



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA GRÍCOLA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM
GOTEJAMENTO EM QUATRO CICLOS DE CULTIVO**

KLEBSON SANTOS BRITO

Campina Grande – PB

Fevereiro - 2014

KLEBSON SANTOS BRITO

Engenheiro Agrônomo

**PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM
GOTEJAMENTO EM QUATRO CICLOS DE CULTIVO**

Dissertação de mestrado apresentada à
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola.
Área de concentração: Irrigação e Drenagem.
Linha de pesquisa: Manejo de irrigação.

Orientadores: Prof. PhD. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Iêdo Teodoro

Campina Grande – PB

Fevereiro - 2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA GRÍCOLA

Parecer Final do Julgamento da Dissertação de Mestrado

KLEBSON SANTOS BRITO

**PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM
GOTEJAMENTO EM QUATRO CICLOS DE CULTIVO**

BANCA EXAMINADORA

PARECER

APROVADO

PhD. Carlos Alberto Viera de Azevedo
Orientador - UAEEA/UFCA

APROVADO

Dr. Teodoro Teodoro
Orientador - UFAL/Maceió-AL

APROVADO

Dr. José Dantas Neto
Examinador - UAEEA/UFCA

APROVADO

PhD. Hugo Orlando Carvalho Guerra
Examinador - UAEEA/UFCA

APROVADO

Dr. João Messias dos Santos
Examinador - Pesquisador PMGCA/UFAL

DEDICATÓRIA

A Deus, por tudo que me é concedido;

A meus pais, Rubenita e Manoel, pelo exemplo de honestidade e boa conduta a serem seguidos, pelos conselhos, ensinamentos, pelo esforço e dedicação à família;

A meus irmãos: Cristiano, Maiara e Laura e a todos os familiares, pelo incentivo e por todos os momentos que dividimos ao longo desses anos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me é concedido, por me guiar em todos os momentos da minha vida.

A todos os meus familiares.

Aos colegas: Geovani, Lauriane, Ramara, Julia, Salatiel, Carlos Pedro, Rennan, Francisco, Mônica, Patrícia, Antônio, Luciano, Marcelo, Priscila, Yoli, Sonivagno, Rodrigo, Arsênio, Rodrigo, Pedro Henrique.

Aos colegas de república: Aaron, Renato, Talles, Ricardo, Renan.

Aos estagiários do setor de Agrometeorologia e Irrigação, Ricardo Barbosa, Artur Vinícios, Arthur cantarelli, Cesar, Constantino, Lucas, Marcelo, Luã Roberto, Marcos, Leckson, Ednaldo, Ferdnando, Vitor, Dérick, Delck, Alan, Renato, Joelmir, Marchal e Maurício.

Aos Professores: Dr. Guilherme Lyra e Dr. Ricardo Araújo pelo incentivo e apoio.

Aos professores Carlos Azevedo, José Dantas, Hugo, Vera, Lucia Helena e Pedro Dantas.

Ao professor Carlos Azevedo por todo apoio, orientação, incentivo e ensinamentos.

Ao professor Dr. Iêdo Teodoro, pela idealização e condução do experimento e também agradecer pelos ensinamentos passados durante todos esses anos, pelo acesso ao grupo de pesquisa, por compartilhar sua experiência profissional e orientar a cerca do melhor caminho a seguir no âmbito acadêmico e profissional.

A universidade Federal de Alagoas pela oportunidade que me foi concedida com o curso de Agronomia.

Ao Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (LARAS) pelos dados meteorológicos.

Ao professor Dr. José Leonaldo de Souza, pela oportunidade da iniciação científica e por possibilitar o acesso ao LARAS, onde foi possível solidificar o aprendizado e visualizar um caminho a trilhar na pós-graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar – PMGA, por todo apoio na condução do experimento.

Aos examinadores Prof. Dr. José Dantas, Prof. PhD. Hugo Orlando Carvalho Guerra, e ao Eng. Agrônomo. Dr. João Messias dos Santos, por se disporem a contribuir com a melhoria deste trabalho.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para minha formação.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	VIII
ABSTRCT	IX
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Geral	3
2. 2 Específicos	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Variáveis agrometeorológicas	4
3.2 Variáveis de crescimento	6
3. 3 Necessidades hídricas da cana-de-açúcar	7
3. 4 Efeitos da deficiência hídrica na cana-de-açúcar	8
3.5 Irrigação	9
3.6 Balanço hídrico	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 Local e caracterização do experimento	12
4.2 Características agronômicas da variedade utilizada	14
4.3 Tratamentos e delineamento experimental	14
4.4 Plantio e manejo da cana-de-açúcar	16
4.5 Adubação	17
4.6 Irrigação	17
4.7 Evapotranspiração de referência (ET _o)	17
4.8 Balanço hídrico	18
4.9 Produtividade agrícola	18

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 Variáveis agrometeorológicas	20
5.1.1 Temperatura e umidade relativa do ar	20
5.1.2 Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência	21
5.2 Balanço hídrico da cultura	24
5.3 Irrigação	26
5.4 Produtividade agrícola	29
5.5 Deficiência hídrica e produtividade agrícola	32
5.6 Redução da produtividade agrícola nos ciclos de produção	34
6 CONCLUSÕES	36
7 LITERATURA CITADA	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Município de Rio Largo na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas	12
Figura 2. Croqui do experimento	15
Figura 3. Corte transversal do croqui de plantio e distribuição das fitas Gotejadoras	16
Figura 4. Temperatura do ar, mínima (T _{mn}), média (T _m) e máxima (T _{mx}) decendial e umidade relativa do ar média decendial (UR _m), na região de Rio Largo, AL, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2013	20
Figura 5. Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (E _{To}), médias decendiais, na região de Rio Largo, AL, no período de Janeiro de 2009 a Fevereiro de 2013	22
Figura 6. Balanço hídrico decendial da cultura da cana-de-açúcar, com ênfase para o excesso e a deficiência hídrica, em 4 ciclos de produção, na região de Rio Largo, AL, no período de Janeiro de 2009 a Fevereiro de 2013....	25
Figura 7. Precipitação pluvial e lâminas de irrigação aplicadas em função dos percentuais da evapotranspiração de referência (E _{To}), durante os quatro ciclos de cultivo da cana-de-açúcar na região de Rio Largo, AL ...	28
Figura 8. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função da lâmina bruta de irrigação aplicada em quatro ciclos sucessivos de produção na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013	31
Figura 9. Produtividade da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare (TCH) relacionada à deficiência hídrica nos quatro ciclos de cultivo: cana-planta (1), 1ª Soca (2), 2ª Soca (3) e 3ª Soca (4), nos sete tratamentos de lâmina de irrigação nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 respectivamente	33
Figura 10. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare (TCH), nos ciclos de cultivo (cana-planta: 1, 1ª Soca: 2, 2ª Soca: 3 e 3ª Soca: 4), em cultivo de sequeiro (a), irrigação com 25% E _{To} (b), 50% E _{To} (c), 75% E _{To} (d), 100% E _{To} (e), 125% E _{To} (f), 150% E _{To} (g), média dos 4	

ciclos (h), na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013, respectivamente	35
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise física do solo da área do experimental, nas profundidades de 0,0 - 0,20 m, 0,20 - 0,40 m e 0,40 a 0,60 m.....	13
Tabela 2. Análise química do solo da área do experimento, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m	13
Tabela 3. Normal climatológica da precipitação pluvial, média decenal, no Tabuleiro Costeiro de Maceió – AL (período de 1972 a 1996)	23
Tabela 4. Precipitação pluvial total e efetiva, lâminas de irrigação (Irrig.) brutas totais aplicadas em função dos respectivos tratamentos, água total (precipitação pluvial efetiva mais irrigação = Pefetiva + Irrig.) e produtividade agrícola da cana-de-açúcar ($t\ ha^{-1}$) durante os ciclos de cultivo da cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, na região de Rio Largo, AL	27
Tabela 5. Resumo das análises de variância e coeficientes de variação para a produtividade, Rio Largo-AL, 2014	30

