



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS ÁGRARIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL



CARLOS HUMBERTO DA SILVA

**PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
SISTEMAS DE CULTIVO E IDADE DE CANAVIAL**

RIO LARGO – AL
2019

CARLOS HUMBERTO DA SILVA

**PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES
SISTEMAS DE CULTIVO E IDADE DE CANAVIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Produção Vegetal CECA/UFAL, como requisito à
obtenção do título de Mestre em Agronomia.

ORIENTADOR
Prof. Dr. Iêdo Teodoro

Rio Largo – AL
2019

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana

S586p Silva, Carlos Humberto da.
 Produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de cultivo e idade de canavial. / Carlos Humberto da Silva. – 2019. 65f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Iêdo Teodoro.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia - Área de concentração em Produção Vegetal, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2020.

Inclui bibliografia

1. Balanço hídrico. 2. Longevidade. 3. Irrigação.
I. Título.

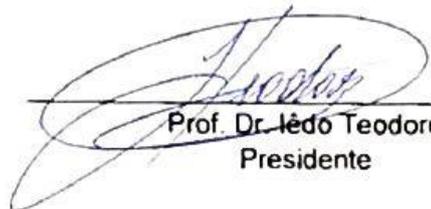
CDU: 633.61:631.67

TERMO DE APROVAÇÃO

CARLOS HUMBERTO DA SILVA (Matrícula 17130207)

"PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVOS E IDADE DE CANAVIAL"

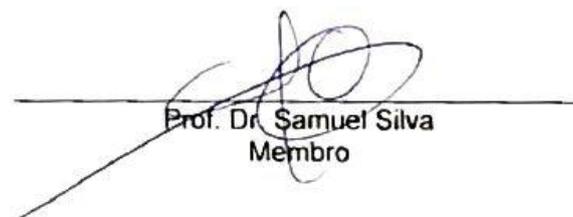
Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em cinco de novembro de 2019, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS.



Prof. Dr. Iêdo Teodoro
Presidente



Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Membro



Prof. Dr. Samuel Silva
Membro

Rio Largo - AL
Novembro/2019

Aos meus pais

José Cassimiro da Silva

e

Maria da Conceição Clemente da Silva

Que foram minha maior inspiração e meus maiores incentivadores nesta conquista

Ao meu grande amor

Vanessa Caboatan Dias

Por me apoiar e está sempre ao meu lado nos melhores e piores momentos

Aos meus irmãos

Luciano, Iran, Fábio, Luciene e Iraneide

Pelo incentivo direto e indireto

As minhas amigas do coração

**Delane Rose (Falecida), Dayse Sharlene, Jania Claudia,
Ruama Barbosa, Rosilaine Alves, Jaquielle Domingos, Mariana Brito e Dayane**

Ribeiro

Por serem tão importante em minha vida, me pondo para cima e me fazendo acreditar
que posso cada vez mais

Ao meu orientador

Prof. Dr. Iêdo Teodoro

Pelo apoio e paciência

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concebido a graça de ingressar no mestrado e por ter estado ao meu lado durante este período acadêmica, me erguendo nos momentos de queda e me ajudando a conquistar este bem tão maravilhoso. Muito obrigado meu grande e bom Deus por tudo.

Ao professor e orientador Iêdo Teodoro pela atenção, paciência e incentivo tornando possível a conclusão deste trabalho.

À Usina Caeté Matriz, em nome do Técnico Agrícola Altamir Souza e dos Engenheiros Agrônomos: Antônio Pimentel (gerente agrícola), Fabrizzio Tenório (superintendente) e Aryl Pontes Lyra (diretor do Grupo Carlos Lyra) pelo apoio e informações que tornaram possível a realização desse trabalho.

Aos meus amigos do laboratório de irrigação e agrometeorologia, Marcelo Augusto, Wemerson Saulo, Arthur Cantarelli, Jefferson Miguel, Ivomberg, Allan Moura, Constantino Neto, Luiz Carlos, Ednaldo Marques, Marcos Morais, José Antônio, Madison Correia, Claudio Soriano, Augusto Cesar que contribuíram de forma direta e indireta para a conclusão deste trabalho.

A todos os colegas da pós-graduação pela vivencia, paciência, incentivo e troca de experiências durante o período acadêmico.

A todos os professores do curso de pós-graduação em Produção vegetal do CECA/UFAL que contribuíram para o meu aprendizado e carreira profissional. Em especial aos professores do LIA (laboratório de irrigação e agrometeorologia), Iêdo Teodoro, Guilherme Lyra, Ricardo Araújo, Marcos Alex, Jose Leonaldo e Alexandro Claudio.

E a todos aqueles que contribuíram e torceram pela conclusão e sucesso desse trabalho.

OBRIGADO!

RESUMO

A cana-de-açúcar é cultivada em mais de 90 países e se destaca por se adaptar as mais diversas condições de solo e clima. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo com 620,43 milhões de toneladas, em uma área de 8,59 milhões hectares. No Estado de Alagoas a cultura da cana-de-açúcar se desenvolve bem entre os meses de abril e agosto, quando há maior concentração de chuvas, mas os baixos índices ocorridos nos últimos anos vêm refletindo negativamente no desenvolvimento e na produtividade dos canaviais alagoanos. Além disso, é normal que a produtividade da cana-de-açúcar reduza ao longo dos ciclos de colheita. Existem vários fatores que proporcionam essa redução de produtividade da cultura e os mais importantes são: a precipitação pluvial, a idade da planta e o sistema de cultivo. Diante disso, com esse trabalho, objetivou-se estudar a produtividade da cana-de-açúcar em função do sistema de cultivo, cultivar e idade do canavial. Para isso, foram utilizados dados agroindustriais das oito safras de 2010/11 a 2017/18, da Usina Caeté - Matriz. As informações coletadas foram organizadas em planilhas do Excel para análise e discussões das variáveis: toneladas de colmo por hectare (TCH) e açúcares totais recuperáveis (ATR). Também foram avaliados os componentes do balanço hídrico (excesso e déficit hídricos) aplicando-se o método de Thornthwaite e Mather (1955). Com base nos resultados verificou-se, um déficit hídrico anual médio de 536 mm e excesso de 764 mm. Entre as cultivares analisadas, a RB92579 foi a que obteve o maior rendimento médio com 89,22 t ha⁻¹ na cana-planta e 79,51 t ha⁻¹ na primeira soca. Ao longo do ciclo de cultivo ou de colheita, a cana-de-açúcar tende a ser economicamente inviável a partir da 5ª soca. As cultivares RB92579 e VAT90-212, independente do sistema de cultivo, são as mais produtivas. E, em regime de sequeiro e aspersão convencional a cultivar SP81-3250 produz mais do que a SP92-1631.

Palavras-chave: Balanço hídrico; Longevidade; Irrigação.

ABSTRACT

Sugarcane is cultivated in more than 90 countries and stands out for adapting in diverse type of soil and climate conditions. The Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, with 620.43 millions of tons, in an area of 8.59 millions of hectares, at the harvest 2018/2019. In the Alagoas State, sugarcane cultivation develops well, mainly between the months of April and August, when there is a greater concentration of rain, but the low rates of rain that have occurred in recent years have been reflecting negatively on the development and productivity of the cane fields in Alagoas. In addition, it is normal for sugarcane productivity to decline over the harvest cycles. There are a lot of factors that provide this reduction in crop productivity and the most important are: rainfall, the age of the plant and the cultivation system. Therefore, with this work, the objective was to study the productivity of sugarcane caused by the system of cultivation, cultivar and age of the cane field. For that, agro-industrial data of eight crop, from 2010/11 to 2017/18, of the Caeté-Matrix sugar mill, were used. The information collected was organized in Excel spreadsheets for analysis and discussion of the variables: tons of stalk per hectare (TSH) and commercially recoverable sugars (CRS). The components of the water balance (water excess and deficit) were also evaluated using the method of Thornthwaite and Mather (1955). Based on the results, was observed an average annual water deficit of 536 mm and an excess of 764 mm. Among the analyzed cultivars, the RB92579 was the one that obtained the highest average yield with 89.22 t ha⁻¹ in the cane-plant and 79.51 t ha⁻¹ in the first ratoon. The cultivars RB92579 and VAT90-212, independently of the cultivation system, are the most productive. And, under rainfed system and conventional sprinkling irrigation, the cultivar SP81-3250 produces more than the SP92-1631.

Keywords: Water balance; Longevity; Irrigation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estádios de desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta.....	17
Figura 2 - Moto-bomba utilizado para carretel, pivô e aspersão convencional.....	23
Figura 3 - Aspersão por carretel enrolador.....	24
Figura 4 - Aspersão por pivô central.....	25
Figura 5 - Aspersão por sistema linear.....	26
Figura 6 - Localização da unidade produtora de cana-de-açúcar (Usina Caeté – Matriz) no município de São Miguel dos Campos - AL.....	32
Figura 7 - Tipos de solos da área de cultivo da usina Caeté Matriz.....	33
Figura 8 - Censo varietal da Usina Caeté Matriz na safra 2017/18.....	36
Figura 9 - Balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, com ênfase para o excesso e a deficiência hídrica, no período de 2011 a 2018, na região dos Tabuleiros Costeiros de São Miguel dos Campos – AL.....	39
Figura 10 - Produtividade agrícola média, em toneladas de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) e tonelada de açúcar por hectare (TAH) nas safras de 2010/11 a 2017/18, da Usina Caeté, São Miguel dos Campos-AL.....	41
Figura 11 - Produtividade agrícola média (TCH) nas safras de 2013/14 a 2017/18, da Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, em função da idade do canavial..	43
Figura 12 - Produtividade agrícola média nas safras de 2011/12 a 2017/18, na Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, em função do sistema de cultivo.....	45
Figura 13 - Produtividade agrícola média das safras de 2015/16 a 2017/18, da Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, com as cultivares RB92579, SP81-3250 e SP92-1631, em função do sistema de cultivo e idade do canavial.....	49
Figura 14 - Produtividade agrícola média nas safras de 2015/16 a 2017/18, da Usina Caeté – São Miguel dos Campos-AL, com as cultivares RB92579, SP79-1011, VAT90-212, SP92-1631 e RB867515 em função do sistema de cultivo.....	51

LISTA DE TABELA

- Tabela 1** - Principais Estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil na safra 2018/19, com respectiva área cultivada, produção e produtividade.....**15**
- Tabela 2** - Evolução da produtividade (t ha⁻¹) da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas no período das safras de 2013/14 a 2018/19..... **29**
- Tabela 3** - Comparativo de produtividade (t ha⁻¹) entre Brasil, Região Nordeste e Estado de Alagoas para a safra 2018/19.....**29**
- Tabela 4** - Recomendação de adubação com base na expectativa de produtividade (toneladas de colmo) do talhão, na Usina Caeté Matriz.....**34**

SUMARIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	12
2.0 OBJETIVOS.....	14
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
3.0 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 A Cultura da Cana-de-açúcar.....	15
3.2 Variáveis Meteorológicas.....	17
3.3 Balanço Hídrico Climatológico da Cultura da Cana-de-açúcar.....	19
3.4 Demanda Hídrica da Cultura da Cana-de-açúcar.....	19
3.5 Irrigação de Cana-de-açúcar.....	22
3.6 Sistemas de Irrigação.....	23
3.7 Variedades e suas Características agronômicas	26
3.8 Idade do Canavial.....	27
3.9 Produtividade Agrícola da Cultura da Cana-de-açúcar.....	28
3.9.1 Produtividade de Cana-de-açúcar Irrigada e Sequeiro.....	30
4.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
4.1 Local de Estudo.....	32
4.2 Solo da Região.....	32
4.3 Manejo e Tratos Culturais dos Canaviais na Usina Caeté – Matriz.....	33
4.4 Cultivares Utilizadas na Usina Caeté – Matriz.....	36
4.5 Manejo de Variedades Usina Caeté – Matriz.....	36
4.6 Variáveis Agrometeorológicas e Balanço Hídrico Climatológico.....	37
4.7 Produtividade Agrícola da Cana-de-açúcar.....	38
5.0 RESULTADOS E DISCURÇÃO.....	39
5.1 Balanço Hídrico Climatológico	39
5.2 Produtividade Agrícola.....	40
5.3 Produtividade Agrícola em Função da Idade do Canavial.....	42
5.4 Produtividade da Cana-de-açúcar em Diferentes Sistemas de Cultivo.....	44
5.5 Produtividade Agrícola Média das Cultivares RB92579, SP81-3250, e SP92-1631, em Função do Sistema de Irrigação e Idade do Canavial.....	46

5.6 Produtividade Agrícola Média das Cultivares RB92579, RB867515, SP79-1011, SP92-1631 e VAT90-212, nas Safras de 2015/16 a 2017/18, em Função do Sistema de Cultivo.....	50
6.0 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1.0 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância socioeconômica para o Brasil e o mundo. Cultivada em mais de 90 países, destaca-se por adaptar-se as mais diversas condições de solo e clima. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com 620,43 milhões de toneladas, em uma área de 8,59 milhões hectares (CONAB, 2018). Desse volume, a região Centro Sul produz 92,3% e a região Norte-Nordeste, 7,7%. Em média 36% de toda cana processada no país é destinada a produção de açúcar e 65% para fabricação de etanol.

Na safra 2018/19, Alagoas produziu 16.201,8 milhões de toneladas de cana, em uma área de 293,2 mil hectares (CONAB, 2019). Mas nada comparado ao período em que o Estado produzia mais de 28 milhões de toneladas, em pouco mais de 423 mil hectares, com produtividade média de 68 t ha⁻¹ (UNICA, 2003). Apesar de todo avanço tecnológico empregado, no cultivo da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, a produtividade agrícola atual é considerada baixa 55,25 t ha⁻¹ quando comparada com a média nacional que é 72,23 t ha⁻¹ (CONAB, 2019).

O principal fator limitante da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas é o regime de precipitação pluvial, não porque o índice seja baixo, mas devido à irregularidade e má distribuição das chuvas, que se concentram nos meses de abril a agosto e de setembro a março, sempre há déficit hídrico para a cultura e consequentemente redução de produtividade e longevidade dos canaviais. Outro fator que afeta a produtividade da cana-de-açúcar é a idade do canavial, que após cada corte o mesmo vai se exaurindo com redução gradativa da produtividade (GOMES e BAJAY, 2017).

De acordo com Marin (2019), uma precipitação anual bem distribuída de 1.200 a 1.300 mm é suficiente para a cana-de-açúcar atingir o potencial produtivo máximo. A precipitação pluvial anual média na zona canavieira alagoana é de 1.800 mm (TEODORO et al., 2009). Porém, mesmo com chuvas acima da média requerida pela cultura na região canavieira de Alagoas, a cana-de-açúcar está sujeita a déficit hídrico porque na estação seca os índices pluviais são baixos e pode chegar a zero, em períodos de até 20 ou 30 dias, e a ocorrência de altas temperaturas provocam maior evapotranspiração que eleva a deficiência hídrica.

A solução para minimizar os efeitos negativos da má distribuição das chuvas e aumentar os níveis de produtividade agrônômica e a longevidade dos canaviais nos

Tabuleiros Costeiros de Alagoas é a irrigação, cujo o principal objetivo é viabilizar os cultivos em regiões quando a precipitação pluviométrica é irregular ou insuficiente. De acordo com Casarotto (2017), independentemente da variedade e época de colheita, a irrigação proporciona ganho de produtividade em toneladas de colmo por hectare (TCH) em comparação ao cultivo em sequeiro. Neste sentido a disponibilidade de água é essencial para o crescimento e produtividade da cana-de-açúcar porque há relação direta entre o volume de produção e a quantidade de água utilizada ou evapotranspirada pela cultura.

Por isso, em regiões de alta variabilidade climática e má distribuição de chuvas, há prejuízos para a cultura da cana-de-açúcar, principalmente pela redução de produtividade e longevidade das plantas, que obriga aos agricultores renovarem os canaviais mais precocemente (RIBEIRO, 2016). Em média, a renovação de um canavial é realizada entre cinco e seis anos (CONAB, 2018). Mas, o canavial tem sua longevidade reduzida, quando exposto a condições de estresse hídrico. Tal situação pode influenciar a perda do vigor, dificuldade de rebrota da soqueira, diminuição no número de perfilho que causa falhas nas áreas cultivadas, redução dos entrenós e absorção de nutrientes, consequentemente, redução de produtividade entre outros prejuízos.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo nesse trabalho foi estudar a produtividade da cana-de-açúcar em função do sistema de cultivo, disponibilidade hídrica e idade do canavial.

