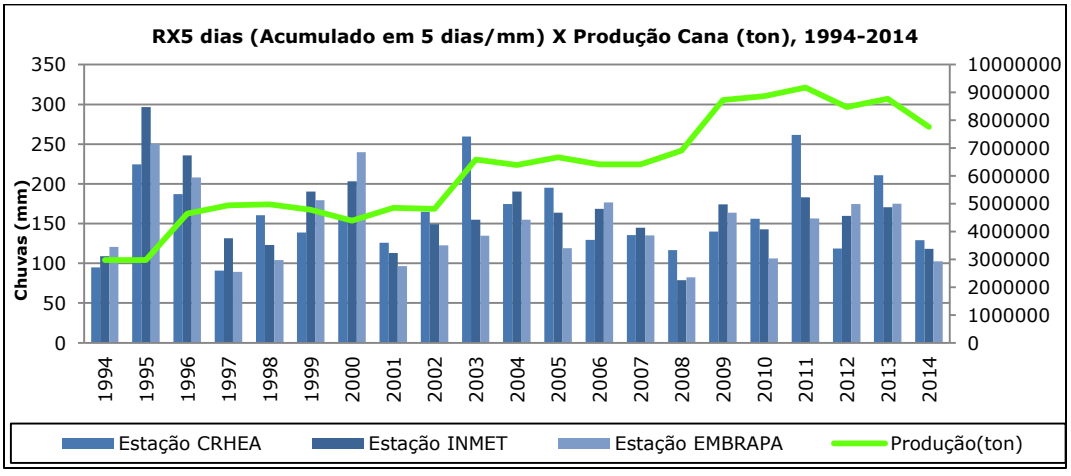


Figura 13 - Valores máximos de chuva acumulada em 5 dias consecutivos (RX5 dias) e a produção (ton) de cana-de-açúcar, na microrregião de São Carlos/SP. Elaboração: Os autores.

CONCLUSÕES

A partir do presente estudo observou-se que a produção de cana-de-açúcar na microrregião de São Carlos/SP sofreu alterações quantitativas e que, nesse contexto, se associam às alterações no regime das chuvas na série temporal de 20 anos.

No que tange a discussão quanto ao aumento ou retração produtiva da cana-de-açúcar na região, nota-se que a expansão das áreas de plantio foi o fator de maior influência na capacidade produtiva.

Nesse aspecto, vale ressaltar que a metodologia dos "Anos Padrões" acusa a manifestação de um momento diferenciado nos padrões atmosféricos da área a partir do verão iniciado em 2013 e finalizado em 2014, pois, em nenhum outro período da série histórica considerada, se repete a classe "Ano Seco", evidenciando o retorno de uma conjuntura cíclica. Como verificado, aponta-se que a ação do ASAS (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul) inibe a formação da ZCAS, estruturando a situação de Bloqueio Atmosférico, impedindo a passagem de frentes frias pela região.

Tais aspectos climáticos impactaram, portanto, no desempenho da cultura canavieira em alguns períodos dentro da série temporal analisada, demonstrando que o estresse hídrico tem maior influência sobre o desempenho da planta que seu excesso (períodos chuvosos) – considerados os valores apresentados no estudo. Assim, a manter-se o padrão habitual e os índices pluviométricos coerentes com o tipo climático da área, vale ressaltar a atenção que os produtores da microrregião devem destinar às ações mitigadoras que venham a compensar a carência de água em períodos excepcionais para o desenvolvimento da planta (associados à sazonalidade da precipitação), bem como em sua evolução temporal, como observado pelos índices climáticos e, até, por meio das teleconexões.

Além disso, enquanto o excedente hídrico não superar os índices pluviométricos ocorridos na área de estudo (até o presente momento), pesará mais sobre o desempenho da safra da cultura canavieira o estresse hídrico

decorrente de um prolongamento da estiagem sazonal já esperada para o clima Tropical que prevalece nesta porção do território brasileiro, sobretudo se o prolongamento alcançar o período hidrológico (outubro-março).

Para tanto, novos estudos na área de agroclimatologia devem alicerçar as observações apontadas pelo presente estudo, que podem ser motivados pela melhor compreensão do estresse hídrico junto ao desenvolvimento dessa cultura agrícola, os impactos econômicos da sazonalidade produtiva, o planejamento produtivo, entre outros.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATTISTI, R. et al. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. European Journal of Agronomy, v. 83, p. 1–14, 1 fev. 2017.