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

RESUMO: Entender as necessidades hídricas dos cultivos de cana-de-açúcar é imprescindível quando se buscam melhores colheitas, visto que um dos principais fatores que limitam a produtividade agrícola no Nordeste brasileiro, é a precipitação pluvial, razão por que se instalou, com objetivo de analisar a redução da produtividade da cana-de-açúcar devido à deficiência hídrica em quatro ciclos de produção, um experimento na região de Rio Largo – AL com sete lâminas de irrigação determinadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o): 0% ET_o, 25% ET_o, 50% ET_o, 75% ET_o, 100% ET_o, 125% ET_o e 150% ET_o. Durante o experimento a temperatura do ar variou de 20,77 a 29,19 °C (média de 24,9 °C). A precipitação pluvial total no ciclo de cana-planta foi de 2.105 mm enquanto a ET_c foi de 1.684 mm; no ciclo da 1ª Soca a chuva acumulou 2.002 mm e a ET_c nesse mesmo ciclo foi de 1.516 mm. A chuva total na 2ª Soca foi 2.017 mm e a ET_c total de 1.592 mm. A menor precipitação foi no ciclo da 3ª Soca (983 mm) e a ET_c foi de 1.589 mm. Na cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, o déficit hídrico foi 578, 409, 571, 856 mm, respectivamente e o excesso hídrico foi 998, 874, 976 e 229 mm, na mesma ordem. A produtividade agrícola média dos cultivos foi de 160,25; 130,43; 101,19 e 92,01 t ha⁻¹ nos quatro ciclos, respectivamente. A cana-de-açúcar irrigada com 150% da ET_o produziu, em média, 140,1 t ha⁻¹ e a média de produtividade do sequeiro foi de 94,1 t ha⁻¹ nos quatro ciclos de cultivo. A lâmina de 150% da ET_o proporcionou acréscimo de produtividade agrícola de 67% quando comparada às parcelas sem irrigação; a lâmina de 100% da ET_o foi superior 46% à media do sequeiro. A redução de produtividade em função da deficiência hídrica variou de 0,137 t mm⁻¹ em cana-planta a 0,050 t mm⁻¹ em 3ª Soca (média de 0,07 t mm⁻¹). As curvas de regressão polinomial do segundo grau representaram bem a relação entre o déficit hídrico e a produtividade da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: *Sacharum spp*, gotejamento, balanço hídrico.

BRITO, K. S. **Agricultural productivity of sugarcane irrigated with drip into four crop cycles.** 2014. 55 f. Dissertation (Masters in Agricultural Engineering). Federal University of Campina Grande. Center for Technology and Natural Resources. Campina Grande, PB.

ABSTRACT: Understand the water requirements of crops sugarcane is essential when seeking higher yields, since one of the main factors limiting agricultural productivity in Northeast Brazil rainfall is due to its uneven distribution which leads to soil water deficit. Therefore, to evaluate the response of sugarcane irrigation experiment was installed in the region of Rio Largo - AL with seven irrigation heights determined based on reference evapotranspiration: (ET_o): 0% ET_o, 25% ET_o, 50% ET_o, 75% ET_o, 100%, 125% and 150% ET_o. During the experiment, the air temperature ranged from 20.77 to 29.19 ° C (average of 24.9 ° C). The total rainfall in the plant-cane cycle was 2.105 mm while the ET_c was 1.684 mm in the 1st cycle of ratoon rain accumulated ET_c and 2.002 mm in the same cycle was 1.516 mm. The total rainfall in 2nd ratoon was 2.017 mm and even at full ET_c of 1.592 mm, there was 409 mm of water deficit in the cycle. The total rainfall in 2nd Ratoon was 2.017 mm and even at full ET_c of 1.592 mm, there was 409 mm of water deficit in the cycle. The lowest rainfall was in the 3rd Ratoon (983 mm) and ET_c cycle was 1.589 mm. In plant-cane, 1st ratoon, 2nd and 3rd ratoon, water deficit was 578, 409, 571, and 856 mm water surplus was 998, 874, 976 and 229 mm, in the same order. The average productivity of agricultural crops was 160, 130, 101 and 92 t ha⁻¹ for four cycles, respectively. The sugar cane irrigated with 150% of ET_o, produced mean of 140.1 t ha⁻¹ and the average productivity of rainfed was 94.1 t ha⁻¹ in the four crop cycles, respectively. The height 150% ET_o provided increase of agricultural productivity of 67% when compared to plots without irrigation and the height of 100% ET_o was higher than 46% to the average of the upland. The reduction in yield due to water stress varied from 0.137 t⁻¹ mm in plant cane to 0.050 t⁻¹ mm 3rd ratoon (mean 0.07 t⁻¹ mm). The polynomial regression curves of the second degree and represented the relationship between water deficit and yield of sugarcane.

Keywords: *Sacharum* spp, water balance, drip irrigation

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é de aproximadamente 1,5 bilhão de toneladas por ano; esta produção é proveniente dos países em desenvolvimento da América Latina, África e do Sudeste Asiático (UNICA, 2010). O Brasil produziu, na safra 2012/2013, cerca de 588 milhões de toneladas, dos quais aproximadamente 90% dessa produção foram obtidas na região Centro-Sul e 10% na região Norte-Nordeste (CONAB, 2013).

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas se aproxima de 4,9 mm dia⁻¹ em média e de 1.797 mm por ciclo (Teodoro *et al.*, 2009). A produtividade agrícola de cana nessa região é influenciada pelas condições ambientais, técnicas agrícolas, período de plantio e cultivares utilizadas. Observa-se que, normalmente, a produtividade agrícola apresenta redução com o decorrer dos ciclos de cultivo (cana-planta, primeira-soca, segunda-soca).

Para se alcançar bons índices de rendimento agrícola é necessário conhecer as características hidroclimáticas da região, sobretudo o balanço de água no solo que, em geral, é regido pelos valores da evapotranspiração e precipitação pluvial. Neste sentido são realizados inúmeros trabalhos buscando-se estimar valores que se ajustem às produtividades desejadas do ponto de vista comercial procurando-se evitar sobretudo o déficit hídrico visto que este afeta prioritariamente o crescimento vegetal. O grau de injúria causado pelo déficit hídrico depende consideravelmente da fase fenológica em que ele ocorre na planta e da duração do estresse (Farias *et al.*, 2008). Dentre os efeitos do déficit hídrico a redução no tamanho das plantas é o mais importante pois se observa uma queda proporcional ao tempo de duração do estresse com conseqüente redução da área foliar e da produtividade (Taiz & Zeiger, 2013).

Mesmo com precipitações pluviais acima da evapotranspiração média da cultura, na região canavieira de Alagoas o déficit hídrico continua sendo o principal fator limitante da produtividade agrícola devido à distribuição desuniforme das chuvas, o que favorece o excedente hídrico, no outono-inverno, quando a precipitação corresponde a 70% do total anual além de deficiência hídrica na estação da primavera-verão (Souza, *et al.*, 2004).

Diante do exposto é de fundamental importância conhecer a relação entre o déficit hídrico e a produtividade agrícola da cana-de-açúcar para só então explicar a redução dos rendimentos agrícolas dos canaviais e justificar o uso da irrigação.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste trabalho foi analisar a redução da produtividade agrícola da cana-de-açúcar devido à deficiência hídrica em quatro ciclos de produção, na região de Rio Largo, Alagoas.

2.2 Específicos

Avaliar as principais variáveis agrometeorológicas que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da cana-de-açúcar;

Fazer o balanço hídrico da cultura da cana-de-açúcar para quantificar a deficiência hídrica, o excesso hídrico e a precipitação pluvial efetiva, nos quatro ciclos de produção;

Quantificar a redução da produtividade nos quatro ciclos de produção da cana-de-açúcar.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Variáveis agrometeorológicas

Ao longo do ciclo vegetativo, a cana-de-açúcar sofre com variações dos elementos meteorológicos, sobretudo em cultivos para obtenção de açúcar que passa a ser mais exigente em temperatura do ar e distribuição das chuvas (Brunini, 2008). Apesar da cana-de-açúcar se adaptar bem às 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; por ser uma planta do tipo C4, apresenta alta eficiência fotossintética. Desta forma, quanto maior a intensidade luminosa maior também será a fotossíntese realizada pela planta e maiores serão o desenvolvimento e o acúmulo de sacarose (Brunini, 2008).