2.2 Específicos

- Comparar o balanço hídrico climatológico da cultura da cana-de-açúcar em cinco safras;
- Calcular o déficit hídrico da cultura da cana-de-açúcar em cinco safras;
- Quantificar a produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica e da irrigação;
- Estimar o rendimento agrônômico de canaviais com diferentes idades.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A Cultura da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar tem sua origem questionada provavelmente é originária das regiões tropicais do Sul e Sudeste da Ásia. Foi introduzida no Brasil no início do XVI, mais precisamente em 1532, na Capitania de São Vicente, hoje Estado de São Paulo, quando entrou condições climáticas fatorais para o seu desenvolvimento (NOGUEIRA, 2016). Desde 1650, o Brasil começou a liderar a produção mundial cana-de-açúcar que foi aumentando a cada ano, sendo atualmente o principal produtor de cana-de-açúcar e de açúcar, e o segundo maior produtor de etanol, precedido pelos Estados Unidos (TUTA, 2013). A produção de cana-de-açúcar no Brasil, na safra 2017/18 foi de 633.261,9 milhões de toneladas, da qual em média, 45,8% foram destinados à produção de açúcar e 54,2% para produção de etanol (CONAB, 2018).

No Brasil, a cana-de-açúcar é produzida principalmente nas regiões Centro-Sul, Norte-Nordeste, o que permite dois períodos distintos de safra por ano, sendo que de abril a novembro a produção ocorre no Centro Sul e de setembro a março no Norte-Nordeste. Na Figura 1 são apresentados os principais estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil, na safra 2017/18, destacando-se São Paulo, Goiás e Minas Gerais como os principais produtores.

Tabela 1 – Principais Estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil na safra 2018/19, com respectiva área cultivada, produção e produtividade.

Estados	Área (em mil ha ⁻¹)	Produção (em mil t)	Produtividade (em kg ha ⁻¹)
São Paulo	4.426,2	332.880,6	75.207
Goiás	917,1	70.001,4	76.332
Minas Gerais	848,0	63.199,8	74.525
Mato Grosso do Sul	647,4	49.504,7	76.472
Paraná	569,1	35.495,2	62.370
Mato Grosso	228,9	17.348,9	75.789
Alagoas	293,2	16.201,8	55.258
Pernambuco	231,3	11.425,4	49.407
Paraíba	122,1	5.589,1	45.771
Bahia	43,5	3.742,9	86.044
Total	7.478,80	535.388,40	591.131

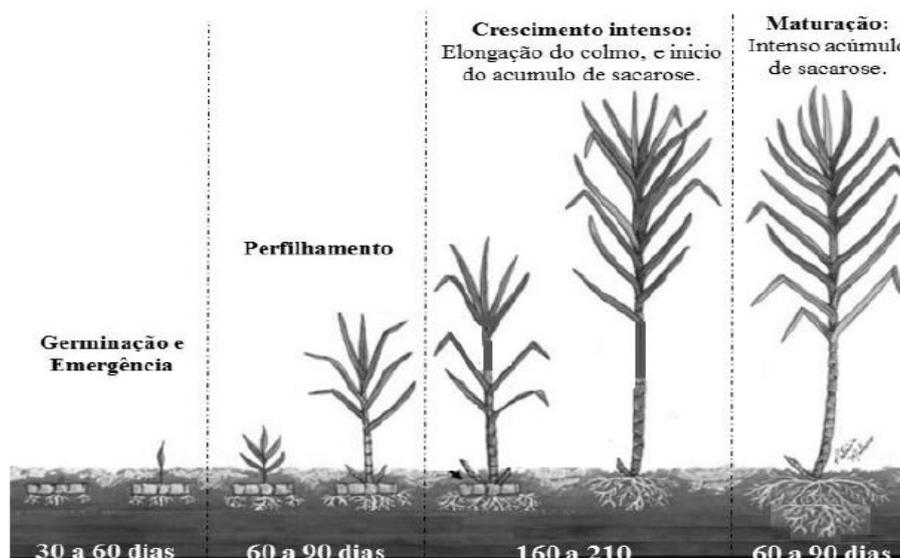
Fonte: Adaptado da Conab. Primeiro levantamento, v.5 - safra 2018/19.

As principais características da cana-de-açúcar são: hábito ereto, inflorescência em forma de espiga, crescimento do caule em colmos, folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta (MOZAMBANI et al., 2006). Sua coloração varia dependendo da posição, idade e variedade da cana e disponibilidade hídrica do solo (TUTA, 2013). É uma planta de metabolismo fotossintético C4, que converte a energia radiante em energia química, o que proporciona alta taxa fotossintética e conseqüentemente, adaptável a ambientes com alta intensidade luminosa, além de ser bastante eficiente no uso da água.

A época adequada de plantio é fundamental para o bom desenvolvimento da cultura, pois a cana pode ser plantada em três épocas diferentes: sistema de ano-e-meio, sistema de ano e plantio de inverno (ROSSETTO et al., 2019). No sistema de ano-e-meio (18 meses) a cana-de-açúcar é plantada entre os meses de janeiro e março, época em que a planta encontra condições ideais de temperatura e umidade para seu crescimento, garantindo assim o desenvolvimento das gemas. Essa condição possibilita a brotação rápida, reduzindo a incidência de doenças nos rebolos. No Sistema de ano (12 meses) em algumas regiões a cana-de-açúcar é plantada de outubro a novembro, quando tem o seu desenvolvimento paralisado nos meses de março a abril e nos próximos meses inicia-se o processo de maturação. O plantio de inverno é adotado em propriedades em que há disponibilidade de irrigação, pois o plantio é realizado na época seca do ano. Neste sistema o canavial apresenta altas produtividades já no primeiro ano, pois é possível controlar a disponibilidade de água no solo (REHAGRO, 2018).

Dependendo da variedade e do ambiente no qual se desenvolve, o ciclo fenológico da cultura da cana-de-açúcar, pode ter duração inicial de 16 meses para cana-planta e 12 meses para cana-soca, com os mesmos estádios de desenvolvimento, entretanto com duração diferente (Figura 2).

Figura 1 – Estádios de desenvolvimento das plantas de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta



Fonte: Adaptado de Magro et al., 2011.

Porém, a produção e a qualidade da cana-de-açúcar são favorecidas com a adequada disponibilidade de água e nutrientes no solo, principalmente nos estádios de germinação, perfilamento e crescimento intenso e de restrição hídrica no período de maturação (INMAN-BAMBER e SMITH, 2005). No entanto, quando a quantidade de água não atende às necessidades hídricas da cultura, desenvolve-se um estresse hídrico, no qual causa o fechamento dos estômatos e a diminuição da fotossíntese, uma adaptação evolutiva das plantas em resposta a escassez de água, que a longo prazo acaba afetando negativamente o crescimento e rendimento final da produtividade (BRUNINI, 2016). A prática da irrigação associada junto a outros métodos de manejo da cultura de cana-de-açúcar, evita os danos causados pelo estresse hídrico e permite ampliar o tempo de exploração da planta, o número de colheitas e busca o melhor rendimento do ponto de vista econômico, principalmente nas fases de germinação, perfilamento e alongamento dos colmos (enriquecimento em sacarose) (TRINTINALHA et al., 2004; DALRI et al., 2008).

3.2 Variáveis Meteorológicas

As variáveis meteorológicas podem ser definidas como sendo o comportamento termodinâmico da atmosfera, que envolve precipitação, temperatura, radiação, umidade do ar, evaporação, vento, insolação e pressão. Estas variáveis estão diretamente associadas ao comportamento do tempo e clima de uma determinada região (SILVA, et al., 2009). Além disso, apresentam influência direta no crescimento, desenvolvimento e

na produtividade das culturas. Para se ter uma ideia a fotossíntese que tem como significado a síntese pela luz, é o principal processo biológico responsável pelo crescimento e desenvolvimento vegetal (PERIN, 2016). No entanto, a energia necessária para realizar o processo de conversão de CO₂ em biomassa é proveniente da radiação solar.

A radiação solar, a temperatura, a disponibilidade hídrica, o fotoperíodo e a concentração de CO₂ na atmosfera são os fatores climáticos, mais importante para o desenvolvimento da cana-de-açúcar (GOUVÊA, 2008). Ao longo do ciclo vegetativo, a cana-de-açúcar sofre com variações dos elementos meteorológicos, sobremaneira em cultivos para obtenção de açúcar que passa a ser mais exigente em temperatura do ar e precipitação (BRUNINI, et al., 2008). Apesar da cana se adaptar bem as diversas condições climáticas, ela tem melhor desenvolvimento em ambiente 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 (BRITO, 2014).

Nas diferentes fases de desenvolvimento a cana-de-açúcar recebe influência direta da temperatura nas mais diferentes formas. Por isso, para obter uma boa brotação das gemas, a temperatura deve variar de 26 a 33°C, caso a temperatura fique abaixo de 13°C e superior a 40°C a cana pode ficar estagnada, do mesmo modo, plantas em desenvolvimento em ambientes com temperaturas acima de 38°C pode sofrer estresse térmico (RODRIGUES, 1995). Na fase de crescimento temperatura abaixo de 21°C provocam redução no crescimento da raiz e temperatura entre -5 e -2,2°C ocasionam danos as folhas ou mesmo a morte. Já para os colmos temperaturas entre -1 e -3,3°C causam a morte da gema apical e temperaturas acima de 20°C promovem o crescimento dos entrenós, mas na zona canavieira alagoana a temperatura do ar média é de 25,4°C (SOUZA et al., 2004).

Em condições de altas temperaturas foliares e disponibilidade hídrica limitante, as plantas respondem ao estresse hídrico com o fechamento estomático e minimizam suas perdas de água para a atmosfera. (BRUNINI, 2016). Isto é possível, porque a temperatura das plantas atua como um indicador do status hídrico da própria, sendo uma variável fundamental para monitoramento do estresse hídrico da planta (WANG et al., 2010). Por este motivo, a planta precisa encontrar condições de temperatura do ar e umidade de solo que permitam o desenvolvimento suficiente durante a fase vegetativa seguido de um período com restrição hídrica e/ou térmica para induzir o repouso vegetativo e o enriquecimento em sacarose na época de corte (BRUNINI, 2010).

3.3 Balanço Hídrico Climatológico da Cultura da Cana-de-açúcar

Em termos agronômicos, o balanço hídrico é o resultado da quantidade de água que entra e sai de uma certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo. É essencial para entender a relação entre as formas de entrada, saída e conservação da água no meio solo, plantas e atmosfera. Além disso, é uma ferramenta indispensável para o planejamento no manejo da cana-de-açúcar, uma vez que, permite enfatizar a necessidade de irrigação e identificar os meses mais críticos para a cultura. (BISPO, et al., 2017).

Podemos calcular o balanço hídrico em variadas escalas, sendo elas: a diária, a semanal, a mensal ou a anual, nos quais os principais componentes relacionados na mesma são: precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC).

Para efetuar o balanço hídrico, é preciso avaliar a quantidade de água que chega ao solo por precipitação ou irrigação e a saída de água que ocorre por meio de evapotranspiração, deflúvio superficial e drenagem interna (CARVALHO, 2016). Este balanço tem como base a zona radicular da planta, que neste caso trata-se da cultura da cana-de-açúcar, sendo feito em período de tempo determinado. Se neste período a entrada de água for maior que a saída, o saldo conseqüentemente será positivo, beneficiando assim a planta, porém quando ocorre o inverso, ou seja, a entrada de água for menor que a estimada, esse saldo será negativo para cultura.

A princípio, o balanço hídrico pode ser realizado sobre uma vegetação padrão (gramado), é o chamado ``balanço hídrico climatológico`` ou pode ser feito com uma cultura instalada em uma área, este é denominado de ``balanço hídrico da cultura`` (PEREIRA, 2005). O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por (Thrnthwaite et al. 1955), para determina o regime hídrico de um local sem necessitar medir diretamente as condições de umidade de solo. Com base no balanço hídrico, é possível melhorar as estratégias de planejamento e escalonamento, no que se diz respeito às etapas operacionais de irrigação, plantio, colheita e manejo da cana-de-açúcar, bem como, justificar frustrações de safras causadas por fatores climáticos.

3.4 Demanda Hídrica da Cultura da Cana-de-açúcar

A necessidade hídrica das culturas é determinada pela evapotranspiração, que depende das condições climáticas locais e da fase de desenvolvimento de cada planta. A cana-de-açúcar é considerada de alta eficiência no uso da água, possui relação entre a

produção e o volume de água utilizado (SILVA et al., 2011). A necessidade hídrica fica em torno de 1780 mm/ciclo (TEODORO et al., 2009). De acordo com Bernardo (2002), a demanda hídrica varia de 1000 e 2000 mm/ciclo, sendo considerada por Windefeld (2004) como cultura altamente exigente em água, no entanto pode apresentar reduções na produtividade, devido ao prolongado do excesso hídrico. Inman-Bamber e Smith (2005), afirmam que uma precipitação pluvial anual maior que 1000 mm, bem distribuída, é suficiente para obter altas taxas de produção. Dessa forma, há a necessidade de um manejo hídrico adequado durante o desenvolvimento vegetativo para que não ocorram reduções expressivas no rendimento de colmos e de açúcar (CESCONETTO,2017).

Scardua e Rosenfeld (1987) destacam que o consumo de água da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou cana soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (fase fenológica), das condições climáticas, da disponibilidade de água no solo e da variedade cultivada. Sendo assim a produtividade, o crescimento, a assimilação de CO₂ e a abertura estomática das plantas cultivadas sofrem alterações devido ao déficit hídrico, sendo este o principal fator causador da variação anual da produtividade da cultura cana-de-açúcar Teramoto (2003), haja vista que os parâmetros fisiológicos, com a expansão foliar, a condução estomática, a captura de e dissipação de energia e fotossíntese são alterados (TAIZ e ZEIGER, 2004). Isso se deve ao fato de que a condição hídrica da cultura está direta ou indiretamente a quase todos os processos fisiológicos das plantas (KRAMER e BOYER, 1995).

Para Carvalho et al., (2013), no momento de implantar determinada cultura, o produtor deve compreender a necessidade hídrica, para quantificar o volume de água necessário durante o seu ciclo de desenvolvimento, assim é possível, determinar os períodos em que a cultura se encontra susceptível a falta de água é em última análise para reduzir perdas de rendimento. O adequado manejo na demanda hídrica é fundamental a compreensão dinâmica da evapotranspiração real (ETr), em sequeiro ou irrigado (BRANDÃO 2011).

Estudos relacionados ao consumo de água pela cultura e o uso de recursos hídricos para a irrigação vem-se tornando cada vez mais frequentes de vez que tal operação é um dos fatores de maior influência na produtividade agrícola e no custo de produção da cana-de-açúcar (TEODORO et al., 2013).

Na região canavieira de Alagoas, cuja média da precipitação é superior à média da evapotranspiração, o estresse hídrico continua sendo o principal fator limitante devido a distribuição desuniforme das chuvas que causa excedente no outono-inverno, quando a

precipitação pluvial corresponde a 70% do total anual e deficiência hídrica na primavera-verão (SOUZA, et al., 2004). Esta falta de uniformidade na distribuição da precipitação pluvial no decorrer do ano resulta em menor armazenamento de água no solo durante o período seco que reduz a evapotranspiração real das plantas, no crescimento e na produtividade da cultura; desta forma, é imprescindível o uso de irrigação nesta região (DANTAS NETO et al., 2006; TEODORO et al., 2009).

De acordo com Felipe (2008), a distribuição irregular de água proporciona efeito prejudicial as plantas, especialmente durante a brotação e o perfilhamento. Assim, é necessário adequar época de plantio com estação chuvosa para que a cultura não sofra estresse hídrico. Quando o déficit hídrico ocorre na fase de perfilhamento e alongamento do colmo (fase crítica) as perdas de produtividade são maiores, porém se o estresse por déficit hídrico ocorrer no final do ciclo da cultura (maturação) a concentração da sacarose no colmo aumenta, e isto proporciona maior lucratividade para os produtores de cana em razão do pagamento da produção depender dos teores de sacarose no colmo. (ROBERTSON ET AL, 1999; INMAN-BAMBER, 2004).

A cana-de-açúcar mesmo sendo plantada em regiões de boa pluviosidade, pode sofrer estresse hídrico em virtude do seu longo ciclo de produção, que varia de 12 a 18 meses e faz atravessar alguns períodos de escassez de água impedindo que expresse o seu potencial produtivo (KLEBSON, 2014). Para se ter uma ideia, crescimento em altura da cana de açúcar é afetado pela ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, de variações na temperatura do dossel ou, ainda, devido ao florescimento, dependendo das diferentes condições do ambiente produtivo (DIOLA e SANTOS, 2010).