BRAIDO, L. M. H.; TOMMASELLI, J. T. G. Caracterização climática e dos anos extremos (chuvoso e seco): seus efeitos na produção de cana-de-açúcar, milho e soja para a região do Pontal do Paranapanema – SP. Formação (Online), v. 1, n. 17, 2010.

BRASIL, Companhia Nacional de Abastecimento - Conab. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v. 1. Brasília: Conab. 2015, 38 p.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. Journal of Climate, v. 17, n. 1, p. 88–108, 1 jan. 2004.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. Climanálise – Edição Especial de 30 anos, p. 55-61, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA Clima Temperado, 2012. Influência da Drenagem Temporária da Água de Irrigação do Arroz na infestação da Bicheira-da-raiz e na Produtividade da Cultivar BRS Querência. Circular Técnica n. 135. Outubro 2012.

GOUVÊA, J. R. F. Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GUIMARÃES, T. A.; ALVAREZ, V. M. P. (2011). Análise do processo de difusão tecnológica de cultivares de soja da Embrapa no Paraná. REVISTA POLÍTICA AGRÍCOLA. Ano XX – N. 3 – Jul./Ago./Set. 2011. p.19-33.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. Journal of Climate, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 1 abr. 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa do Estado de São Paulo. Diretoria de Geociências: IBGE, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Série Histórica 2015. Disponível em: https://bit.ly/2I18eGb Acesso em: 13/09/2017.

KAYANO, M. T.; CAPISTRANO, V. B. How the Atlantic multidecadal oscillation (AMO) modifies the ENSO influence on the South American rainfall: AMO MODIFIES ENSO INFLUENCE. International Journal of Climatology, v. 34, n. 1, p. 162–178, jan. 2014.

LIEBMANN, B. et al. Submonthly Convective Variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. Journal of Climate, v. 12, n. 7, p. 1877–1891, 1 jul. 1999.

MARTINS, V. A.; OLIVETTE, M. P. A. Cana-de-açúcar - safra 2013/14 – e Fatores Climáticos: panorama dos impactos na produtividade nos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs) no Estado de São Paulo. Análise e Indicadores do Agronegócio, v. 10, n. 3, março 2015.

PSCHEIDT, I.; GRIMM, A. M. Frequency of extreme rainfall events in Southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability. International Journal of Climatology, v. 29, n. 13, p. 1988–2011, 2009.

QUADRO, M. F. L. DE et al. Climatological analysis of the precipitation and umidity transport on the SACZ region using the new generation of reanalysis. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, n. 2, p. 152–162, jul. 2012.

SANT'ANNA NETO, J. L. As chuvas no Estado de São Paulo. São Paulo. Tese (Doutorado em Geografia Física). Departamento de Geografia Física, Universidade de São Paulo, 1995, 200 p.

SANTOS, E. M. Estudo da variabilidade e mudanças climáticas na região de Manaus. 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade do Estado do Amazonas. Amazonas, 2010.

SENTELHAS, P. C. et al. Agro-climatic favorability zones for sugarcane orange rust as a tool for cultivar choice and disease management. Crop Protection, v. 84, p. 88–97, 1 jun. 2016.

SILVA, D. F. DA; PRELA-PANTANO, A.; NETO, J. L. S. A. Variabilidade da precipitação e produtividade agrícola na região do médio Paranapanema, SP. Revista Brasileira de Climatologia, v. 3, n. 0, 2008.

TANIWAKI, R. H. et al. Climate change and multiple stressors in small tropical streams. Hydrobiologia, v. 793, n. 1, p. 41–53, 1 jun. 2017.

TOLENTINO, M. Estudo crítico sobre o clima da região da São Carlos. São Carlos: EdUFscar. (Concurso de Monografias Municipais), 1967.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA). São Paulo. Disponível em: www.unica.com.br/unica. Acesso em: 16/10/2017.

VÁSQUEZ P., I. L. et al. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. Climate Dynamics, v. 50, n. 3, p. 801–824, 1 fev. 2018.

VELASCO, I.; PIMENTEL, E. Papadakis methodology for agroclimatic delimitation, applied to Sinaloa State, Mexico. Investigaciones Geográficas, v. 0, n. 73, 1 fev. 2011.

ZANDONADI, L. et al. Changes in precipitation extremes in Brazil (Paraná River Basin). Theoretical and Applied Climatology, v. 123, n. 3, p. 741–756, 2016.

ZHANG, X.; YANG, F. RClimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch

Environment Canada: Downsview, Ontario, Canada, 2004