Em referência às condições edafoclimáticas, Leite (2007) cita a precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa do ar e a insolação como as mais importantes para a cana-de-açúcar, haja vista que também interferem diretamente no comportamento fisiológico da cultura ligando-se diretamente ao seu metabolismo de crescimento, desenvolvimento dos colmos, maturação e produtividade. A irregularidade dos eventos de chuva merece maior atenção tendo em vista a viabilidade do cultivo, o que pode definir o uso de irrigação nos casos em que a chuva é distribuída de maneira desuniforme (Ramos, 2006).

Nas diferentes fases de desenvolvimento a cana-de-açúcar recebe influência da temperatura, das mais diferentes formas. Para boa brotação das gemas dos toletes, a temperatura deve variar de 26° C a 33° C; já para os casos em que a temperatura fica abaixo de 13°C e superior a 40°C, a brotação é estagnada e no caso de plantas em desenvolvimento pode ocorrer estresse térmico quando se registram temperaturas acima de 38°C (Rodrigues, 1995). Na fase de crescimento temperaturas abaixo de 21°C provocam redução no crescimento de raízes; temperaturas entre - 5°C e - 2,2°C ocasionam danos às folhas ou mesmo a morte; já para os colmos temperaturas entre -1°C e -3,3°C causam a morte da gema apical e temperaturas acima de 20°C promovem o crescimento dos entrenós; na zona canavieira de Alagoas a temperatura do ar média é 25,4 °C (Souza *et al.*, 2004).

Evapotranspiração (ET) é a perda de água, em forma de vapor, para a atmosfera, através da evaporação da superfície do solo somada à transpiração estomática das plantas. A evapotranspiração de referência (ET_o) é aquela que ocorre hipoteticamente em um cultivo de grama ou alfafa, em pleno desenvolvimento vegetativo, cobrindo totalmente o solo, sem restrições hídricas e nutricionais, livre de pragas e doenças. Define-se a altura da superfície de referência em 0,12 m, como a resistência da superfície de 70 s m⁻¹ e albedo de 0,23. A ET_o representa a capacidade evaporativa da atmosfera de uma localidade em determinada época do ano sem considerar as características de cultivo e os fatores do solo. A evapotranspiração da cultura (ET_c) ocorre em uma área cultivada, sem restrições hídricas e nutricionais, livre de pragas e doenças, em pleno desenvolvimento. Pode ser calculada multiplicando-se a ET_o pelo coeficiente da cultura (k_c) que é obtido em cultivos experimentais, dividindo a ET_c pela ET_o variando de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e a umidade relativa do ar, (ER); compreende a proporção da pressão de vapor de água atual e a pressão de saturação do ar do ambiente a determinada temperatura, que é expressa em porcentagem (Teodoro, 2003). Nas regiões quentes e úmidas a demanda evaporativa é reduzida em virtude do nível de umidade do ambiente que se aproxima da saturação; em razão disto, há uma redução no nível de absorção de água pelo ar o que, conseqüentemente, provoca redução da evapotranspiração (Allen *et al.*, 1998).

Durante o período de crescimento e de acordo com Camargo (1970), ocorre o alongamento rápido dos colmos da cana-de-açúcar favorecido pela umidade do ar situada entre 80 a 85%, enquanto o acúmulo de sacarose na fase de amadurecimento é favorecido pelo déficit hídrico e pela umidade do ar, situada entre 45 e 65%. A cana-de-açúcar possui alguns mecanismos para sobreviver a períodos de estiagem o que é muito importante em algumas regiões onde é cultivada, em que dentre as principais estratégias estão o fechamento estomático e a redução de área foliar. A planta consegue fazer isto retardando seu crescimento, enrolando suas folhas e desprendendo algumas delas. Este mecanismo prejudica o crescimento das plantas, pois, ao economizar água com os estômatos fechados, deixa de absorver CO₂ do ambiente (Ferreira Junior, 2010).

3.2 Variáveis de crescimento

Segundo Gascho e Shih (1983) as fases fenológicas, ou de desenvolvimento da cana-de-açúcar, foram definidas em: fase de brotação e estabelecimento, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação. A fase de brotação e estabelecimento corresponde ao crescimento inicial da cultura no campo onde ocorrem a brotação, o enraizamento e a emergência dos brotos (20 a 30 dias após o plantio). A brotação depende da qualidade da muda, do ambiente, da época e do manejo de plantio; na fase de perfilhamento se originam brotações do colmo primário, chamadas colmos secundários; também podem sair brotações dos colmos secundários, denominados colmos terciários; sempre que esses colmos vão aparecendo seu sistema radicular, vai aumentando o sistema radicular da touceira, fase que ocorre de 20 a 30 dias após o aparecimento do colmo primário.

O sistema de produção vegetal que visa à máxima produtividade economicamente rentável, se fundamenta na perfeita integração dos fatores planta, ambiente de produção e manejo. O manejo cultural consiste em se conhecer o potencial de crescimento e desenvolvimento de cada cultivar objetivando coincidir o período de maior disponibilidade hídrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar com as fases de maior desenvolvimento da cultura; desta forma, a planta pode interagir com o meio e expressar todo o seu potencial produtivo (Keating *et al.*, 1999).

Na atividade agrícola deve-se planejar e monitorar algumas atividades, como: época de plantio, espaçamento, tipo de semente, adubações, controle de plantas daninhas, pragas, doenças, irrigação e colheita. O conhecimento da curva de crescimento e do índice de área foliar (IAF) é de extrema importância para pesquisas nos campos de cultivo ou produção de cana-de-açúcar. A variação do IAF e da altura da planta apresenta forte correlação e também varia em função da fase de desenvolvimento das plantas, de maneira que se torna possível definir essas fases em função do IAF ou da altura das plantas (Almeida, 2008).

Em geral, os métodos de avaliação de área foliar são destrutivos e trabalhosos, como o método sugerido por Francis *et al.* (1969), que é o mais utilizado; Este método consiste em medir o comprimento e a largura de todas as folhas da planta, corrigindo-as com um fator de forma mas, Hermann & Camara (1999), propuseram um método menos trabalhoso e não destrutivo, em que é medida apenas a folha +3, conforme a equação $AF = C \cdot L \cdot 0,75 \cdot (N+2)$, em que C é o comprimento da “folha

+3”; L a largura da “folha +3”; 0,75 o fator de correção de forma das folhas de cana-de-açúcar e no número de folhas totalmente expandidas.

A cana-de-açúcar pode apresentar área de folhas sete vezes maior do que a área do terreno ocupada pela planta, o que aumenta sua capacidade fotossintética e de troca de água e gases com a atmosfera (Carlin, 2005), fundamental para maximizar a interceptação da radiação solar e o acúmulo de biomassa. Portanto, o desenvolvimento lento do dossel de folhas pode ser determinante para a redução da produtividade da cana-de-açúcar (Inman-Bamber, 1994); assim, o ideal é que os maiores valores de IAF coincidam com a época de maior umidade no solo e maior radiação solar para que a absorção de água, nutrientes e a produção de fotoassimilados, sejam maximizados.

A fase de brotação e o estabelecimento correspondem ao crescimento inicial da cultura no campo, onde ocorrem a brotação, o enraizamento e a emergência dos brotos, de 20 a 30 dias após o plantio. A brotação depende da qualidade da muda, do ambiente, da época e do manejo de plantio. Na fase de perfilhamento se originam brotações do colmo primário, chamadas colmos secundários; também podem sair brotações dos colmos secundários, denominados colmos terciários. À medida que esses colmos vão aparecendo, seu sistema radicular vai aumentando o sistema radicular da touceira no período de 20 a 30 dias após o aparecimento do colmo primário (Christoffoleti, 1986).

A fase de crescimento dos colmos se caracteriza pelo crescimento e pelo desenvolvimento em altura dos colmos sobreviventes da fase de perfilhamento. De acordo com Camargo (1970), ocorre o alongamento rápido da cana-de-açúcar favorecido pela umidade do ar situada entre 80 a 85%; também começa o acúmulo de sacarose na base do caule, as folhas mais velhas secam e há um crescimento intenso do sistema radicular, que tem início no auge do perfilhamento e vai até o início do acúmulo intenso de sacarose ou maturação, favorecida pelo déficit hídrico e pela umidade do ar entre 45 e 65%.