É importante salientar que déficit hídrico não está limitado apenas às regiões áridas e semiáridas do planeta, mesmo em regiões consideradas úmidas, com a distribuição irregular das chuvas e as altas temperaturas pode limitar o crescimento, provocando a redução das folhas e o acúmulo de substâncias indesejáveis para as plantas (enzimas oxidativas), impactando a produção final (TAIZ e ZEIGER, 2004). A disponibilidade hídrica do solo é um dos fatores ambientais que mais influenciam a produção da cana-de-açúcar pois determina o estabelecimento da cultura durante o estágio vegetativo (RAMESH, 2000). Um bom exemplo é a zona canavieira nordestina, com disponibilidade hídrica para suprir a necessidade hídrica da cultura, porém a irregularidade das chuvas, permite a ocorrência do déficit hídrico, visto que de 70 a 80% das chuvas se concentram entre os meses de abril e agosto, enquanto que de setembro a março, ocorre a escassez das chuvas (SOUZA, et al., 2004). Sendo assim, verifica-se a

grande importância da água para o crescimento e desenvolvimento da cultura, em muitos casos tornando-se um fator limitante, porém, quando aplicada em excesso ocorre anoxia e lixiviação de nutrientes que são essenciais para seu bom desenvolvimento, e quando ocorre a falta da mesma, ocasiona o estresse hídrico e conseqüentemente a morte da cultura.

3.5 Irrigação de Cana-de-açúcar

A irrigação é uma técnica utilizada na agricultura que tem por objetivo o fornecimento controlado de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, assegurando a produtividade e a sobrevivência da plantação, através do umedecimento do solo. A irrigação em cana-de-açúcar é uma prática de suma importância na região canavieira do Nordeste, que na forma de “irrigação de salvação”, quando a soqueira tem dificuldade de nascer, ou “irrigação suplementar”, completando em parte o déficit hídrico da cana em desenvolvimento, tem um grande objetivo de garantir uma boa produtividade (REZENDE e ANDRADE JÚNIOR, 2019). No entanto, a resposta de produtividade não depende apenas da irrigação, mais sim de um conjunto de fatores como: quantidade de água e fertilizantes aplicados, do manejo de irrigação, idade de corte, tipo de solo e clima (GAVA et. al., 2011).

Apesar da irrigação não agir isoladamente no incremento de produtividade, é fato que a mesma proporciona ganhos de produtividade quando comparado ao cultivo em sequeiro. De acordo com Silva et al. (2014), a cana-de-açúcar responde qualitativamente e quantitativamente a irrigação. Por essa razão, a ausência de estresse hídrico pelo manejo da irrigação pode garantir a cana um elevado rendimento agrônômico, resultando em alta concentração de açúcares nos colmos, e conseqüentemente maior produtividade no campo (SILVA et al., 2014). Além do mais, a irrigação possibilita ainda aumento da longevidade do canavial, redução de custos das atividades de preparo e plantio, e também redução de custo com tratamentos culturais da cana soca. (FRIZZONE et al., 2001).

Porém, para que a irrigação seja eficiente, deve-se selecionar um sistema de irrigação de acordo com a cultura, tipo de solo, topografia, disponibilidade de hídrica, e energia, entre outros. Na cana-de-açúcar a irrigação é definida pela lâmina hídrica aplicada e pode ser feita de três modos: irrigação de salvação, que consiste na aplicação de uma lâmina de água na faixa de 30 a 60 mm no início do ciclo, visando a germinação e a manutenção do estande de plantas; Irrigação complementar, que tem como objetivo de completar o crescimento da cana, aplicam-se lâminas de 180 a 300 mm no final do

ciclo, parceladas em quatro ou cinco aplicações; e irrigação plena, como o próprio nome sugere, aplicam-se lâminas que superam toda a demanda hídrica da cultura. Em alagoas são aplicados 500 a 800 mm (CARDOZO, 2005).

3.6 Sistemas de Irrigação

Entende-se por sistema de irrigação os diferentes equipamentos que de forma organizada distribui água no solo. Os mais usados são: montagem direta com extensão, carretel enrolador, pivô central e sistema linear (SOUZA, 2005). O gotejamento é um sistema alternativo para uso eficiente da água.

a) – Aspersão por montagem direta com extensão:

Este sistema de irrigação é composto de moto-bomba, aspersores, tubulações e acessórios. O moto-bomba tem a finalidade de captar a água do reservatório, canal ou rio recalçando-a sob pressão através da tubulação. A fonte de energia usada nos motores é o óleo diesel ou energia elétrica. As bombas mais usadas neste sistema são as centrífugas, montadas em carretas móveis ou fixas, acopladas ao motor. As tubulações usadas são de alumínio, aço leve e pvc, sendo a de alumínio a mais usada por ser mais leve e de fácil manejo. Os tubos são dotados de acoplamento rápido e comprimento razoável para facilitar no transporte. O comprimento padrão é de 6 metros e o diâmetro de 6 polegadas (Figura 3).

Figura 2 – Moto-bomba utilizado para carretel, pivô e aspersão convencional.



Fonte: Google imagem.

a) – Aspersão por carretel enrolador:

Utiliza-se dos mesmos componentes do sistema montagem direta com extensão, a diferença está quanto às mudanças de posições dos aspersores, que são feitas através do equipamento mecanizado. O mais usado é o carretel enrolador. No carretel enrolador, o deslocamento se faz por tração do próprio tubo de alimentação, que é do tipo semirrígido de polietileno de média densidade, que é enrolado em um tambor de grande diâmetro. O aspersor é montado em um carrinho na extremidade do tubo. As mudanças destes equipamentos são realizadas por trator, a sua utilização é direcionada para fertirrigação e irrigação de salvação. A principal vantagem é a redução na mão-de-obra (Figura 4).

Figura 3 – Aspersão por carretel enrolador.



Fonte: Google imagem.

b) – Aspersão por pivô central:

O pivô central é um sistema que opera em círculo a uma velocidade constante. É indicado para irrigação de grandes superfícies; reduz substancialmente a necessidade de mão-de-obra. Este sistema é fixo, irrigando apenas a área circular, sendo pouco usado em cana de açúcar. Mais recentemente os pivôs, passaram a ser “móvel”, sendo transportados por trator para irrigar outras áreas circular.

O sistema pivô central móvel é constituído no seu planejamento operacional de estações-base quando é fixado o pivô, estas estações são definidas estrategicamente, facilitando o transporte do pivô de uma estação para outra, com uso do trator. Com esta operação, o equipamento amplia consideravelmente a extensão potencial da área passível de ser irrigada. (GUERRA et al., 1997). Ainda de acordo com o autor, as rodas do equipamento são móveis, permitindo giro perpendicular e/ou paralelo em relação à linha de torres do pivô, daí a facilidade de ser transportável de uma para outra estação (Figura 5).

Figura 4 – Aspersão por pivô central.



Fonte: Google imagem.

c) Aspersão por sistema linear:

O sistema de irrigação linear Parte do conceito de movimentação usado no pivô central e aproveitando partes de suas estruturas e componentes, porém, com inovação de um sistema de caminhamento, que permite mobilidade de todo o equipamento em sentido transversal sobre a cultura que se deseja irrigar. O sistema de alimentação chega através de canal, quando a água será tirada para irrigar a lavoura, pela tubulação de sucção, ou por tubulação pressurizada vinda diretamente do manancial, nessa linha são colocados hidrantes, quando são engatadas mangueira de polietileno que alimenta o sistema. Em toda a extensão da área será acompanhada por canal ou tubulação pressurizada (Figura 6).

Figura 5 – Aspersão por sistema linear.



Fonte: Google imagem.

3.7 Variedades e suas Características Agronômicas

Características agronômicas das cultivares descrita no catalogo Planalsucar – Ridesa (RB) e Copersucar (SP) – CTC.

RB92579

Características: Cultiva com alto perfilhamento, excelente produtividade agrícola, boa brotação da socaria que garante longevidade dos canaviais, bom fechamento das entre linhas, teor de sacarose alto, tombamento frequente, despalha difícil, florescimento eventual, maturação média a tardia, período útil de industrialização longo, média exigência a ambiente, altamente responsiva a irrigação, tolerante a ferrugem marrom e resistência a escaldadura.

SP79-1011

Características: Cultiva exigente em ambientes férteis, maturação média e tardia, boa brotação das soqueiras, alto teor de sacarose, baixo florescimento e isoporização, fechamento ruim da entre linha devido sua arquitetura, susceptível a ferrugem e a broca da cana e pode quebrar ponteiro com ventos fortes.

VAT90-212

Características: Destaca-se ela alta produtividade, altamente responsiva a irrigação e solos férteis, médio florescimento, resistente a pisoteio, adaptável a diversos ambientes e época de colheita na zona leste do Nordeste brasileiro se dá nos meses de outubro e janeiro.

SP92-1631

Características: Cultivar conhecida pela riqueza, produtividade e perfilhamento, exigente em solo fértil e irrigação, tolerante a cigarrinha da raiz, ferrugem laranja, broca da cana, *sphenophorus* e maturação media.

RB867515

Características: Cultivar com alta produtividade, perfilhamento media em cana planta e cana soca, ótima brotação da cana soca queimada, boa brotação da cana soca crua, bom fechamento da entrelinha, velocidade de crescimento rápido, cana de alto porte, maturação media tardia, despalha fácil, alto teor de sacarose, teor de fibra médio, eventual florescimento e tombamento, restrições média de ambiente, resistente a ferrugem marrom, carvão escaldadura e ao mosaico.

SP81-3250

Características: Ótima produtividade e brotação de soqueira, baixa exigência em solo, maturação e isoporização média, teor sacarose alto, baixo florescimento, alto teor de fibra, restrições de produtividade e longevidade em terras fracas e sucessível a cigarrinha.

3.8 Idade do Canavial

A idade do canavial pode ser definida como sendo o tempo de existência da lavoura decorrido desde o plantio até uma determinada data tida como referência. A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene que sofre renovação a cada ciclo de cultivo, correspondendo geralmente de 5 a 6 anos, dependendo das condições edafoclimáticas e tecnológicas de cada ambiente de produção (MELO, 2018).

A reforma do canavial é uma atividade complexa, porém necessária para viabilidade econômica da empresa e exige um planejamento técnico, operacional e financeiro (BORBA E BAZZO, 2009). A implantação de um novo canavial necessita de alto investimento e na maioria das vezes, o produtor só recupera seus investimentos a partir do 4º corte. (MICHELETTI et al., 2016). A reforma do canavial acontece porque, após cada corte o canavial vai se enfraquecendo com redução gradativa da produtividade, sendo necessário para que haja o fluxo contínuo de produção (GOMES

e BAJAY, 2017). Além do mais, canaviais mais velhos implicam diretamente em menos toneladas de cana por hectare (TCH).

Canaviais com alta longevidade é o desafio de todos os profissionais, visto que, a longevidade sofre influência de vários fatores tais como: características biológicas das variedades, dos tratos culturais adotados, do tipo e manejo de solo e principalmente das condições edafoclimáticas do local. Para Conab (2013), a perda de produtividade das lavouras de cana-de-açúcar é decorrente não somente do clima mais também da falta de investimento por parte dos produtores. Portanto, o canavial exige um cuidado especial por parte do produtor, pois é a base para o cultivo durante os próximos 5 ou 6 anos da cultura no campo (CNA, 2019).

3.9 Produtividade Agrícola da Cultura da Cana-de-açúcar

Produtividade agrícola é definida como sendo a quantidade de produção por unidade de área, que pode ser expressa em kg/ha ou t/ha e está diretamente ligada à eficiência na produção. É caracterizada pela alta produção de colmos por área, quando a qualidade indica alto teor de açúcar na cana, fato que ao relacionar à produtividade resulta na produção por unidade de área (MELO, 2018). Entretanto, a produtividade agrícola pode ser alterada em decorrência de fatores como, a variedade escolhida, o estágio de maturação, o manejo da cultura, e principalmente, em função das características de solo e clima da região (MANHÃES et al., 2015).

Para Silva et al. (2014) o fator que mais contribui para as oscilações da produtividade é o clima, principalmente aqueles que apresentam baixa pluviosidade e má distribuição das chuvas. Alagoas maior produtor de cana-de-açúcar da região Nordeste, teve seu pior registro na história do setor canavieiro na safra 2017/18. No passado o estado alcançou mais de 28 milhões de toneladas por ciclo e despencou para 13 milhões de toneladas, o que corresponde menos da metade do que já foi registrado no auge de sua produção. A causa maior sem dúvida foi a seca, que dizimou algumas áreas de cana-de-açúcar no estado, o que acarretou na diminuição contínua da produtividade (Tabela 2). Para se ter uma ideia, na estimativa da safra 2018/19 o Brasil apresentou produtividade média de 72,2 t ha⁻¹. Na mesma safra, Alagoas teve produtividade de 55,2 t ha⁻¹, ao passo que, a região Nordeste do Brasil apresentou rendimento agrícola médio de 53,2 t ha⁻¹ (CONAB, 2019), (Tabela 3). O baixo rendimento alagoano está relacionado com o manejo agrônomo de incipiente nível tecnológico.

Tabela 2 – Evolução da produtividade (t ha⁻¹) da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas no período das safras de 2013/14 a 2018/19.

Ano/Safra	Produtividade (t ha⁻¹)
2013/14	53,7
2014/15	58,2
2015/16	50,0
2016/17	49,7
2017/18	44,9
2018/19	55,2

Fonte: Adaptado da Conab, com base nas safras 2013/14 a 2018/19.

De acordo com Noronha, (2018) a queda de produtividade influenciada pelas baixas pluviosidades, aliadas a retração das áreas reformadas e a intensa mecanização não favorecem a meta de produtividade acima de 100 toneladas por hectares estipulada pelas usinas e fornecedores de cana-de-açúcar. A produtividade tem um importante papel a desempenhar na questão da competitividade da cana-de-açúcar, mas para isso é necessária mudança drástica, no que diz respeito ao uso de tecnologias de ponta. Pois só assim será possível alcançar menores custos de produção e aumentar a produtividade (OLIVEIRA, 2018).

Segundo, Moraes et al. (2016) é importante que se conheça e entenda as correlações existentes entre os atributos produtivos e os tecnológicos da planta com os do solo, de forma a contribuir não apenas com a redução dos custos, por meio de manejos localizados, mas também com a forma de proporcionar o aumento da produtividade da cultura e da qualidade do material colhido.

Tabela 3 – Comparativo de produtividade (t ha⁻¹) entre Brasil, Região Nordeste e Estado de Alagoas para a safra 2018/19.

Espaço geográfico	Produtividade média (t ha⁻¹)
Estado de Alagoas	55,2
Região Nordeste	53,2
Brasil	72,2

Fonte: Adaptado da Conab. Primeiro levantamento, v.5 - safra 2019/20.

Diante do atual cenário, em Alagoas novas tecnologias de irrigação foram implantadas a partir de 2000, com o objetivo de amenizar as oscilações da produtividade independentemente do regime pluviométrico (SOUZA, 2005).

3.9.1 Produtividades de Cana-de-açúcar Irrigada e Sequeiro

A irrigação exerce papel fundamental no agronegócio quando se fala em produtividade, como um dos principais instrumentos para modernização da agricultura brasileira, permitindo enormes benefícios, em especial no cultivo da cana-de-açúcar. Sendo uma ferramenta essencial em regiões com clima semiárido, como no Nordeste, logo, é algo que os produtores locais já conhecem e sentem vontade de desenvolver.

A produtividade agrícola dos canaviais brasileiros vem sendo muito discutida ao longo dos últimos anos. A necessidade de aumento de produtividade e a redução de custos levam a uma tendência de adoção de tecnologias capazes de tornar a exploração agrícola cada vez mais rentável. No Brasil, apenas 12% da cana é irrigada, com destaque para os canaviais do Nordeste, que apresenta cerca de 70% da área cultivada. Enquanto nos outros grandes produtores mundiais, a média é de 30% (SILVA, 2015).

De acordo com Freitas (2009) nos trópicos, a produtividade da cana-de-açúcar, na faixa de 70 a 120 t ha⁻¹, pode ser considerada bom rendimento no cultivo de sequeiro. Mas, na maioria das nossas regiões, a produtividade da cana, sob o cultivo de sequeiro, está bem abaixo desses valores e, no cultivo irrigado, é comum não ultrapassar 100 t ha⁻¹. Em Alagoas a produtividade nas áreas de sequeiro, em sua maioria em terras de produtor de cana, está com a média de 30 toneladas por hectare, o normal é em torno de 60 toneladas por hectare. Só quem conta com irrigação para alcançar uma média razoável e, assim, se manter na atividade canavieira. (CANAONLINE, 2017).

Os produtores de cana que não utilizam irrigação estão acostumados com um rendimento de 60 a 80 toneladas por hectare. Muitos não acreditam quando escutam que esse número pode subir para 140, 150 por hectare. Mas, o fato é que a irrigação por pivô consegue, sim, ter esse efeito multiplicador, se aliado a boas práticas de cultivo, pode proporcionar um aumento de produtividade (GRUPOCULTIVAR, 2019). A cana-de-açúcar irrigada normalmente produz maior massa em relação a cana sequeiro.