3.3 Necessidades hídricas da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é bem adaptada às regiões tropicais e subtropicais com disponibilidades hídricas adequadas, de radiação e nutricionais (Park *et al.*, 2005; Gilbert *et al.*, 2006; Tejera *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2011). Doorenbos & Kassam

(1979), afirmam que, durante o ciclo de cultivo, a cana-de-açúcar necessita de 1.500 a 2.500 mm de água.

O Nordeste brasileiro possui, na zona úmida do litoral, precipitação média de 1.500 mm anual. Este total precipitado é satisfatório porém mal distribuído durante o ciclo da cultura, ocorrendo, então, estresse hídrico nas plantas, o que torna a irrigação uma prática imprescindível com vista à obtenção de melhores rendimentos agroindustriais da cana-de-açúcar em regiões como a Costa Leste do Estado de Alagoas onde são aplicados de 500 a 800 mm durante o ciclo da cultura (Cardozo, 2005).

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 à distribuição desuniforme das chuvas ocorrendo excedente no outono-inverno quando a precipitação pluvial corresponde a 70% do total anual além de deficiência na estação da primavera-verão (Souza, *et al.*, 2004).

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 (Robertson *et al.*, 1999; Inman-Bamber, 2004) e isto proporciona maior lucratividade para os produtores de cana em razão do pagamento da produção depender dos teores de sacarose no colmo.

Antes da colheita o produtor deve interromper a irrigação para evitar a compactação do solo pelo tráfego de máquinas durante o processo, devido à umidade presente no solo e também em algumas regiões produtoras de cana-de-açúcar cujo pagamento é feito baseando-se na produção de sacarose; desta forma, o estresse hídrico pode, antes da colheita, beneficiar o produtor, se houver aumento do rendimento da sacarose (Robertson & Donaldson, 1998).

3.4 Efeitos da deficiência hídrica na cana-de-açúcar

De acordo com Angelocci (2002), o déficit hídrico ocorre quando o volume de água transpirado pela planta através do processo de fotossíntese, é maior que o absorvido pelas raízes levando a um balanço negativo podendo a planta passar por estresse hídrico.

A ocorrência de déficit hídrico nas plantas é comum em regiões áridas e semiáridas para a maioria das culturas agrícolas devido à distribuição irregular das

chuvas (Taiz & Zeiger, 2013). A cana-de-açúcar, mesmo sendo plantada em regiões com 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.

O déficit hídrico afeta vários aspectos do crescimento vegetal; os efeitos mais óbvios se referem à redução do tamanho das plantas, de sua área foliar e da produtividade da cultura (Kramer, 1983; Taiz & Zeiger, 2002). O grau de injúria causado pelo déficit hídrico depende consideravelmente da fase fenológica em que ele ocorre na planta e da duração do estresse (Farias *et al.*, 2008). A alternativa para reduzir os efeitos do estresse hídrico é o uso da irrigação.

3.5 Irrigação

Os sistemas de irrigação mais utilizados são a aspersão com canhão autopropelido, pivô central, lateral rebocável e o sistema de gotejamento (superficial e subsuperficial). O melhor sistema deve ser escolhido com base nos aspectos comportamentais e necessidade hídrica da cultura, tipo de solo, disponibilidade de água e energia, além de outros. Em vista da lâmina hídrica a ser aplicada, a irrigação em cana-de-açúcar pode ser entendida como:

Irrigação de salvação: Aplicação de 30 e 60 mm no início do ciclo visando à germinação e à manutenção do estande de plantas.

Irrigação complementar: objetiva aplicar de 180 a 300 mm de água parcelado em quatro ou cinco vezes para auxiliar no crescimento no final do ciclo.

Irrigação plena: Supre a demanda hídrica da cultura nos momentos de escassez; na região de alagoas se aplica um volume de 500 a 800 mm de água durante o ciclo da cana-de-açúcar (Cardozo, 2005).

As regiões tradicionalmente produtoras de cana-de-açúcar vêm implementando o sistema de irrigação por gotejamento em suas áreas de cultivo visando aumentar a uniformidade de aplicação da água, baixar o consumo de energia e obter maiores lucros. O gotejamento tem, como vantagem, a economia de água; por ser uma irrigação localizada a água só é aplicada na região de maior densidade do sistema radicular possibilitando o uso de menores volumes de água. Devido à economia de água e ao aumento da produtividade, este sistema de irrigação aumenta a eficiência no uso da água pelas culturas. O investimento inicial com o sistema é alto em relação aos outros

sistemas de irrigação e também é necessário o uso de mão de obra qualificada e treinada em todas as fases do cultivo porém a automatização do sistema reduz a necessidade de mão de obra, o que acarreta maior lucratividade. Se comparado a outros sistemas de irrigação, o gotejamento ficará mais barato quanto maior o volume de água a ser aplicado (Rosenfeld, 2005).

3.6 Balanço hídrico

Segundo Teodoro (2007) aliado ao balanço hídrico das culturas o balanço hídrico climatológico é uma das ferramentas que auxiliam na determinação das melhores épocas de plantio ou cultivos agrícolas de acordo com os fatores climáticos de cada região. O balanço hídrico é o método através do qual se contabiliza a água presente no solo, para ele se faz uso da lei de conservação das massas e se analisa um volume do solo em que existe presença de vegetação. Neste volume de solo mensurado se analisa a quantidade de água que ele recebe e a que perde em determinado intervalo de tempo. O volume do solo que deve ser observado é aquele onde está situada a maior parte das raízes da planta em estudo e que seja representativo da área de cultivo. Geralmente, o balanço hídrico de uma área vegetada é representado pelas entradas (precipitação pluvial, irrigação, orvalho, escoamento superficial, drenagem superficial e ascensão capilar) e pelas saídas ou perdas (evapotranspiração, escoamento superficial, drenagem lateral e drenagem profunda) de água do volume do solo que está sendo estudado (Pereira *et al.*, 2002).

Para obter melhor rendimento agrícola é imprescindível o uso de ferramentas científicas como o conhecimento do balanço de água da região na qual se pretende trabalhar, e cujos valores são determinados sobretudo pela evapotranspiração. Tendo em vista a desuniformidade da precipitação pluvial, são de fundamental importância a elaboração de um balanço hídrico, claro e preciso e conhecimentos sobre o crescimento vegetal da cultura, movimento da água no perfil do solo, drenagem profunda, além do ajuste da curva de retenção para determinar a função condutividade hidráulica do solo (Vieira *et al.*, 1987) para que se possa manejar melhor a irrigação, sobretudo nas regiões tradicionalmente produtoras do Brasil as quais ainda carecem de métodos eficientes de irrigação passíveis de resultar em melhores produtividades (Teramoto, 2003).

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido por Thornthwaite *et al.* (1955), para determinar o regime hídrico de um local sem necessitar medir diretamente as condições de umidade do solo; neste modelo a demanda de água da atmosfera é determinada pela evapotranspiração potencial (ETp) e a água disponível para o ambiente provém de precipitação pluvial; contudo, quando se utiliza a evapotranspiração da cultura (ETc) no lugar da ETp, tem-se o balanço hídrico da cultura (Pereira *et al.*, 2002).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local e caracterização do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo – AL (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m), (Figura 1) durante quatro ciclos de cana-de-açúcar (cana-planta, 1ª soca, 2ª soca e 3ª soca), nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013. A área experimental foi de 4.200 m²; o solo é classificado como Latossolo Amarelo coeso argissólico, de textura média cujas características físico-hídricas são: umidade na capacidade de campo de ($\bar{\theta}$ cc) de 0,2445 m³ m⁻³ e no ponto de murcha permanente ($\bar{\theta}$ pmp) de 0,1475 m³ m⁻³, densidade do solo de 1,50 g cm⁻³, porosidade total de 0,423 m³ m⁻³ e velocidade de infiltração básica de 52 mm h⁻¹ (Carvalho, 2003). Os resultados das análises física e química do solo podem ser visualizados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. O clima da região é quente semiúmido, com temperatura média anual de 25,4°C, umidade relativa do ar de 70% e precipitação pluvial média anual de 1.810 mm (Souza *et al.*, 2004).