Geralmente, nos canaviais tradicionalmente irrigados no Brasil, a irrigação consiste na aplicação de uma lâmina de 60 a 80 mm de água após cada corte anual, proporcionando um incremento médio de produtividade de 12 a 15 t ha⁻¹ (PEREIRA et al., 2015). O consumo diário de água pela cana-de-açúcar nas principais regiões

produtoras do país, dependendo da variedade, do estágio de desenvolvimento da cultura, da demanda evapotranspirométrica em função do mês e da região (variação temporal e espacial), em geral, tem variado de 2,0 a 6,0 mm/dia (FREITAS, 2009).

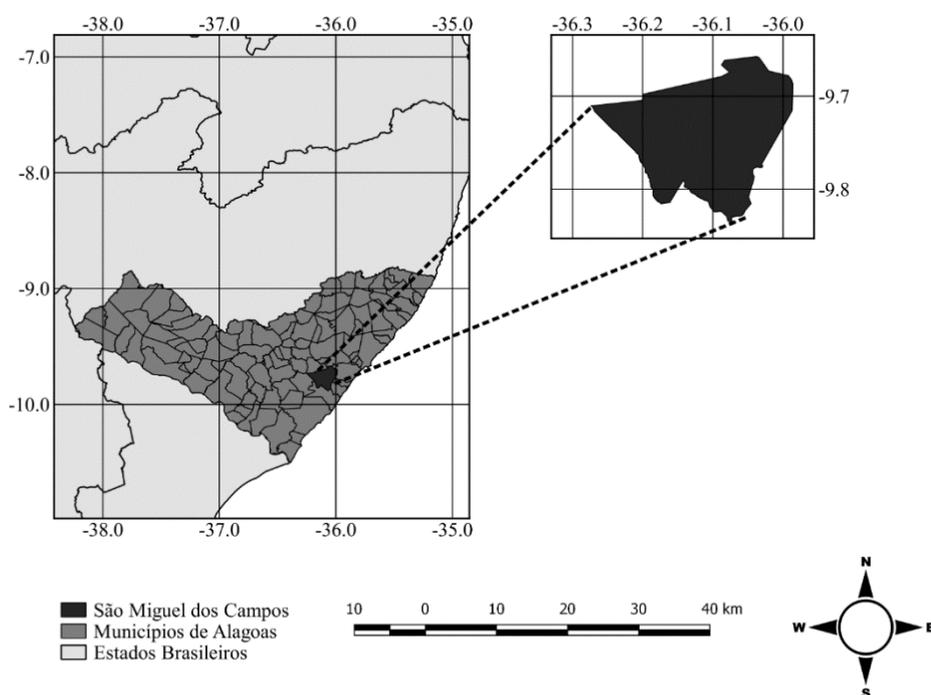
De acordo com Bernardo (2005), a irrigação no Brasil, infelizmente, ainda não está sendo praticada com eficiência, portanto, ao manejar de forma racional qualquer projeto de irrigação, devem-se considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência de uso de água e minimizar os custos, quer de mão-de-obra, quer de capital, de forma a tornar lucrativa a utilização da irrigação. Ou seja, não se deve fazer irrigação só para dizer que se está fazendo agricultura irrigada, mas sim com o objetivo de aumentar o lucro, com o aumento da produtividade, quer em quantidade, quer em qualidade.

4.0 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de Estudo

A pesquisa foi realizada na unidade produtora de cana-de-açúcar, Usina Caeté Matriz, localizada no município de São Miguel dos Campos, na microrregião da Zona da Mata alagoana, com as seguintes coordenadas 09°46'52" S; 36°05'37" W (Figura 6). O clima da região é tropical semiúmido megatérmico (As), segundo a classificação de Köppen e Geiger 1949. A precipitação pluvial média anual é de 1.300 a 1.800 mm, caracterizada por uma distribuição temporal irregular, com deficiência de água no verão e excesso de chuvas no inverno. Este trabalho foi executado com base nos dados agroindústrias de oito safras, a partir de setembro de 2010 (safra 2010/11) a março de 2018 (safra 2017/18), das variedades de cana-de-açúcar cultivadas na Usina Caeté – Matriz.

Figura 6 – Localização da unidade produtora de cana-de-açúcar (Usina Caeté – Matriz), no Município de São Miguel dos Campos - AL.



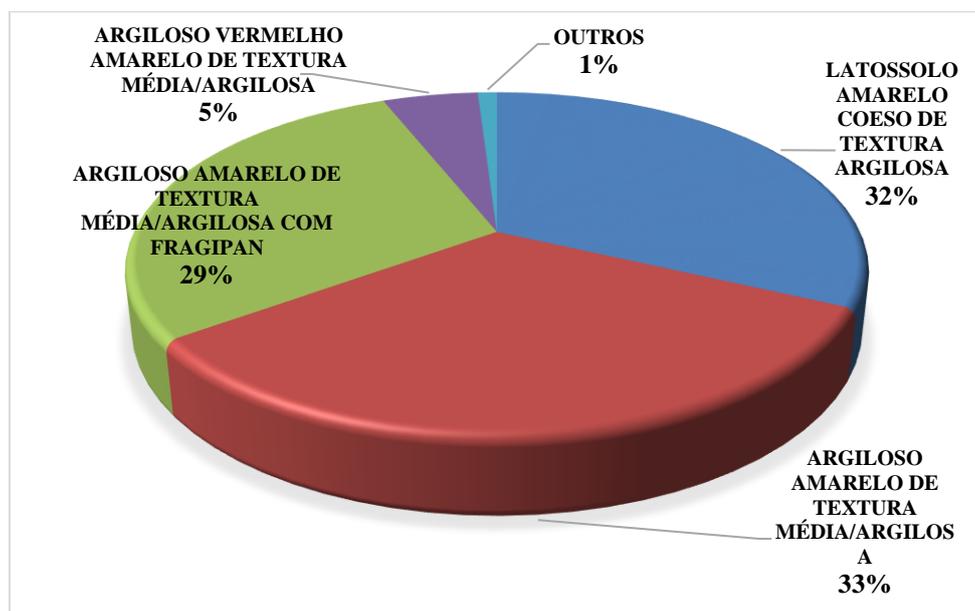
Fonte: Autor (2019).

4.2 Solo da Região

O solo predominante na região é Argissolo Amarelo de textura média/argilosa, com relevo suave ondulado, conforme Jacomine et al. (1975) atualizado de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2006).

A usina Caeté tem uma classificação própria realizada em junho de 1993 pelo professor Dr. Mateus Ribeiro e Elmo Clarck, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRP), em que foram constatados quatro tipos de solos predominante: latossolo amarelo coeso de textura argilosa, argiloso vermelho de textura média argilosa, argiloso amarelo de textura média argilosa com fragipan e argiloso amarelo de textura média argilosa (Figura 7). Essa classificação foi feita para conhecer as características físicas e químicas dos solos, para adequar o manejo e tratos culturas da cana-de-açúcar.

Figura 7 – Tipos de solos da área de cultivo da usina Caeté Matriz.



Fonte: Autor (2019).

4.3 Manejo e Tratos Culturais dos Canaviais na Usina Caeté – Matriz

a) – Plantio

O plantio de cana-de-açúcar na Usina Caeté é realizado tradicionalmente de forma manual através do sistema convencional. A implantação de um novo canavial iniciasse com a correção do solo aplicando calcário e gesso na proporção de 2:1 e dosagem determinada com base nos resultados de análise química de solo. O preparo do solo começa com as operações de gradagem (dois cortes com grades pesadas), em seguida, vem a subsolagem na profundidade de 45 cm, mais balizamento. Posteriormente, a operação de sulcamento, que geralmente é realizado junto à adubação química. Todavia, a adubação só é realizada quando não é feito a aplicação de torta de filtro (resíduo industrial da cana-de-açúcar). A profundidade do sulco é de 35 cm, em linhas duplas, no espaçamento

de 0,50 por 1,50 m, com volume de sementes em torno de 8,0 t ha⁻¹. A operação de cobertura da cana-de-açúcar é acompanhada de aplicação de cupinicida, principalmente nos contornos de matas, quando ocorrem as maiores incidências desses insetos pragas. Por fim, a cobertura é feita com 8 a 10 cm de solo sobre as sementes de cana.

b) – Adubação

A recomendação de adubação e calagem da Usina Caeté, baseia-se em resultados de análise de solos, saturação de bases, variedades, produtividades e históricos das áreas. Nas áreas que recebem *Crotalaria spectabilis*, como adubação verde, não se utiliza adubo nitrogenado no plantio. Plantio com torta de filtro e vinhaça, também não se coloca adubo mineral. A adubação de socaria é feita com base na expectativa de produção dos talhões (Tabela 1).

Tabela 4 – Recomendação de adubação com base na expectativa de produtividade (toneladas de colmo) do talhão, na Usina Caeté Matriz.

Para cada 1,0 t de colmo prevista, utiliza-se: - 1,2kg de N e - 0,8kg de P₂O₅

Se K₂O ≤ 40ppm, utiliza-se - 1,52kg de K₂O

Se 40 < K₂O ≤ 80ppm, utiliza-se 1,2 kg K₂O

Se 80 < K₂O ≤ 160ppm utiliza-se 0,8kg K₂O

K₂O > 160ppm, não se utiliza potássio

Fonte: Autor (2019).

Nas áreas fertirrigadas com vinhaça, não se usa adubação potássica e também não se utiliza fósforo nas áreas de socaria quando o solo apresenta teores de P₂O₅ igual ou maior que 20ppm (P₂O₅ ≥ 20ppm).

c) – Irrigação

O manejo de irrigação da Usina Caeté, é realizado considerando duas formas de aplicação: irrigação de salvação e irrigação suplementar. A irrigação de salvação consiste em irrigar somente num período relativamente curto, apenas para garantir a germinação ou rebrota das plantas, com a aplicação de duas ou três irrigações de 50 milímetros, após o plantio, em cana-planta, ou após os cortes, em cana-soca. Neste tipo de manejo se utiliza carretel enrolador ou aspersor tipo canhão de alta pressão (aspersão convencional). No entanto, na irrigação suplementar a água é utilizada para atender em parte a demanda evapotranspirométrica da cultura, quando são aplicados em média três lâminas de 60 mm

de água a cada 30 dias (total médio de 180 mm). Para o manejo dessa irrigação usa-se o pivô linear móvel e neste último caso, obtém-se menores quedas de produtividade da cultura. O corte da irrigação acontece quando o balanço entre TCH e ATR obtém um ponto ótimo em que o déficit gerado não cause grandes interferências no TCH, mas seja suficiente para elevar o ATR. No caso de final do ciclo coincidi com o final ou início da estação chuvosa, os Maturadores passam a ser fundamentais.

d) – Herbicida

O principal método de controle de plantas daninhas utilizado é o químico através da aplicação de herbicida, tanto em condições de pré como de pós-emergência das plantas e a aplicação de herbicida é realizada de forma manual ou mecanizada. As principais ervas daninhas encontradas na usina são melão são caetano, capim alho, gengibre e capim sempre verde. A aplicação de herbicida inicia-se às 03h00min e estende-se até as 10h00min. A usina utiliza aproximadamente 22 tipos de herbicidas, dentre os quais destacam-se: Dinamic (fertilizante: folhas largas); Plateau (pré-total); Broker (graminicida); Provence (graminicida); Velpar-k (graminicida e latifolicida); Sinerge; Diuron; Boral; Dual Gold; Advance; Sinerge + Boral; Diuron + Boral e Boral + Velpar-k. Além disso, existem ainda o Gramoxone, Callisto, Dominum, Goal, Gliz, Dontor, Aurora, Flumyzim, Tebuthiuron, Contain, Silwet etc. É importante ressaltar que a empresa adota a rotação de moléculas, com o intuito de evitar resistência das plantas daninhas aos herbicidas.

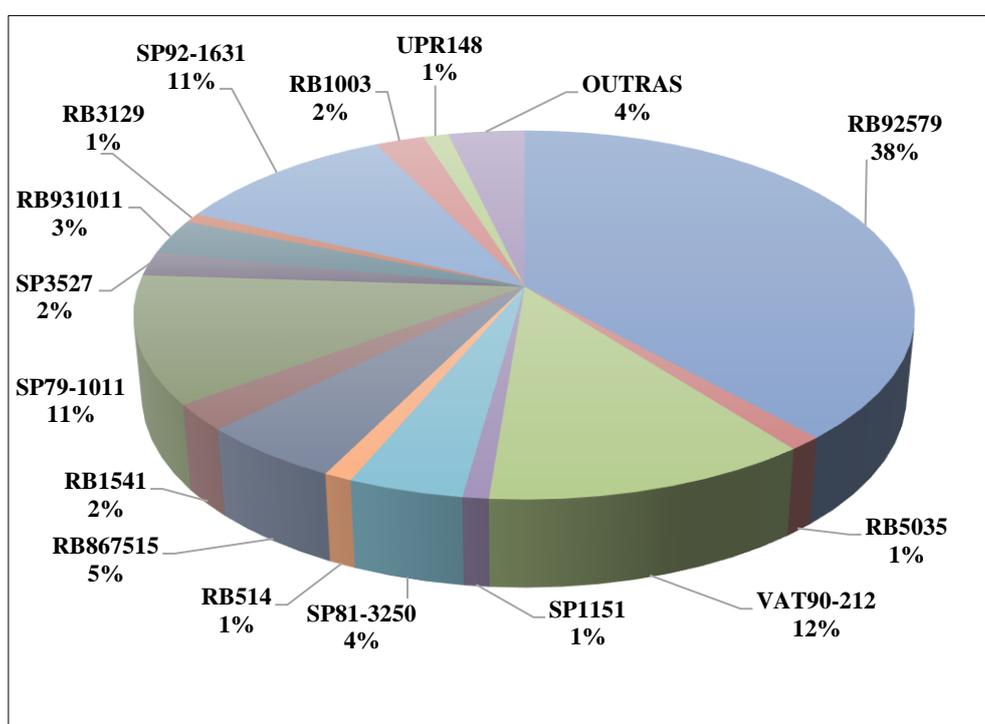
e) – Controle de Pragas

A Usina Caeté faz o monitoramento de pragas durante todo o ciclo da cultura, no sentido de diminuir e evitar possíveis perdas nos canaviais. No momento ou após a colheita iniciam-se os primeiros levantamentos de infestação de pragas em particular a Broca Gigante (*Telchin licus licus*), *Diatraea flavipenella*, (broca do colmo), Cigarrinha da raiz (*Mahanarva fimbriolata*), Lagarta Elasma e Ipanema. Dependendo do índice de infestação do canavial, inicia-se controle, com produtos biológicos ou químicos específico.

4.4 Cultivares Utilizadas na Usina Caeté Matriz

As cultivares de cana-de-açúcar escolhidas para esse estudo foram (RB92579; SP79-1011; VAT90-212; SP92-1631; RB867515 e SP81-3250) que juntas representam mais de 80% da área cultivada na usina Caeté Matriz. Os canaviais estudados foram de cana planta, 1ª soca, 2ª soca, 3ª soca, 4ª soca e 5ª soca, com idade de 12, 24, 36, 48, 60 e 70 meses, respectivamente. Na Figura 8 consta o censo varietal da Usina Caeté Matriz na safra 2017/18.

Figura 8 – Censo varietal da Usina Caeté - Matriz, na safra 2017/18.



Fonte: Autor (2019).

4.5 Manejo de Variedades Usina Caeté - Matriz

O manejo de variedades de cana-de-açúcar na Usina Caeté é realizado de forma técnica e criteriosa, após experimentos conduzidos em campo, que buscam obter variedades que explorem o máximo de cada ambiente em rendimento em toneladas de cana por hectares e em toneladas de pol por hectares. A seleção da variedade de cana-de-açúcar para o cultivo em diversos locais, tem recebido cada vez mais atenção dos técnicos da empresa, haja vista a necessidade de diminuir os efeitos negativos das interações ambientais, e assim atingir maiores produtividades agroindustriais nas diversas épocas e ciclos de colheita.

A cultivar RB92579 hoje é cultivada em todos os ambientes de produção da empresa, com proposta de colheita para início, meio e fim de safra. A RB92579 mesmo irrigada quando colhida em fim de safra apresenta acamamento, enraizamento, amarelecimento das folhas e colmos secos. A SP79-1011 atualmente também é cultivada em ambientes de sequeiro e irrigados. Por isso também é colhida em início, meio e fim de safra.

A cultivar SP92-1631 já foi plantada em todos os ambientes de produção da usina. Atualmente o ambiente que ele se encontra são de solos nobres de boa fertilidade e com disponibilidade de água. É conduzida apenas em áreas irrigadas com pivô linear e manejada para colheita em meio e fim de safra. A SP81-3250 já fez parte do quadro de variedades mais plantadas na usina Caeté, mais o surgimento da ferrugem laranja fez com que a empresa interrompesse o plantio dessa variedade. Atualmente trabalha com a hipótese extinguir esta cultivar do seu portfólio de cultivo.

A RB867515 é cultivada debaixo de pivô, por causa da perda de peso na falta de unidade no solo. No entanto, uma pequena parcela é destinada ao cultivo em sequeiro e manejada para ser colhida em início de safra

4.6 Variáveis Agrometeorológicas e Balanço Hídrico Climatológico

As variáveis agrometeorológicas de evapotranspiração de referência (ET_o), velocidade do vento (UR) e umidade relativa do ar (HR), foram cedidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) que mantém uma estação automática no Centro de Ciências Agrárias CECA/UFAL, (Figura 14). A estação fica localizada no município de Rio Largo – AL, nas coordenadas 21°33'20" latitude sul e 48°47'58" longitude oeste. E os dados de precipitação pluvial utilizados neste trabalho, foram obtidos nos registros meteorológica da Usina Caeté. Os dados de ET_o e UR da estação agrometeorologia do CECA foi utilizada no balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, por que a distância entre as duas localidades é da ordem de 40 km, em linha reta. E ambas localidades estão na mesma região climatológica que é os Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

O balanço hídrico da cultura foi realizado utilizando-se o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), seguindo as considerações realizadas por Pereira et al. (1997). Assumindo uma capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm, dado obtido por estudos hidrofísicos do solo. Os parâmetros do balanço hídrico calculados, foram evapotranspiração real (ET_r), armazenamento de água no solo (ARM), negativo

acumulado (NEG. ACUM), alteração de água no solo (ALT), deficiência hídrica (DEF) e excesso hídrico (EXC).

4.7 Produtividade Agrícola da Cana-de-açúcar

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar foi obtida, através de um banco de dados sistematizado da Usina Caeté Matriz que dispõe de diversas informações, no entanto, só foram coletados apenas, os dados relativos a idade do canavial (soca), produtividade agrícola (TCH), açúcar total recuperável (ATR), sistemas de cultivo irrigado e sequeiro e variedade.

As informações coletadas foram organizadas em uma planilha do Excel, e analisadas no software ORIGIN 6.0, quando foram gerados gráficos referentes idades do canavial, produtividade, variedade e sistemas de cultivo (com e sem irrigação).

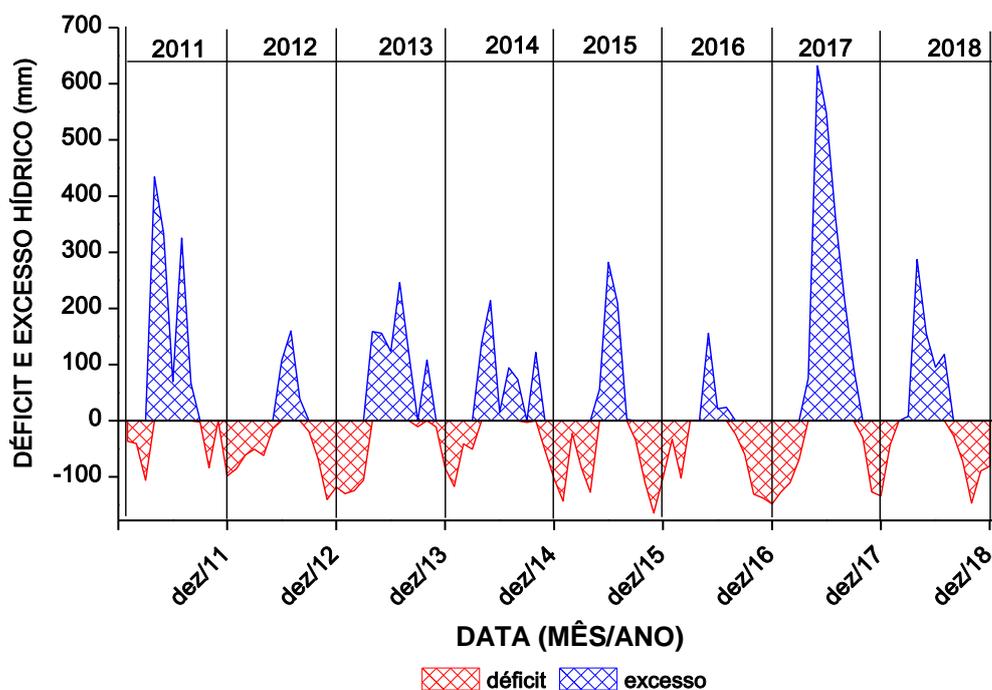
5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Balanço Hídrico Climatológico

Os maiores índices pluviométricos foram verificados nos meses de abril, maio e julho de 2011 com 591, 426 e 417 mm respectivamente, e de abril a setembro de 2017 quando foram registrados 2.823,6 mm. A ocorrência de chuvas foi abaixo da média (1.800 mm), nos anos de 2012, 2014, 2015, 2016 e 2018, em que os anos mais críticos foram os de 2012 e 2016, quando os volumes pluviométricos registrados foram de 1.211 e 1.144 mm, respectivamente.

No Balanço Hídrico da Figura 9, observa-se que houve uma deficiência hídrica, no período de 2011 a 2018, média anual de 536,6 mm. A carência hídrica foi maior no período de agosto de 2016 a março de 2017 (805,5 mm). Houve também um déficit acentuado de 705,2 mm, entre setembro de 2012 e março de 2013. No período de setembro de 2015 a fevereiro de 2016, ocorreu deficiência hídrica de 544,15 mm. Já de novembro de 2013 a março de 2014, foi registrado um déficit de 303,53 mm, sendo considerado um dos menos críticos no período de 2011 a 2018.

Figura 9 – Balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar, com ênfase para o excesso e a deficiência hídrica, no período de 2011 a 2018, na região dos Tabuleiros Costeiros de São Miguel dos Campos – AL.



Fonte: Autor (2019).

No entanto, de abril a julho de 2016, houve um excedente hídrico de 202,1 mm. Em 2012 esse excedente foi de 305,8 mm, registrados entre os meses de junho a agosto. Já os excessos hídricos ocorridos em 2014 e 2015 foram de 657,1 e 549,8 mm respectivamente. Mas em 2017 esse excesso hídrico ocorreu entre os meses de abril a setembro, com um total de 1.927,8 mm, que se refletiu no crescimento e desenvolvimento da cana-de-açúcar.

A deficiência hídrica do ano de 2016 foi a mais severa dos últimos 50 anos e atingiu principalmente a cultura da cana de açúcar e a pecuária (LOPES et al., 2017). De acordo com o mapa do Monitor de Secas do Nordeste, da ANA, 33,6% do território nordestino apresentava em dezembro de 2015, seca nível 4, o mais alto da escala e classificado como seca excepcional, em 2015 esse índice chegou a 47% e, em 2016, a 65% (MADEIRO, 2018). Conforme, Rebello (2018) desde o início de registro destes dados a mais de cem anos, nunca houve um período de seis anos consecutivos com chuvas abaixo da média. Um levantamento realizado pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (Semarh), observou, que no ano de 2017 choveu quase o dobro do que foi registrado em 2018.

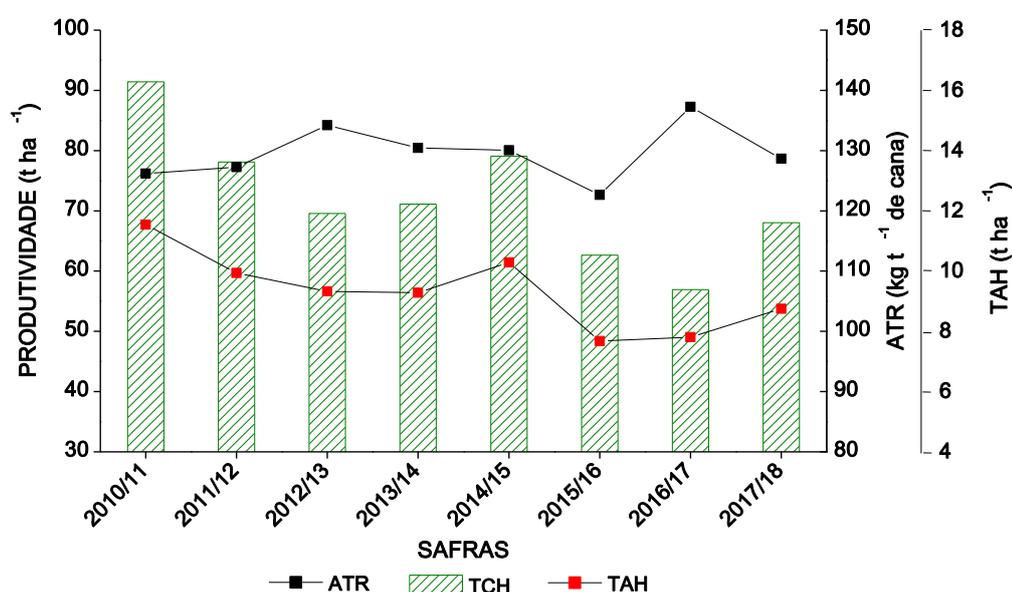
5.2 Produtividade Agrícola

A maior produtividade agrícola da cana-de-açúcar na Usina Caeté, no período de 2010 a 2018, foi observada na safra 2010/11, com média de 91,43 t ha⁻¹ de TCH e 11,54 t ha⁻¹ de TAH. Já a produtividade mediana foi encontrada nas safras 2013/14 e 2014/15 com 70,33 t ha⁻¹ de TCH e 9,78 t ha⁻¹ de TAH, respectivamente. O pior desempenho foi observado na safra 2016/17 com 56,92 t ha⁻¹ de TCH e 7,81 t ha⁻¹ de TAH. Contudo, a média geral entre os anos de 2010 a 2018, foi 72,11 t ha⁻¹ de TCH e 9,33 t ha⁻¹ de TAH.

Essa alternância de produtividade está relacionada com as oscilações da precipitação pluvial ocorrida nos últimos anos. A explicação para isso pode ser vista em todos os anos agrícolas, com destaque para as safras de 2012/13, 2015/16 e 2016/17 quando a deficiência hídrica, média dos três anos foi de 686 mm, reduziu seriamente a produtividade agrícola de TCH e TAH, cujas médias foram 69,55, 62,66 e 56,92 t ha⁻¹ de TCH e 9,33, 7,68 e 7,81 t ha⁻¹ de TAH respectivamente. O inverso ocorreu na safra de 2010/11 e 2017/18, quando choveu 1.807 e 2.823 mm que contribuíram para o aumento das produtividades agrícolas, 91,43 e 68,04 t ha⁻¹, respectivamente. De acordo com Torres (2016), a resposta de produtividade da cana-de-açúcar é bastante influenciada pelas

variações climáticas ao longo do ciclo vegetativo, o que pode trazer benefícios ou prejuízos para a cultura. Para Abreu et al (2013), a variação climática anual na região Nordeste do Brasil tem sido uma das principais causas de redução da produtividade agrícola dos canaviais. Para esses autores a disponibilidade de água é essencial para o crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar porque sua falta ou excesso pode influenciar diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Figura 10 – Produtividade agrícola média, em toneladas de cana por hectare (TCH), açúcar total recuperável (ATR) e tonelada de açúcar por hectare (TAH) nas safras de 2010/11 a 2017/18, na Usina Caeté, São Miguel dos Campos-AL.



Fonte: Autor (2019).

Analisando o ATR (açúcar total recuperável), verifica-se que os valores mais elevados foram observados nas safras 2012/13 e 2016/17 com médias de 137,28 e 134,21 kg de ATR por tonelada de cana. E os piores resultados ocorreram nas safras de 2010/11 e 2015/16 com 126,20 e 122,65 kg t⁻¹ de ATR. A média geral no período de 2010 a 2018 foi 129,60 kg t⁻¹ de ATR. Normalmente em anos chuvosos com altas produtividades agrícolas, o ATR é baixo porque as plantas tendem a permanecer vegetando e não amadurecem. De modo que em alguns casos é preciso fazer maturação química dos canaviais para melhorar o rendimento de açúcar por tonelada de cana. Esse comportamento, até certo ponto explica os valores de ATR observados nas safras 2010/11 e 2017/18. De acordo com Santos (2018), além de alterar o processo de hidratação da cana-de-açúcar, as chuvas aumentam a quantidade de impurezas e reduz a qualidade da planta afetando negativamente a produção e a concentração de açúcares.

Esses resultados demonstram que os maiores teores de sacarose da cana-de-açúcar são encontrados em períodos mais secos, como exemplo das safras de 2012/13 e 2016/17, quando a precipitação pluvial foi 1.242 e 1.178 mm e o teor de sacarose no canavial foi 134,21 e 137,28 kg t⁻¹ de ATR (Figura 10). Para Scarpari (2002) bons rendimentos de açúcares são encontrados em via de regras em regiões de estações climáticas acentuadamente secas. É indiscutível que o tempo seco de fato afeta significativamente as lavouras de cana-de-açúcar, mais a estiagem, contudo, tende a favorecer a concentração de ATR, até certo ponto (GOMES, 2018).

Elevados índices de estresse hídricos diminui a concentração de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR), e podem acarretar efeitos mais severos, nas taxas de crescimento, na produção de fitomassa e no rendimento de sacarose. Mas para muitos pesquisadores, o tempo seco e lavouras envelhecidas, são os fatores que mais influenciam para baixa perspectiva de produtividade e rendimento de açúcares. Apesar da expectativa de haver uma ligeira melhora de TCH e TAH na safra de 2017/18, a produtividade média ainda é baixa, frente ao real potencial produtivo da cana-de-açúcar, que pode atingir mais de 120 t ha⁻¹ em áreas comerciais.

5.3 Produtividade Agrícola em Função da Idade do Canavial.

Na Figura 11 é apresenta a produtividade média em função da idade do canavial, nas áreas de cana-planta até as áreas de quarta ou mais socas e as perda gradativa de produtividade proporcional ao envelhecimento do canavial. Todavia quando utilizamos o modelo de regressão polinomial para estimar a produtividade agrícola média da cana-de-açúcar, observa-se que a equação estimada explica em 96,92% a variabilidade dos dados. Observando a relação de produtividade e idade do canavial, verifica-se que a medida em que o mesmo fica mais envelhecido a produtividade vai tendo um declínio médio de 12,29 t ha⁻¹ ano.

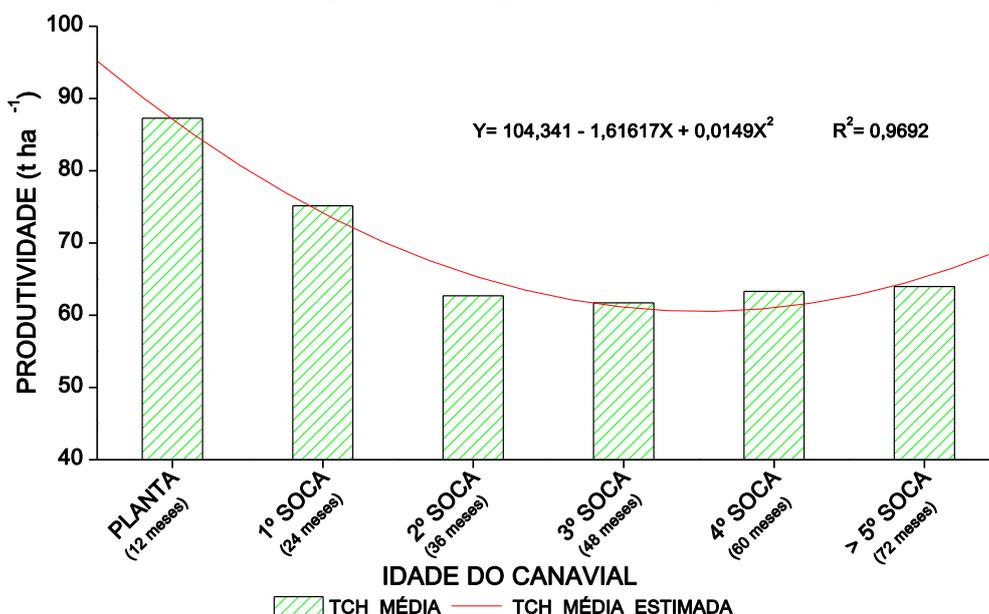
Embora os canaviais indiquem que há um ritmo contínuo de queda da produtividade, é importante ressaltar que a capacidade de rebrota da planta possibilita vários cortes, sendo a cana-planta a mais produtiva porque o canavial está com seus nutrientes reestabelecidos do ponto de vista físico e químico. O rendimento agrícola da cana no primeiro corte, observada nessa pesquisa ficou entorno de 87,27 t ha⁻¹, enquanto que a primeira soca apresentou produtividade média de 75,14 t ha⁻¹, uma queda de aproximadamente de 14% em relação a cana-planta. Esse índice continua a baixar nos anos seguintes com 62,68 t ha⁻¹ segunda soca e 61,67 t ha⁻¹ terceira soca, depois o canavial

começa a apresentar uma estabilidade de produção, conforme os seguintes dados: quarta soca 63,31 t ha⁻¹ e quinta soca em diante 63,67 t ha⁻¹, expondo assim uma leve estabilidade na produção do canavial, entre a 3^a e 5^a soca, ou 48 e 72 meses de idade.