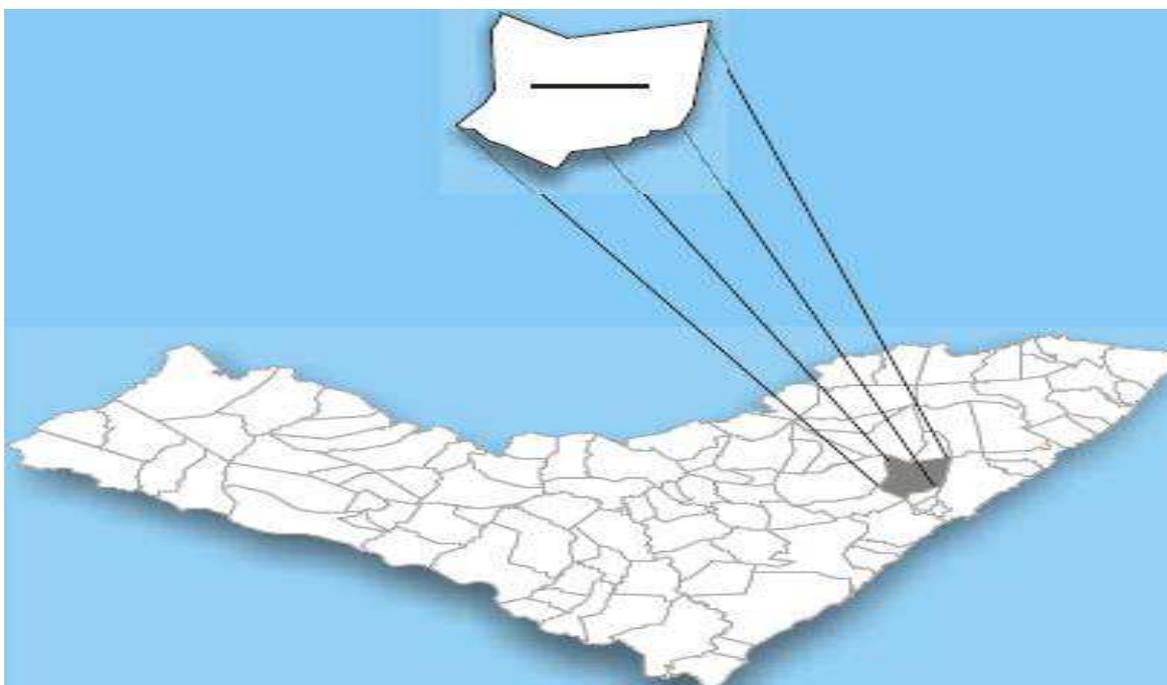


Figura 1. Município de Rio Largo na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas

Tabela 1. Análise física do solo da área do experimental nas profundidades de 0,0 - 0,20 m, 0,20 - 0,40 m e 0,40 a 0,60 m.

Características Físicas	Profundidade (m)		
	0,0 - 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60
Granulometria (%)			
Areia	64,85	60,49	50,09
Silte	10,35	14,30	22,55
Argila	24,80	25,21	27,36
Classificação Textural		Franco Argilo Arenoso	
Densidade do solo	1,23	1,19	1,14
Densidade das partículas	2,68	2,68	2,67
Porosidade (%)	54,03	55,46	57,33
Umidade (%)			
Natural	0,91	2,09	2,46
0,33 atm	26,70	17,15	19,50
15,00 atm	11,06	9,31	10,57
Água Disponível	15,64	7,84	8,93

Tabela 2. Análise química do solo da área do experimento, nas profundidades de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

Descrição	0 - 20	20 - 40	Descrição	0 - 20	20 - 40
pH em água	5,6	5,2	Soma de Base	27,7	16,1
Fósforo (mg dm ⁻³)	2	2	T (mmol _c dm ⁻³)	77,7	59,1
Potássio (mg dm ⁻³)	37	16	V (%)	35,6	27,2
Ca + Mg (mmol _c dm ⁻³)	26	15	M (%)	0,7	8,5
Ca (mmol _c dm ⁻³)	16	18	M. O. (g kg ⁻¹)	18,9	10,7
Mg (mmol _c dm ⁻³)	10	7	Ferro (mg dm ⁻³)	167,4	277,5
Al (mmol _c dm ⁻³)	5,2	7,7	Cobre (mg dm ⁻³)	0,86	0,73
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	50	43	Zinco (mg dm ⁻³)	1,14	0,53
Manganês (mg dm ⁻³)	4,58	3,29			

4.2 Características agronômicas da variedade utilizada

A variedade utilizada foi a RB92579; e suas principais características são: excelente produtividade agrícola, ótimo perfilhamento, bom fechamento de entrelinha e ótima brotação das socarias que garante longevidade aos canaviais. Pouco florescimento e alta produtividade agrícola nas quatro primeiras folhas. A variedade possui, boa recuperação após períodos de seca, altamente responsiva à irrigação e muito eficiente no uso da água (Barbosa *et al.*, 2003).

4.3 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados, com sete lâminas de irrigação nas parcelas (Figura 2), e quatro repetições. As lâminas de irrigação aplicadas nas parcelas foram determinadas com base na evapotranspiração de referência (ET_o), definidas da seguinte forma: 0,0% da ET_o, 25% da ET_o, 50% da ET_o, 75% da ET_o, 100% da ET_o, 125% da ET_o e 150% da ET_o. As irrigações correspondentes aos respectivos tratamentos foram aplicadas quando a cultura se encontrava no seu máximo desenvolvimento. As colheitas foram feitas após o período de déficit hídrico de aproximadamente um mês, para aumentar o teor de sacarose nos colmos; logo, após o corte era aplicada uma lâmina de água a fim de melhorar a rebrota das soqueiras.