Resultados semelhantes foram apresentados pela CONAB (2013), com base na produtividade agrícola média da cana-de-açúcar em Alagoas na safra de 2011/12 com média de 86,30; 76,76; 72,09; 66,30 e 62,99 t ha⁻¹, no 1^o, 2^o, 3^o, 4^o e 5^o corte, respectivamente. No Brasil os dados apresentados para essa mesma safra (2011/12) foram 90,56; 77,60; 68,50; 63,39 e 59,29 t ha⁻¹, em canaviais de cana-planta, 1^a soca, 2^a soca, 3^a soca, 4^a soca e 5^a soca, ou com 12, 24, 36, 48, 60 e 72 meses de idade.

De acordo com estudo econômico do ciclo de produtividade da cana-de-açúcar para reforma do canavial, Borba et al (2009), na região de São Paulo constatou que a produtividade da cana no sexto ano foi de 68,0 t ha⁻¹, sendo 62% menor do que no primeiro corte, a partir daí os retornos econômicos decresceram, inviabilizando a manutenção do canavial existente, tornando-se necessário a renovação do cultivo. Esses autores relataram ainda que a produtividade da cana-de-açúcar na região Norte/Nordeste diminui 64% do primeiro para o sexto corte e entre o 4^o e o 5^o corte, essa redução é apenas 6,2%.

Figura 11 – Produtividade agrícola média (TCH) nas safras de 2013/14 a 2017/18, na Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, em função da idade do canavial.



Fonte: Autor (2019).

Estudando a rentabilidade em função do plantio na região de Itapetininga – SP, Padovan (2019), observou uma queda contínua de produtividade, saindo de 115,0 t ha⁻¹

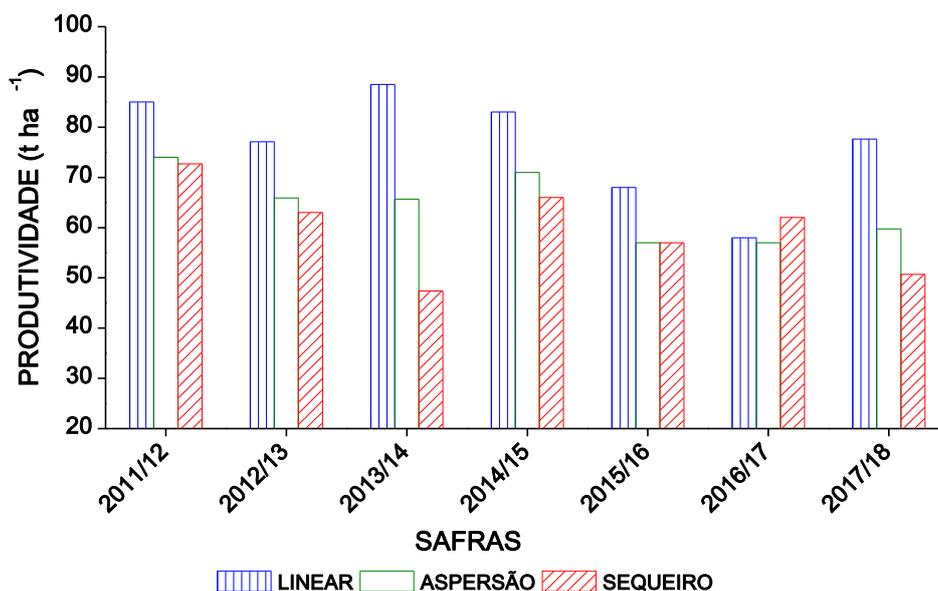
no primeiro corte para menos de 59,0 t ha⁻¹ no sétimo corte. Essa queda de produtividade entre os ciclos de produção força o produtor a substituir o canavial a partir da sexta colheita. Para Bressan Filho e Andrade (2013), em condições normais, e se não houver uma perda muito acentuada no estande de plantas por problemas de clima ou de manejo, a idade média do canavial é de seis cortes na maioria dos estados brasileiros.

Gomes e Bajay (2017), fez uma estimativa econômica de reforma do canavial e concluiu que na região tradicional do Centro-Sul do Brasil, acontece no 7º corte, com produtividade média do canavial de 66,0 t ha⁻¹. A implantação de um novo canavial é uma atividade complexa e necessita de alto investimento, porém necessária para viabilidade econômica da empresa. Por esta razão, canaviais com baixa produtividade a partir da terceira e quarta soca, pode inviabilizar economicamente a atividade canavieira. Segundo Micheletti (2016), o produtor só recupera seus investimentos realizados no plantio a partir do 4º corte de sua produção. Portanto, canaviais com longevidade alta é o desafio para todos os profissionais, tendo em vista que o sucesso e a longevidade da lavoura depende muito de uma boa formação do canavial.

5.4 Produtividade da Cana-de-açúcar em Diferentes Sistemas de Cultivo

Na Figura 12, consta os resultados da produtividade da cana-de-açúcar em função dos sistemas de cultivo linear, aspersão e sequeiro. Observa-se que em todas as safras, exceto na 2016/17 a produtividade do sistema de irrigação linear foi maior, quando comparada aos demais sistemas de cultivo. Isso ocorre devido a boa uniformidade de distribuição da água na lavoura. De acordo com Coelho et al (2005), esse sistema é mais eficiente, em relação a aspersão convencional que apresenta eficiência entre 50 e 60%, enquanto que o pivô linear fica em torno de 85%, mas essa eficiência pode aumentar para 90 e 95% dependendo da altura dos aspersores em relação a superfície do solo. Além disso, a lâmina de irrigação utilizada no sistema linear é em média 180 mm, enquanto que a lâmina na aspersão convencional varia entre 100 e 150 mm. Com relação ao cultivo em sequeiro, por ele ser sujeito aos intemperes do tempo, a sua produtividade agrícola será sempre inferior aos demais sistemas de cultivos irrigado. Em todas as pesquisas envolvendo as culturas de sequeiro e irrigada, as conclusões são unânimes em afirmar que há incremento de produtividade na cultura irrigada em relação à cultura sem irrigação (LAURENTIZ et al., 2019).

Figura 12 – Produtividade agrícola média, nas safras de 2011/12 a 2017/18, na Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, em função do sistema de cultivo.



Fonte: Autor (2019).

Nas últimas sete safras, as maiores produtividades foram observadas em 2011/12 e 2014/15 com médias 78,11 e 79,08 t ha⁻¹ (Figura 10). Nessas mesmas safras, os canaviais com irrigação por sistemas linear produziram em média 85,0, e 83,0 t ha⁻¹, enquanto, que a aspersão convencional ficou entorno de 74,0, e 71,0 t ha⁻¹ e o sequeiro com 72,7 e 66,0 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 12). Na safra 2013/14 as áreas irrigadas com sistema linear tiveram a maior produtividade do período analisado (safra 211/12 a 217/18), com 88,5 t ha⁻¹, enquanto que na irrigação por aspersão convencional nessa mesma safra a produtividade foi 65,7 t ha⁻¹ e nas áreas de sequeiro a média foi 47,0 t ha⁻¹. A justificativa para isso está nos índices de déficit e excesso hídricos apresentados na Figura 9, visto que na safra 2013/14 a precipitação pluvial foi 1.896,60 mm os sistemas de irrigação contribuíram mais significativamente para o aumento da produtividade. Enquanto o cultivo de sequeiro, mesmo dispondo de variedades adaptadas para esse tipo de ambiente, não conseguiu manter bons índices de produtividade. Conforme a CONAB (2014), a seca que atingiu a região Nordeste do Brasil castigou os canaviais, principalmente aqueles que foram colhidos no final da safra que se encerrou em abril de 2013, que não teve umidade suficiente para o desenvolvimento da soqueira.

Diferente das safras de 2011/12 e 2014/15, a safra de 2017/18 alcançou resultado de produtividade mediano com 68,0 t ha⁻¹, da mesma forma, o sistema de irrigação linear destacou com 77,6 t ha⁻¹. Entretanto, o mesmo não ocorreu nas áreas de aspersão convencional e sequeiro, que mantiveram médias de 59,74 e 50,68 t ha⁻¹. Provavelmente,

isso aconteceu devido a deficiência hídrica ocorrida nos anos anteriores. Apesar de 2017 ter sido mais chuvoso do que 2016, a safra 2017/18 foi consideravelmente afetada pela baixa precipitação pluvial ocorrido no ano anterior, quando a lavoura teve um baixo desenvolvimento vegetativo e, com isso, prejudicou a produtividade da safra 2017/18 (CONAB, 2014). Sabe-se que, independentemente do método e/ou sistema utilizado, a irrigação garante a produção agrícola e evita grandes quebras de produtividade, superando, assim, as estiagens e a baixa quantidade e má distribuição de chuvas (SILVA et al., 2012). Entretanto, o ganho de produtividades depende da lâmina aplicada, uniformidade de aplicação e eficiência de cada sistema de irrigação.

Nos anos agrícolas de 2015/16 e 2016/17 ocorreram os menores índices produtivos do período estudado, 62,6 e 56,9 t ha⁻¹ (Figura 10). Contudo, a irrigação linear e aspersão convencional, conseguiram medias 68,0 e 57,0 t ha⁻¹ na safra 2015/16, passando para 58,0 e 57,0 t ha⁻¹ na colheita de 2016/17 (Figura 12). Por outro lado, nestas mesmas safras o cultivo de sequeiro produziu apenas 57,0 e 62,0 t ha⁻¹. Na safra 2016/17 as canas de sequeiro tiveram produtividade elevada, em relação aos canaviais irrigados e analisados nesse trabalho (Figura 12) porque são colhidas até dezembro, aproveitando a unidade remanescente no solo que favorece o perfilhamento das socarias. Além disso, devido à falta d'água nos reservatórios e outros problemas, os projetos de irrigação não funcionaram bem e as lâminas necessárias não foram aplicadas em sua integridade. Essa foi a safra mais seca, de modo que foi necessário reduzir o número de lâminas de irrigação para atender uma área maior de canaviais. Além do mais as cultivares implantadas no ambiente de sequeiro são mais resistentes ao déficit hídrico.

5.5 Produtividade Agrícola Média das Cultivares RB92579, SP81-3250 e SP92-1631, em Função do Sistema de Irrigação e Idade do Canavial.

Analisando o coeficiente de determinação em ambiente de sequeiro, verifica-se que para cultivar RB92579 o resultado obtido foi de 72,76%, sendo inferior aos coeficientes de determinação das cultivares SP81-3250 e SP92-1631 com R² de 93,32 e 98,23% respectivamente. Já na aspersão convencional os coeficientes de determinação variaram entre 93,36 e 99,28%. Enquanto que no sistema linear os dados apresentaram uma variabilidade foram de 89,58 a 99,92% para as variedades SP92-1631, SP81-3250 e RB92579.

Nos canaviais cultivados em sequeiro, a RB92579 produziu 77,2 t ha⁻¹ em cana-planta e 54,8 t ha⁻¹, na quarta soca, média de 63,0 t ha⁻¹, nos cinco cortes. Essa cultivar

foi mais produtiva do que a SP81-3250 que produziu 76,2 e 52,7 t ha⁻¹, na cana-planta e quarta soca, média de 62,5 t ha⁻¹, nos cinco cortes. A SP92-1631 foi menos produtiva que a RB92579 com 58,7 t ha⁻¹ (cana-planta) e 46,3 t ha⁻¹ (quarta soca), média de 53,5 t ha⁻¹, nos cinco cortes (Figura 13). Contudo, observa-se que na segunda soca a SP81-3250 foi a mais produtiva (65,7 t ha⁻¹), superando a SP92-1631 (55,6 t ha⁻¹) e a RB92579 foi a menos produtiva (51,5 t ha⁻¹). Essa diferença de produtividade (segunda soca) foi causada provavelmente pela diferença no déficit hídrico, nas safras 2015/16 e 2016/17 quando a irrigação foi destinada quase que exclusivamente a cana-planta e primeira soca.

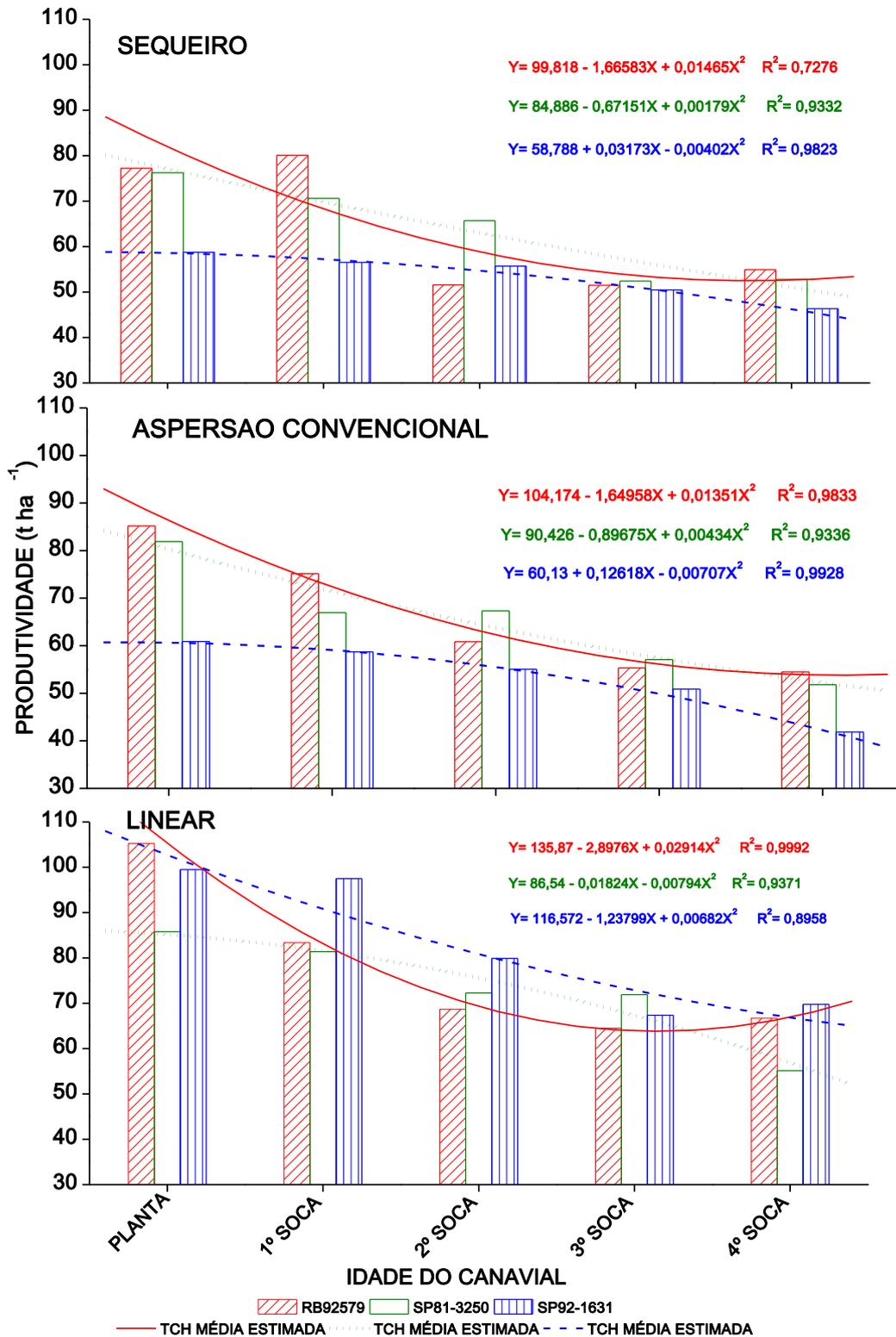
Já nos canaviais irrigados por aspersão convencional, a RB92579 também foi a que mais produziu, com 85,1 t ha⁻¹, em cana-planta e 54,4 t ha⁻¹, na quarta soca, suplantando a SP81-3250 (81,9 e 51,8 t ha⁻¹) e a SP92-1631 (60,9 e 41,8 t ha⁻¹) em cana-planta e quarta soca. Outra forma de análise é sobre a produção total nos cinco cortes. Em que a RB92579 produziu 330,9 t ha⁻¹, a SP81-3250, 325,0 t ha⁻¹ e a SP92-1631, 267,3 t ha⁻¹. Todavia, observa-se que a SP81-3250 foi mais produtiva (67,3 t ha⁻¹), na segunda soca, quando comparada à RB92579 (60,8 t ha⁻¹) e a SP92-1631 (55,0 t ha⁻¹).