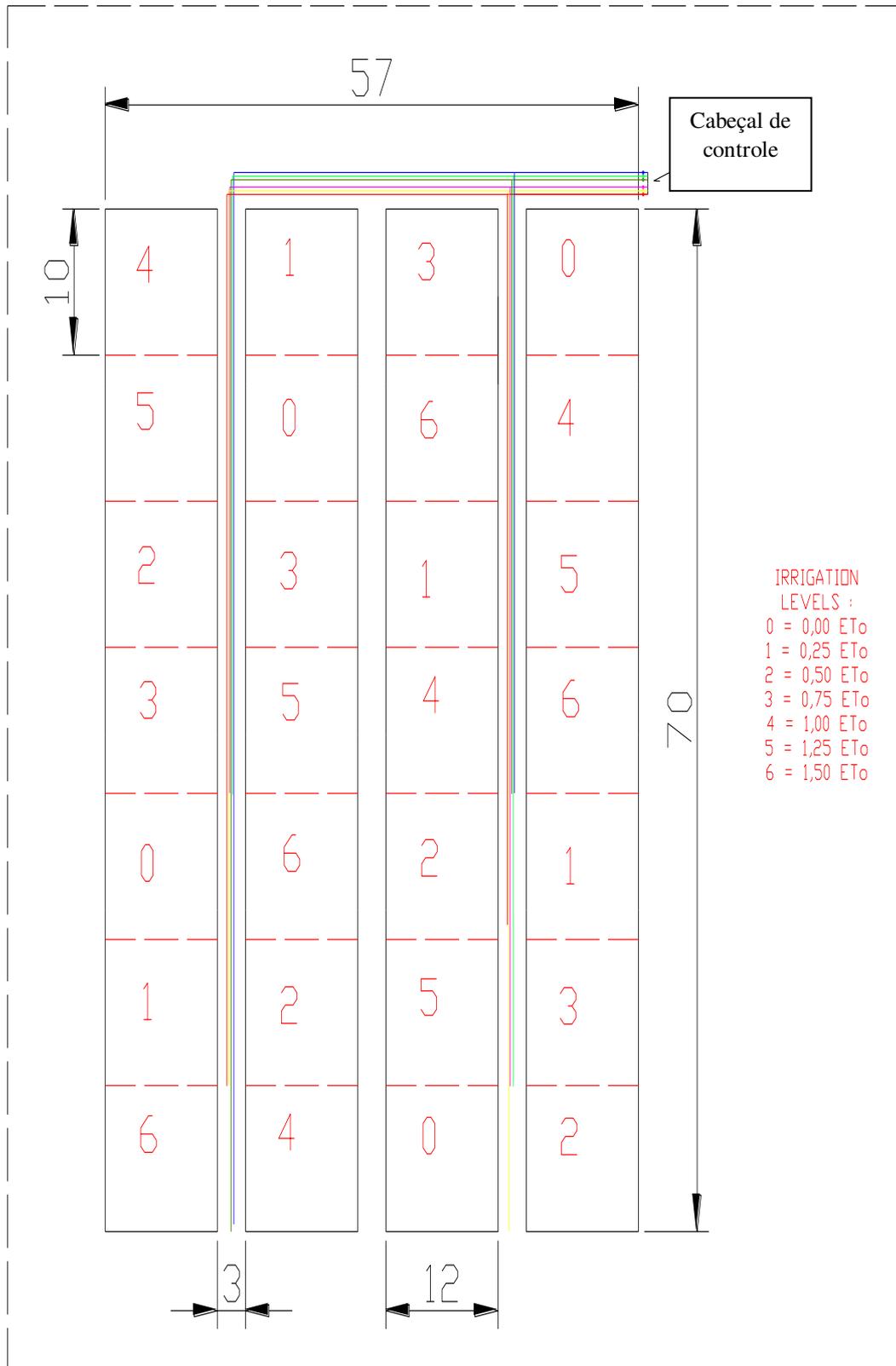


Figura 2. Croqui do experimento

4.4 Plantio e manejo da cana-de-açúcar

A cana foi plantada no período de 12 a 21 de janeiro de 2009, em espaçamento duplo de 0,60 x 1,40m. Foram colocadas em média 18,0 gemas por metro linear para garantir um mínimo de 12 brotos por metro. A primeira colheita foi realizada em 22 de fevereiro de 2010, a segunda em 28 de fevereiro de 2011, a terceira em 27 de fevereiro de 2012 e a quarta em 18 de fevereiro de 2013. O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento superficial, com fitas gotejadoras de 16 mm, espaçadas 2,0 m, com gotejadores a cada 0,50 m e vazão de 1,0 L h⁻¹. O tempo de aplicação foi realizado por um sistema automático de controle da irrigação.

As fitas gotejadoras foram colocadas no centro da linha dupla, conforme apresentado na Figura 3.

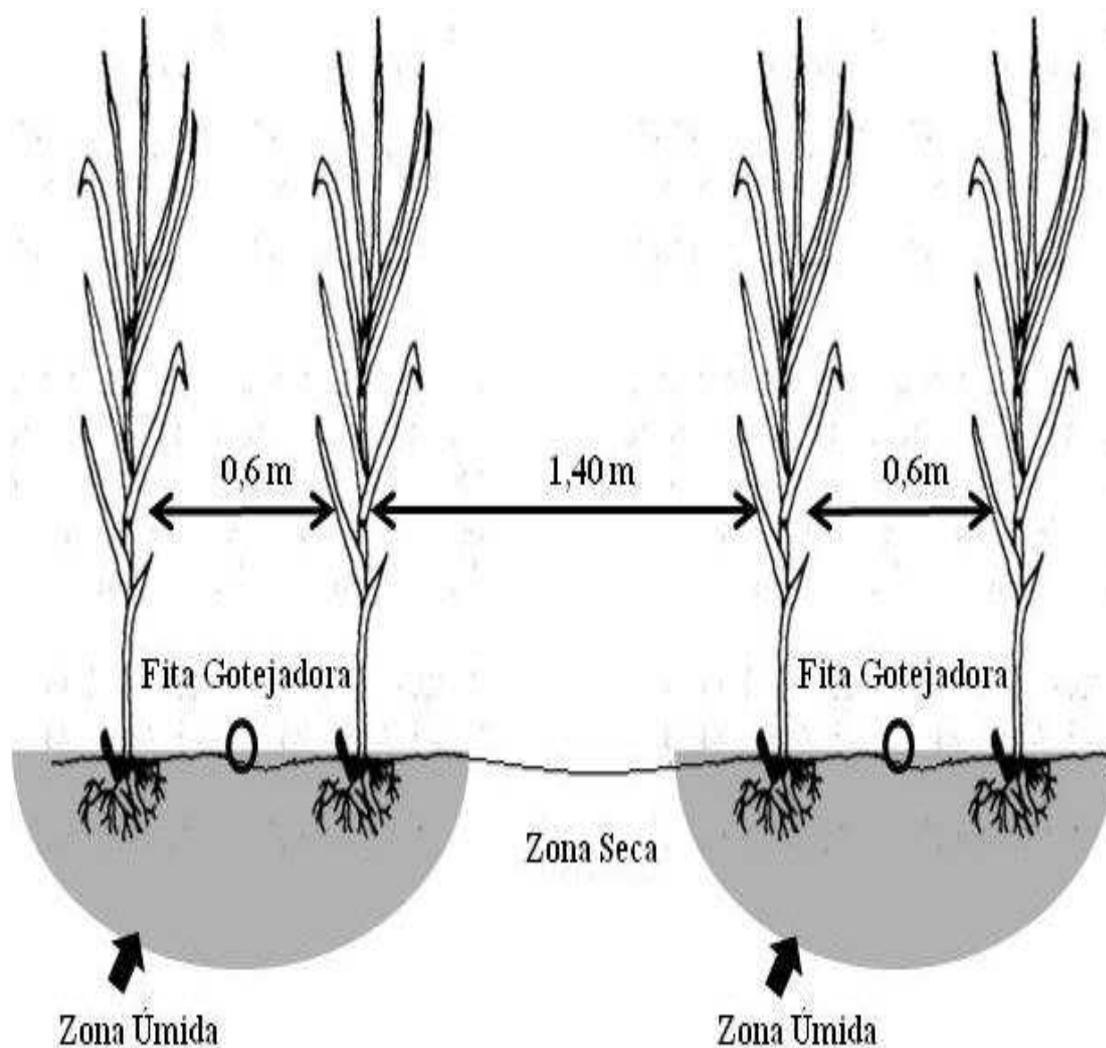


Figura 3. Corte transversal do croqui de plantio e distribuição das fitas gotejadoras.

4.5 Adubação

A cana-planta foi adubada em fundação com 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O e 66 dias após o plantio foi aplicada a adubação de cobertura com nitrogênio. A primeira soca foi adubada 30 dias após o corte com 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O, a segunda foi adubada no dia 30/03/2011, com 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 160 kg ha⁻¹ de K₂O e a terceira soca foi adubada 30 dias após o corte com 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 200 kg ha⁻¹ de K₂O; em todas as socas foram aplicadas as doses de nitrogênio específicas de cada subparcela.

4.6 Irrigação

Após o plantio foram aplicadas duas lâminas de 30 mm através de um sistema de aspersão convencional de baixa pressão, em todos os tratamentos, para garantir boa germinação e emergência da cultura.

Calculou-se o volume de água a ser aplicado em cada parcela multiplicando-se a ETo em milímetros pela área total da parcela (12,0 m x 10,0 m), com o turno de rega de dois dias.

4.7 Evapotranspiração de referência (ETo)

As variáveis meteorológicas utilizadas para calcular a ETo (equação 1) foram cedidas pelo Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (LARAS) da Universidade Federal de Alagoas, que mantém uma estação automática de aquisição de dados agrometeorológicos, a 400 m do experimento.

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi calculada multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente da cultura Kc, FAO (Allen *et al.*, 1998) e os valores de Kc da fase intermediária e final foram ajustados pela equação 2.

$$ETo (mm dia^{-1}) = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T+273}\right) U_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1+0,34 U_2)]} \dots\dots\dots (1)$$

em que R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), U_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa), e é a pressão do vapor d'água do ar (kPa) e Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

$$Kc = Kc_{\text{tabelado}} + [0,04 (U_2 - 2) - 0,004 (UR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \dots (2)$$

em que: Kc é o coeficiente de cultura; Kc_{tabelado} é o Kc tabelado para cana-de-açúcar; U_2 é a velocidade do vento a 2,0 m de altura da grama; UR_{min} é a umidade relativa do ar mínima e h é a altura do dossel vegetativo da cultura.