Nos canaviais cultivados com sistemas linear, a RB92579, em cana-planta e primeira soca produziu 105,2 e 83,4 t ha⁻¹, superando a cultivar SP81-3250 (85,7 e 81,4 t ha⁻¹). Já SP92-1631 produziu 99,4 t ha⁻¹ em cana-planta e 97,5 t ha⁻¹ na primeira soca, ultrapassando a produtividade da RB92579, no mesmo ciclo de cultivo (primeira soca). Averiguando a produtividade média nas cinco safras, observa-se, que a SP92-1631 produziu 82,8 t ha⁻¹, sendo superior, a RB92579 (77,7 t ha⁻¹) e a SP81-3250 (73,3 t ha⁻¹). De acordo com Resende et al (2016), a cultivar RB92579 apresenta maior produtividade nos dois primeiros ciclos quando comparada a outras variedades, tendo esse comportamento se invertido no terceiro ciclo. Holanda (2010), estudando variedades de cana RB irrigadas na região de Rio Largo, Alagoas, concluiu que a RB92579 é mais produtiva em cana planta com média de 101,0 t ha⁻¹. Santos (2015), trabalhando com a mesma cultivar em regime de sequeiro (na mesma região) encontrou produtividade de 77,7 t ha⁻¹ para cana-planta e 37,7 t ha⁻¹ em cana-soca. Abreu (2008), também na mesma região e com a mesma cultivar obteve produtividade de 103 t ha⁻¹ em cana-planta. Para Teramoto (2003), essa diferença de produtividade (entre autores e entre ciclos) foi causada provavelmente pelas diferenças no déficit hídrico, que é o principal fator causador da variabilidade ano a ano da produtividade principalmente em cultivo de sequeiro.

Com relação a cultivar SP81-3250 Cruz et al (2014), afirma que essa cultivar tem alto desempenho produtivo, em região que apresenta longos períodos de estiagem.

Para Simões Neto (2009), a SP81-3250, destaca-se pela sua ampla capacidade de adaptar se a diferentes tipos de solos e climas, com altas produtividades. Além do mais, essa cultivar responde satisfatoriamente a ambiente de sequeiro quando colhida em início de safra, o contrario a cana isoporiza e reduz drasticamente a produtividade. É importante ressaltar ainda que, a SP81-3250 é bastante susceptível a ferrugem alaranjada, doença que comprometendo o desenvolvimento e produtividade da planta. Simões Neto

Figura 13 – Produtividade agrícola média das safras de 2015/16 a 2017/18, da Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, com as cultivares RB92579, SP81-3250 e SP92-1631, em função do sistema de cultivo e idade do canavial.



Fonte: Autor (2019).

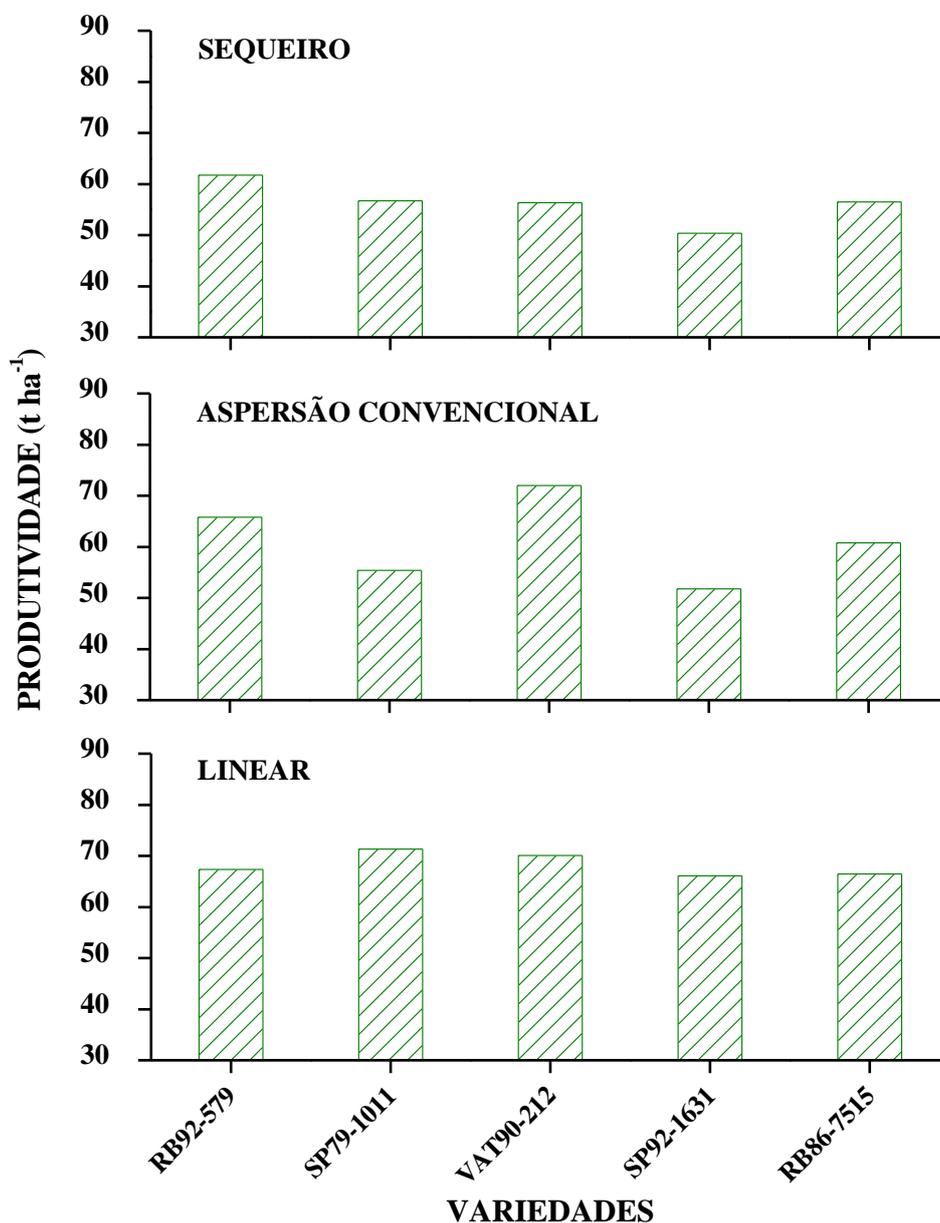
Já a SP92-1631 é uma cultivar, que normalmente não produz bem em ambientes de sequeiro ou sob regime deficitário de irrigação. Porém, quando irrigada com pivô linear responde mais satisfatoriamente, quando comparada a outras variedades. Isso indica que cada cultivar possui características peculiares quanto ao sistema de cultivo e idade do canal. Independentemente da variedade, quando é irrigada pelo sistema linear, a cana-de-açúcar, tende a ser mais produtiva se comparado ao regime de sequeiro e aspersão convencional, com produtividade superior a 100 t ha^{-1} , devido a lâmina aplicada, a uniformidade de distribuição e eficiência do sistema de irrigação. O mesmo não ocorre no sistema de sequeiro, de acordo com Doorembos e Kassam (1994), rendimentos de cana-de-açúcar produzida em condições de sequeiro variam entre 70 a 100 t ha^{-1} , que podem ser considerados satisfatórios. Considerando a irregularidade e má distribuição das chuvas nas áreas de cana-de-açúcar da Usina Caeté, em São Miguel dos Campos, a irrigação complementar se torna indispensável para se obter ganhos em produtividade. Desta forma, durante todo o crescimento a cana-de-açúcar necessita de boas condições de umidade no solo para expressar todo o potencial produtivo; entretanto, o grau de resposta ao ambiente de produção se diferencia conforme as variedades (SILVA et al., 2008).

5.6 Produtividade Agrícola Média das Cultivares RB92579, RB867515, SP79-1011, SP92-1631 e VAT90-212, nas Safras de 2015/16 a 2017/18, em Função do Sistema de Cultivo.

Na figura 14 são apresentados os dados de produtividade de acordo com os sistemas de cultivo (linear, aspersão convencional e sequeiro), relativos às cultivares estudada: RB92579, RB867515, SP79-1011, SP92-1631 e VAT90-212. Observa-se pelos dados da Figura 14, que as cultivares que obtiveram os maiores desempenhos produtivos no sistema linear foram a SP79-1011, VAT90-212 e RB92579 com médias de 71,31, 70,09 e $67,37 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente. Essas cultivares têm como principais características altas produtividades e longevidade. No entanto, verifica-se que a cultivar RB92579 apresentou produtividade inferior ao esperado para essa condição de cultivo, quando geralmente é superior a 90 t ha^{-1} . Isto pode estar relacionado ao período de colheita, pois, esta cultivar tem como recomendação de manejo, início e meio de safra, mas há outras cultivares que necessitam ser priorizadas neste período, como as que estão em ambientes de sequeiro e por isso a cultivar RB92579 é lançada para ser colhida no fim de safra, o que interfere diretamente na produtividade da cultura. O mesmo acontece com as demais cultivares que estão no ambiente irrigado, porém, as variedades que apresentam

recomendação de manejo para meio e fim de safra, como é o caso da SP79-1011 e VAT90-212, não há muita interferência na produtividade.

Figura 14 – Produtividade agrícola média nas safras de 2015/16 a 2017/18, na Usina Caeté - São Miguel dos Campos-AL, com as cultivares RB92579, SP79-1011, VAT90-212, SP92-1631 e RB867515 em função do sistema de cultivo.



Fonte: Autor (2019).

Por sua vez os resultados obtidos com as cultivares SP92-1631 e RB867515, foram inferiores ao esperado no sistema linear. Já no sistema de aspersão convencional, a cultivar VAT90-212 foi a mais responsiva (72,0 t ha⁻¹) seguida da RB92579 (65,7 t ha⁻¹) e RB867515 (60,7 t ha⁻¹). De acordo com Ribeiro et al (2016), para cada 100 mm de

água aplicada à cultura, a um incremento na produção de 1,5 t de colmo ha⁻¹ para a variedade VAT90-212. Para esses autores, quando submetidas a mesma lâmina de irrigação, as cultivares RB92579 e RB867515 não diferem entre si em produtividade. No entanto, quando submetidas a ambientes não irrigados, ocorre uma mudança de produtividade. Para Silva et al (2015), a variedade RB867515 é mais produtiva em ambiente irrigado quando comparado ao sequeiro, podendo alcançando facilmente 93,9 t ha⁻¹. Gava et al. (2011), estudando três variedades de cana-de-açúcar na região de Jaú, SP, observaram que a variedade RB867515 foi a mais produtiva tanto sob disponibilidade quanto sob restrição hídrica.

Ainda de acordo com a Figura 14, verificasse que a cultivar VAT90-212 foi seriamente influenciada pelo sistema de cultivo, saindo de 72,0 t ha⁻¹ no ambiente de aspersão, para menos de 57,0 t ha⁻¹ no regime de sequeiro. A cultivar SP92-1631 alcançou 66,11 t ha⁻¹ no sistema linear, 51,76 t ha⁻¹, no de aspersão convencional e 50,37 t ha⁻¹ em sequeiro, fazendo com que essa variedade seja a menos produtiva em todos os sistemas de cultivo. De acordo com Lucena Filho et al (2015), a produtividade média da cultivar SP92-1631 na safra 2013/14 em Alagoas foi de 71,4 t ha⁻¹. Se comparamos os sistemas de aspersão convencional e sequeiro, observa-se resultados similares para todas as cultivares estudadas, exceto a VAT90-212 que teve uma redução considerada, quando cultivada em regime de sequeiro.

É possível que os baixos índices produtivos, estejam relacionados ao elevado déficit hídrico ocorrido nas safras estudadas, principalmente na de 2015/16, que teve o maior déficit hídrico dos últimos cinco anos. Por esta razão, algumas variedades apresentam valores médios de produtividade, inferiores aos esperados, mesmo estando em ambiente irrigado. De acordo com a Conab (2017) a seca de 2014/15 e 2015/16 interferiu diretamente na produtividade dos canaviais em toda região Nordeste.

Portanto, o rendimento e a produção de cana-de-açúcar em ambientes irrigados dependem da quantidade de água aplicada, do manejo de irrigação, variedade, idade do corte, tipo de solo e do clima (DANTAS NETO et al., 2006). Além disso, para se ter máxima produtividade, é importante que cada produtor selecione, dentro das opções de variedades ofertadas pelas instituições de pesquisa, aquelas que melhor se adaptam às condições locais.

6.0 CONCLUSÕES

Na região climática de São Miguel dos Campos, Alagoas, há uma deficiência hídrica anual média de 536 mm, com maior frequência entre os meses de setembro a março. E, no período de abril a agosto, ocorre um excedente hídrico médio de 764 mm. De modo que se parte desse excesso for armazenado, é possível irrigar praticamente todos canaviais da região.

As safras agrícolas de cana-de-açúcar são consideravelmente influenciadas pelo clima que interfere diretamente na produtividade da cultura e ao longo dos ciclos de cultivo e/ou colheitas, ocorre uma redução de produtividade média de 11%, até torna-se economicamente inviável na 5ª ou 7ª soca, período de 60 a 72 meses.

As cultivares RB92579 e VAT90-212, independente do sistema de cultivo, são as mais produtivas. Verifica-se também que a RB92579 é mais produtiva em cana-planta e primeira soca quando comparada com a SP81-3250 que, por sua vez, é mais produtiva e responsiva do que a SP92-1631, em regime de sequeiro e aspersão convencional.

5.0 REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. **Crescimento e produtividade de variedade de cana RB em dois cultivos de sequeiro na região de Rio Largo (AL)**. 29 p. UFAL, 2008.

ABREU, M. L.; SILVA, M. A.; TEODORO, I.; HOLANDA, L. H.; SAMPAIO NETO, G. D.; Crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p.262-270, 2013.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. UFV: Viçosa – MG. 6 ed, 656p. 2002.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. **Manual de Irrigação**. 7º ed. p. 611. **Viçosa – MG: UFV**, 2005.

BISPO, R. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região noroeste paulista. **Irriga, Botucatu**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 94-101, 2017.

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. **Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo**. SOBER 47º Congresso - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 26 a 30 de julho de 2009.

BRANDÃO, Z. N.; SOFIATTI, V.; BEZERRA, B. G.; BEZERRA, J. R. C.; MEDEIROS, J. C. **Estimativa da necessidade hídrica do algodoeiro irrigado usando imagens de satélite**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. INPE p.0653, 2011.

BRESSAN FILHO, Â.; ANDRADE, A. R. Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil. **Safra 2011/2012**, Brasília, v.5, p. 1-88, 2013.

BRITO, K. S. **Produtividade agrícola de cana-de-açúcar irrigada com gotejamento em quatro ciclos de cultivo**. 55 f. 2014. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande. (UFCG). Campina Grande – PB, 2014.

BRUNINI, O; DINARDO-MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M; ANDRADE, L. M. G. Ambientes climáticos exploração agrícola da cana-de-açúcar. p.205-218 Campinas, SP: **Instituto Agrônômico**, 2008.

BRUNINI, O; DINARDO-MIRANDA, L. L; VASCONCELOS, A. C. M; ANDRADE, L. M. G. Ambientes climáticos exploração agrícola da cana-de-açúcar. 1. ed. 8, 882 p. cap. Campinas, SP: **Instituto Agrônômico**, 2010.

BRUNINI, R. G. **Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades**. 2016. 60p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal, 2016.

CANAOLINE. Produtividade em área de sequeiro em Alagoas cai para 30 toneladas de cana por hectare. Disponível em: <<http://www.canaonline.com.br/conteudo/produktividade-em-area-de-sequeiro-em-alagoas-cai-para30-toneladas-de-cana-por-hectare.html>> . Acesso em: mar. 2020. Ribeirão Preto (SP), 2017.

CARDOZO, L. E. N. Manejo da cana-de-açúcar em áreas com irrigação complementar. XXII Simpósio da Agroindústria da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas. Maceió – AL, **Anais da STAB** – Regional Leste (CD-ROM), 2005.

CARVALHO, I. R; KORCELSKI, C; PELISSARI, G; HANUS, A. D; ROSA, G. M. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p.969, 2013.

CARVALHO, T. B. **Eficiência de uso da água no cultivo de cana-de-açúcar, 1ª folha, em diferentes épocas de plantio**. 55 f. 2016 (Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE. 2016.

CASAROTTO, A.V. S. **Crescimento, morfologia e produtividade de variedades de cana-de-açúcar irrigadas em diferentes épocas**. 2017. 57 f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá – MT, 2017.

CESCONETTO, L. B. **Potencialidade da expansão da cana-de-açúcar irrigada considerando a disponibilidade hídrica natural e potencial**. 2017. f87. (Dissertação de

Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, (UFV) Viçosa – MG, 2017.

COELHO, E. F; COELHO FILHO, M. A; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agríc.** v.7, n.1, set. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2013/214. Segundo Levantamento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: junho. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2017/2018. Primeiro Levantamento (abril/2017). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: abril, 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2018/2019. Primeiro Levantamento (maio/2018). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: dez. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Safra 2019/2020. Primeiro Levantamento (maio/2019). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: maio. 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. V1 – Safra 2014/2015. Quarto Levantamento (abril/2015). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: maio de 2019.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. A formação do canavial e seus componentes de custo na região centro-sul. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/ativos_cana_campo_futuro_fevereiro.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2019.

CRUZ, L. R; GERASEEV, L. C; CARMO, T. D; SANTOS, L. D. T; BARBOSA, E. A; COSTA, G. A; SANTOS JUNIOR, A. Características agronômicas e composição rotatológica de variedades de cana-de-açúcar. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1779-1786, Nov./Dec. 2014.

DALRI, A. B; CRUZ, R. L; GARCIA, C. J. B; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.13, n.1, p.1-11, 2008.

DANTAS NETO, J; FIGUEREDO, J. L. C; FARIAS, C. H. DE A; AZEVEDO, H. M; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.283-288, 2006.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. Cana-de-açúcar: **Bioenergia, açúcar e etanol-tecnologias e perspectivas**, v.2, p. 25-49, 2010.

DOOREMBOS, J; KASSAM, A. H. Yield response to water. 2ed. Rome: FAO, 193 p. **Irrigation and Drainage Paper**, 33. 1994.

Especialistas apostam em aumento de canaviais irrigados em 2019 GRUPOCULTIVAR. <Disponível em: [https://www. grupocultivar.com.br/noticias/especialistas-apostam-em-aumento-de-canaviais-irrigados-em-2019](https://www.grupocultivar.com.br/noticias/especialistas-apostam-em-aumento-de-canaviais-irrigados-em-2019)>. Acesso em: 08 dezembro de 2019. Pelotas (SP), 2019.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e adubação mineral**. P. 3-7. 2008. (Dissertação de Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Centro de Ciências Agrárias, Areia – PB, 196P. 2008.

FREITAS, R. G; BAFFA, D. C. F; BRASIL, R. P. C. Aumento na produtividade da cana-de-açúcar através da irrigação. Nucleus, Edição Especial 2009.

FRIZZONE, J. A; MATIOLI, C. S; REZENDE, R. *Saccharum* spp., para a região Norte do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 23, p. 7, (2001).

GAVA, G. J. C; SILVA, M.A; SILVA, R. C; JERONIMO, E. M; CRUZ, J. C. S; KOLLN, O. T. Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.250-255, 2011.

GOMES, J. R. Tempo seco e lavoura envelhecida reduzem safra de cana 18/19 no centro-sul, diz FCStone, 2018. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/economia/tempo-seco-e-lavoura-envelhecida-reduzem-safra-de-cana-1819-no-centro-sul-diz-fcstone,daad-dbe27b3601e3c21dcb1ebc6e94dap09xc e9y.html>>. Acesso em: 29 agosto. 2019.

GOMES, J; BAJAY, M. M. Economicidade da idade de reforma de canaviais. **Revista iPecege**. 3(3): 9-22, 2017 DOI: 10.22167/r.ipecege.2017.3.9. Aprovado: 14 jun. 2017.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças climáticas e a expectativas de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba - SP**. 2008. 98 p. (Dissertação de mestrado em agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, (ESALQ/USP). Piracicaba – SP, 2008.

GUERRA, A. MACIEL; GUIMARÃES, D. H. **Pivô Central Móvel Irriga Canavial, ELO Informativo Sanachem**, São Paulo-SP, N° 02, p.08, Out. a Dez.1997.

HOLANDA, L. A. **Produtividade, índices de crescimento e eficiência no uso da água de irrigação em cana-de-açúcar**. (Trabalho de conclusão de curso, em agronomia), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias – CECA. Rio Largo - AL, 2010.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crop Res**, v.89, p.107-122, 2004.

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. Irriga, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 149-157, 2005.

JACOMINE, P. K. T; CAVALCANTI, A. C; PESSOA, S. C. P; SILVEIRA, C. O. Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. **Boletim Técnico, 35 Série Pedologia**: Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas. SUDENE, DRN, 1975.

KLEBSON, S. B. **Produtividade agrícola de cana-de-açúcar irrigada com gotejamento em quatro ciclos de cultivo**. 2014. f 55. (Dissertação de mestrado em engenharia agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, (UFCG). Campina Grande – PB, 2014.

KRAMER, P. J; BOYER, J. Water Relations of Plants and Soils. San Diego: **Academic Press**, p. 16-41, 1995.

LAURENTIZ, M. J; DALRI, A. B; ALVES, T. L. Efeito da irrigação na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Congresso de Iniciação Científica UNESP**. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho “ Campus de Jaboticabal-FCAV, 2019.

LOPES, P. L; FALCÃO, N. M; ANDRADE, E. L. Impactos da seca 2010-2016 em Alagoas. **Parc. Estrat. Brasília-DF** v. 22 n. 44 p. 201-212, jan-jun, 2017.

LUCENA FILHO, J. M; LIMA, A. C; SANTOS, R. J. Q; ANGEIRAS, G. J. S. L; CUNHA, A. G; SENA, A. A; TORRES, V. D. BEAL. Balanço Energético do Estado de Alagoas, ano base 2014, e ano de publicação 2015.

MADEIRO, C. Nordeste tem recorde de reservatórios secos; um terço da região enfrenta seca máxima. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2018/01/28/nordeste-tem-recorde-de-reservatorios-secos-um-terco-da-regiao-enfrenta-seca-maxima.htm>>. Acesso em: 12 agosto. 2019.

MANHÃES, C. M. C; GARCIA R. F; FRANCELINO, F. M. A; FRANCELINO, H. O; COELHO, F. C. Fatores que afetam a brotação e o perfilhamento da cana-de-açúcar. **Vértices 17**: p.163 – 181. doi: 10.5935/1809-2667.20150011. 2015.

MARIN, F. R. Agencia Embrapa de Informações Tecnológicas – AGEITEC. Arvore do conhecimento cana-de-açúcar. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açucar/arvore/CONTAG01_10_711200516716.html>. Acesso em: dez. 2019.

MELO, N. C. **Atributos físicos do solo, crescimento e produtividade de cana-de-açúcar em solos submetidos à escarificação**. p. 58. 2018. (Tese de Doutorado em Agronomia – Ciência do solo) Universidade Estadual Paulista – UNESP. Campus de Jaboticabal. 2018.

MICHELETTI, R. N; ZERA, F. S; GARCIA, J. R. M; AMARAL, N. C. Rentabilidade da produção de cana-de-açúcar sob dois tipos de contrato de venda. **Nucleus**, v.13, n.2, outubro 2016.

MORAES, E. R; DOMINGUES, L. A. S; MEDEIROS, M. H; PEIXOTO, J. V. M; LANA, R. M. Q. Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical** 3:27–32. 2016.

MOZAMBANI, A. E; PINTO, A. S; SEGATO, S. V; MATTIUZ, C. F. M. JENDIROBA, E; NOBREGA, J. C. M. História e morfologia da cana-de-açúcar: **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba – SP: Alexandra de Sene Pinto, p. 11-18. 2006.

NOGUEIRA, H. M. C. M. **Viabilidade do cultivo da cana-de-açúcar irrigada para a produção de etanol**. 2016. 139p. (Tese de Doutorado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria - RS, 2016.

NORONHA, R. H. F. **Plantio de mudas pré brotadas (MPB) de cana de açúcar em sistemas de manejo conservacionista de solo**. P. 77. 2018. (Trabalho de Conclusão de Curso em agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP. 2018.

OLIVEIRA, E. C. Panorama do cultivo e produtividade da cana-de-açúcar na mesorregião de assis/sp: safras 2003/04 a 2013/14. **Gestão & Regionalidade** - Vol. 34 - Nº101 - maio-agosto, 2018.

PADOVAN, M. A. Comparativo de rentabilidade em função do plantio. Consul-Agro consultoria de agronegócios Ltda. Itapetininga – SP. Disponível em: <<http://www.coopercitrus.com.br/inscricao/uploads/downloads/1/Discussindo-inovacoes-para-o-produtor-de-cana-de-acucar-disrupturas-e-oport-unidades.pdf>>. Acesso em: 29 agosto. 2019.

PEREIRA, A. R. Simplificando o Balanço Hídrico de Thornthwaite-Mather. **Agrometeorologia. Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

PEREIRA, R. M; ALVES JÚNIOR, J; CASAROLI, D; SALES, D. L; RODRIGUEZ, W. D. M; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. Irriga, Botucatu, Edição Especial, **IRRIGA & INOVAGRI**, p. 149-157, 2015.

PERIN, V. **Potencial de irrigação da cultura da cana-de-açúcar na microrregião de Araçatuba, SP, em função da disponibilidade hídrica regional.** (Trabalho de conclusão de curso). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, (ESALQ/USP). Piracicaba – SP, 2016.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **Journal Agronomy and Crop Science**, v.185, p.83-89, 2000.

REBELLO, A. Seca de 2012 a 2017 no semiárido foi a mais longa na história do Brasil. Do UOL, em São Paulo, 03 de março de 2018. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2018/03/03/seca-de-2012-a-2017-no-semiarido-foi-a-mais-longa-da-historia.htm>>. Acesso em: Abril de 2019.

REHAGRO, Conhecimento sobre agronegócio, 2018. Disponível em: <<https://rehagro.com.br/blog/plantio-da-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 22 agosto de 2019.

RESENDE, R. S; AMORIM, J. R. A; PACHECO, E. P; MENESES, T. N; CARVALHO, T. B. Épocas de Plantio e Demanda de Irrigação da Cana-de-Açúcar na Região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste. 24 p. **Boletim de Pesquisa**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju, SE. 2016.

REZENDE, S. R; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Agência Embrapa de Informações Tecnológicas – AGEITEC. Arvore do conhecimento cana-de-açúcar. Brasília, 2019. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718.html>. Acesso em: jan. 2019.

RIBEIRO G. A; MENDONÇA, M. F; DANTAS NETO, J. Rendimentos agrícolas de variedades de cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação. **CONTECO, Congresso técnico científico de engenharia e da agronomia**. 73ª SOEA, semana oficial de engenharia e da agronomia. Foz do Iguaçu - PR 29 de agosto a 1 de setembro de 2016.

RIBEIRO, N. L. **Eficiência nutricional e densidade radicular de oito variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação por gotejamento.** 2016. 88 p. (Dissertação de Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, (ESALQ/USP). Piracicaba – SP, 2016.

ROBERTSON, M. J; INMAN-BAMBER, N. G; MUCHOW, R. C; WOOD, A. W. Physiological analysis of early season deficit and sugarcane productivity. **Field Crop Res**, v.64, p.211-227, 1999.

RODRIGUES, J. D. Fisiologia da cana-de-açúcar. **69p. Botucatu-SP: Universidade Federal Paulista-UNESP**, 1995.

ROSSETTO, R; SANTIAGO, A. D. Agencia Embrapa de Informações Tecnológicas – AGEITEC. **Arvore do conhecimento cana-de-açúcar**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_33_711200516_717.html>. Acesso em: abril de 2019.

SANTOS, M. A. Chuva atrapalha colheita da cana-de-açúcar. União Nacional da Bioenergia. (Udop) Energia que inova, 2018. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1172568>>. Acesso em: 28 agosto. 2019.

SANTOS, M. A. L. **Balanco hídrico, crescimento e produtividade de genótipos RB de cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro na região de Rio Largo - AL**. f. 60, 2015. (Dissertação em Irrigação e Drenagem). Botucatu – SP 2015.

SCARDUA, R; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. **In: Paranhos, S. B. cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p.372-431. 1987.

SCARPARI, M. S. Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através parâmetros climáticos, 79p. 2002. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP, 2002.

SILVA, C. T. S; AZEVEDO, H. M; AZEVEDO, C. A. V; DANTAS NETO, J; CARVALHO, C. M; GOMES FILHO, R. R. Crescimento da cana-de-açúcar com e sem irrigação complementar sob diferentes níveis de adubação de cobertura nitrogenada e potássica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. v.3, n.1, p.3–12, 2009.

SILVA, D.G; ESTEVES, B.S; PAES, H. M. F; SOUSA, E. F. Irrigação por Aspersão. 23 p. 2012. **Programa Rio Rural**. Niterói-RJ, 2012.

SILVA, E. Empresa goiana investe em irrigação e eleva 26% produtividade do canavial. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Cana/noticia>>

/2015/10/empresa-goiana-investe-em-irrigacao-e-eleva-26-produtividade-do-canavial.html>. Acesso em: mar. 2020. Ribeirão Preto (SP), 28 Out 2015.

SILVA, F. M; CHAVES, M. S; LIMA, Z. M. C. Variáveis meteorológicas. Geografia Física II. 240p, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, **Biblioteca Central**. Natal, RN: EDUFRN, 2009.

SILVA, M. A. DE; ARANTES, M. T.; HEIN, A. F. L.; PINCELLI R. P.; SANTOS, C. M.; MOURA, P. C. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Revista Irriga**, Botucatu, ed. Especial, p. 160-177, 2015.

SILVA, M. A; SILVA, J. A. G; ENCISO, J; SHARMA, V; JIFON, J. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, v.65, p.620-627, 2008.

SILVA, M. D. A; ARANTES, M. T; RHEIN, A. F. D. L. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V. 18, n. 3, p. 241-249, 2014.

SILVA, T. G. F. et al. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.15, n.12, p.1257–1265. Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG, 2011.

SILVA, T. G. F; DE MOURA, M. S. B; ZOLNIER, S; DE SOUZA, L. S. B. Accumulated dry biomass, partitioning and industrial yield of irrigated sugarcane in the Brazilian Semi-Arid. **Revista Ceres**, v. 61, n. 5, p. 686, 2014.

SILVA, V. P. R; BORGES, C. J. R; FARIAS, C. H. SINGH, V. P; Albuquerque, W. G.; Silva, B.B. Water requirements and single and dual crop coefficients of sugarcane grown in a tropical region, Brazil. **Agricultural Sciences**, v.3, p.274-286, 2012.

SIMÕES NETO, D. E. **Varieties of sugarcane in the state of Pernambuco contribution to the classic improvement of RIDESA–UFRPE**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônoma, Recife, vols. 5 e 6, p.125-146, 2008-2009.

SOUZA, A. B. **Estudo de viabilidade técnico-econômica de sistemas de irrigação para a produção de cana-de-açúcar no estado de alagoas**. P. 46, 2005. (Trabalho de

conclusão de curso em Engenharia de Produção). Centro de Estudos Superiores de Maceió – CESMAC. Junho de 2005.

SOUZA, L. J; 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.

TAIZ, L; ZEIGER, E. Fisiologia do estresse. **Fisiologia vegetal**, v.4, p.738-772, 2004.

TAIZ, L; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. **Tradução de L. R. Santarém**. 3. ed. 717p. Porto Alegre: Artmed. 2004.

TEODORO, I; DANTAS NETO, J; SOUZA, J. L; LYRA, G. B; BRITO, K. S; SÁ, L. A; SANTOS, M. A. L; SARMENTO, P. L. V. S. Isoquantas de produtividade da cana-de-açúcar em função de níveis de irrigação e adubação nitrogenada. **Irriga**, v.18, p.387-401, 2013.

TEODORO, I; SOUZA, J. L; BARBOSA, G. V; MOURA FILHO, G; DANTAS NETO, J; ABREU, M. L. Crescimento e produtividade da cana-de-açúcar em cultivo de sequeiro nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **STAB**, março/abril, v. 27, n. 2009.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*officinarum spp*), baseado em parâmetros de solo e clima**. 2003. 86p. (Tese de Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2003.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

TORRES, A. Boa produtividade do canavial depende de vários fatores. Goiânia – Goiás, 2016. Disponível em:<://www.canalbioenergia.com.br/agua-luz-e-temperatura-determinantes-para-o-canavial/>. Acesso em: agosto de 2019.

TRINTINALHA, M. A; GONCALVES, A. C. A; TORMENA, C. A; COSTA, A. C. S; FOLEGATTI, M. V; FREITAS, P. S. L; REZENDE, R. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringa, v. 26, n. 3, p. 353-360, 2004.

TUTA, N. F. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no ciclo da cana-planta com aplicação de efluente de esgoto tratado via gotejamento subsuperficial**. 2013. F.663d. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, (UNICAMP). Campinas, SP. 2013.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. Safra 2003/2004. Histórico de Produção e Moagem. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>>. Acesso em: jan. 2019.

WANG, X; YANG, W; WHEATON, A; COOLEY, N; MORAN, B. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.73, n.1, p.74-83, 2010.

WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. **Agricultural Water Management**, v .64, p.169–181, 2004.