4.8 Balanço hídrico

O balanço hídrico foi realizado utilizando-se o método de Thornthwaite *et al.* (1955), inserindo-se os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c), precipitação (P) + irrigação (I) e capacidade de água disponível (CAD) com valor de 60 mm, dado este calculado com base nas características físicas do solo (análise da Tabela 1); obtém-se, como resultado, o armazenamento (ARM), a alteração (ALT), a deficiência (DEF) e o excesso (EXC) em períodos decendiais (10 dias).

4.9 Produtividade agrícola

A produtividade agrícola (t ha^{-1}) foi estimada pesando-se a cana colhida numa área de 5,0 m x 2,0 m, das duas linhas centrais de cada parcela, com balança com capacidade para pesar até 80 kg.

Em função do déficit hídrico, a redução da produtividade agrícola (RPA), foi estimada pela equação 3, em toneladas por milímetro (t mm^{-1})

$$RPA = \frac{(X-Y)}{(W-Z)} \dots \dots \dots (3)$$

em que X é a produtividade agrícola do tratamento com menor déficit; Y é a produtividade do tratamento a ser calculada a perda ou redução; W é o déficit hídrico do tratamento em análise e Z é o déficit hídrico do tratamento que sofreu menos estresse.

As curvas de produtividade agrícola em resposta ao déficit hídrico foram obtidas por regressão polinomial de segundo grau, que gera expressões matemáticas do tipo da equação 4.

$$Y = b_0 + b_1X - b_2X^2 \dots\dots\dots (4)$$

em que: Y é a produtividade agrícola da cana-de-açúcar (t ha⁻¹); X é o déficit hídrico (mm) ocorrido durante os ciclos de cultivo e b₀, b₁ e b₂ são os coeficientes da equação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis agrometeorológicas

5.1.1 Temperatura e Umidade relativa do ar

Durante os quatro ciclos de cultivo (de janeiro de 2009 a fevereiro de 2013) a temperatura mínima decendial do ar (Tmn) variou de 18,08°C (11 a 20 de abril de 2011) a 23,47°C (1 a 10 de abril de 2010), média de 20,77°C (Figura 4).

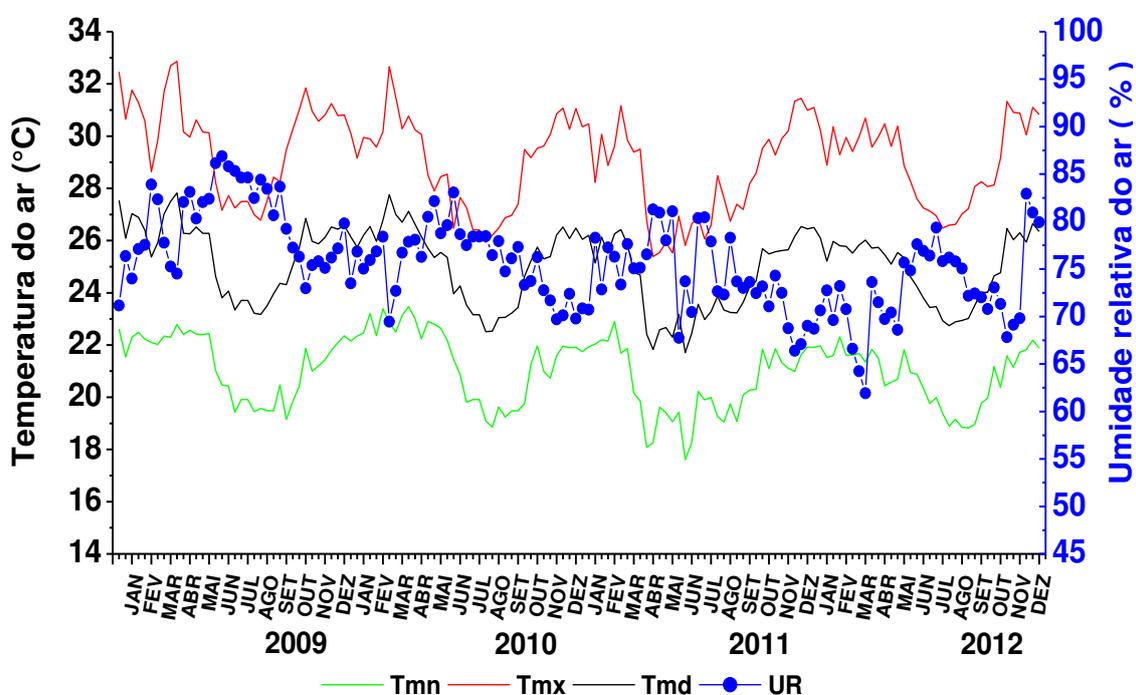


Figura 4. Temperatura do ar, mínima (Tmn), média (Tm) e máxima (Tmx) decendial e umidade relativa do ar média decendial (URm), na região de Rio Largo, AL, no período de janeiro de 2009 a dezembro de 2013

A temperatura média decendial do ar (Tmd) foi de 21,71°C (11 a 20 de junho de 2011) a 27,82°C (1 a 10 de abril de 2009), média de 24,8°C. A temperatura média observada neste trabalho se aproxima do valor encontrado por Souza *et al.* (2004), que observaram uma temperatura média de 25,4°C na mesma região; portanto, é possível afirmar que não houve limitação térmica para o desenvolvimento da cultura da

cana-de-açúcar haja vista que em condições de temperatura acima de 20°C ocorre aumento na taxa de crescimento sobretudo no alongamento dos colmos (Keating *et al.*, 1999) citados por Almeida *et al.* (2008). As temperaturas abaixo de 18,0°C não prejudicaram o desenvolvimento das plantas em virtude de ocorrerem à noite ou no início das manhãs, momento em que a taxa fotossintética é baixa (Teodoro, 2011) e o metabolismo é reduzido (Teh, 2006).

A temperatura máxima (Tmx) decendial do ar variou entre 25,39°C (21 a 30 de abril de 2011) e 32,86°C (1° a 10 de abril de 2009), média de 29,19°C. A umidade relativa do ar média decendial (UR), variou de 62% (20 a 31 de março de 2013) a 87% (11 a 20 de junho de 2009), média de 75%.

5.1.2 Precipitação pluvial e evapotranspiração de referência

A precipitação pluvial total no ciclo da cana-planta (13 meses e vinte dias) foi de 2.105 mm, no ciclo da 1ª Soca foi de 2.002 (12 meses), no ciclo de 2ª Soca (12 meses) a chuva total foi 2.017 mm e o quarto ciclo (3ª Soca), durou 12 meses e foi o menos chuvoso dentre os ciclos analisados, no total de 983 mm. De acordo com Doorenbos & Kassam (1979), durante o ciclo de cultivo a cana-de-açúcar necessita de 1.500 a 2.500 mm de água e nesta região, mesmo com precipitação dentro deste intervalo em alguns ciclos, a distribuição desuniforme das chuvas ocasionou deficiência hídrica nas parcelas de sequeiro.

A precipitação pluvial (P) total no ano de 2009 foi 1.878 mm, dos quais 74% (1.381 mm), ocorreram entre os meses de abril a agosto, período de maior incidência de chuvas na região. No período do plantio a brotação das gemas (janeiro a março de 2009) o acumulado de chuva foi de 310,0 mm e o decêndio mais chuvoso do ano foi o 3° de maio, com 246 mm (Figura 5). A chuva total no ano de 2010 foi de 1.879 mm, deste total 1.180 mm (63%), ocorreram entre abril e agosto (estação chuvosa) e o decêndio mais chuvoso foi o 1° de junho, com 282,45 mm.

Nos anos 2011 e 2012 choveu 2.043 e 1.004 mm, respectivamente sendo que no período chuvoso de abril a agosto de 2011 e 2012, choveu 1.446 mm (71%) e 682 mm (68%), na mesma ordem e o decêndio mais chuvoso de 2011 foi o 2° de abril com precipitação de 211 mm e em 2012 foi o 3° de junho (112 mm). A precipitação pluvial total em 2012 foi 46% inferior em relação à normal climática que, de acordo

com Souza *et al.* (2004) é 1.810 mm; em relação aos anos 2011, 2010 e 2009, foi 51, 47 e 46% inferior, respectivamente; nos anos de 2009 e 2010 choveu 2% a mais que a normal climatológica da região; a precipitação pluvial de 2011 superou em 11% a normal climatológica.

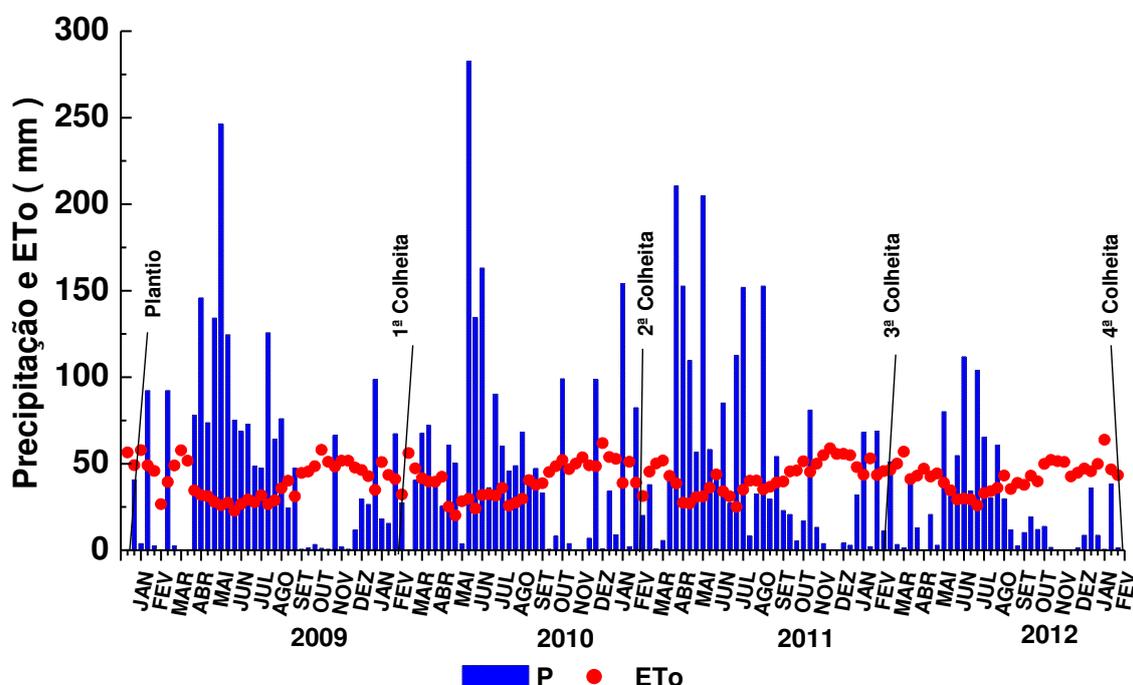


Figura 5. Precipitação pluvial (P) e evapotranspiração de referência (ETo), médias decendiais, na região de Rio Largo, AL, no período de Janeiro de 2009 a Fevereiro de 2013

Durante a estação chuvosa (abril a agosto) na região de Rio Largo, AL, a precipitação pluvial nos quatro anos de pesquisa foi, em média, de 69% do total anual. A média histórica da precipitação na região canavieira de alagoas é de 70% no período de abril a agosto (Sindaçúcar, 2013). Neste trabalho os decêndios mais chuvosos foram 3° de maio (246 mm), 1° de junho (282,45 mm), 2° de abril (211 mm) e 3° de junho (112 mm), (média de 213 mm) dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012, respectivamente, as precipitações pluviais foram mais altas que a normal climatológica da região cujos valores podem ser vistos na Tabela 3; em relação à normal climática, no período chuvoso da região (abril a agosto), houve aumentos da ordem de 73, 62, 65, e 17% nos respectivos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012.

Tabela 3. Normal climatológica da precipitação pluvial, média decendial no Tabuleiro Costeiro de Maceió – AL (período de 1972 a 1996)

DECÊNIO	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1°	18,9	24,9	50,4	64,3	97,3	106,8	104,3	69,1	42,8	37,8	20,4	18,7
2°	15,0	27,4	55,3	73,1	91,5	101,2	109,5	50,3	31,7	15,3	13,4	8,3
3°	20,2	25,6	47,1	113,6	67,2	93,2	76,1	64,4	33,4	17,1	21,5	16,2

Fonte: Souza *et al.* (2004)

A evapotranspiração de referência (ET_o) apresenta, nos anos 2009, 2010, 2011 e 2012, total anual de 1.456, 1.427, 1.512 e 1.529 mm, respectivamente (Figura 5). No ciclo de cana-planta a ET_o somou 1.393 mm (média de 3,91 mm d⁻¹), entre o mês de janeiro de 2009 (plantio) e janeiro de 2010, quando houve suspensão da irrigação durante um mês antes da 1ª colheita que ocorreu em 22 de fevereiro de 2010; a ET_o decendial neste período de 397 dias variou de 22,75 a 58,00 mm, no 2° decênio de junho e 3° decênio de outubro de 2009, respectivamente, média de 40,38 mm.

No ciclo de 1ª Soca (371 dias), a ET_o foi de 1.327 mm (média de 3,94 mm d⁻¹) de março de 2010 a janeiro de 2011 desconsiderando-se o mês de fevereiro quando a irrigação foi encerrada um mês antes da 2ª colheita (28 de fevereiro de 2011) período, em que a ET_o decendial mínima foi 20,12 e máxima de 61,88 mm no 2° decênio de maio de 2010 e 3° decênio de dezembro de 2010 (média decendial de 41,0 mm). A ET_c média no ciclo foi de 4,08 mm d⁻¹.

No ciclo de 2ª Soca (364 dias), a ET_o foi 1.391 mm (média de 4,13 mm d⁻¹), no período de março de 2011 a janeiro de 2012, a irrigação foi suspensa um mês antes da 3ª Colheita (27 de fevereiro de 2012). A variação da ET_o foi de 25,03 a 58,91 mm no 2° decênio de julho de 2011 e 1° decênio de dezembro de 2011 (média decendial de 41,97 mm).

Durante o quarto ciclo (3ª Soca), a ET_o somou 1.400 mm (média de 4,56 mm d⁻¹) em 357 dias, no período considerado de março de 2012 a janeiro de 2013, desconsiderando-se o mês de fevereiro pela suspensão da irrigação antes da 4ª colheita que foi realizada em 18 de fevereiro de 2013. A variação da ET_o no ciclo de 3ª soca foi de 25,92 a 63,88 mm no 2° decênio de julho de 2012 e 3° decênio de janeiro de 2013

respectivamente (média decendial de 44,9 mm); nos quatro anos de cultivo a média decendial da ETo foi 42,06 mm e 4,13 mm diária; na região estudada a ETo é inversamente proporcional à precipitação pois, no período de maior incidência de chuvas, a ETo é mais baixa devido à nebulosidade que reduz a incidência dos raios solares nas plantas.

5.2 Balanço hídrico da cultura

O ciclo de cana-planta do 1º decêndio de janeiro de 2009 ao 2º decêndio de fevereiro de 2010 (397 dias) apresentou precipitação pluvial total de 2.105 mm (média de 5,3 mm d⁻¹). A evapotranspiração da cultura (ETc) total foi de 1.684 mm, com variação de 19,95 a 69,61 mm no 3º decêndio de fevereiro e 3º decêndio de outubro de 2009 respectivamente (média de 4,24 mm d⁻¹). O déficit hídrico total no ciclo foi de 578 mm (Figura 6) e o excesso hídrico, de 998 mm. A precipitação pluvial efetiva foi de 1.106 mm; com isto, pode-se afirmar que 47% da chuva precipitada (998 mm) foram perdidas por escoamento superficial ou percolados para as camadas mais profundas do solo. O maior excesso hídrico que ocorreu em 2009 foi de 220 mm no 3º decêndio de maio e o maior déficit hídrico foi de 66 mm no 3º decêndio de outubro de 2009.

O ciclo de 1ª Soca teve precipitação pluvial total de 2.002 mm (média de 5,4 mm d⁻¹) do 3º decêndio de fevereiro de 2010 ao 2º decêndio de fevereiro de 2011. A ETc total no ciclo foi 1.516 mm (média de 4,08 mm d⁻¹), o déficit hídrico total foi 409 mm e o período de maior deficiência hídrica foi do 1º decêndio de outubro de 2010 ao 1º decêndio de fevereiro de 2011 (396 mm), razão pela qual as lâminas de irrigação foram aplicadas neste intervalo.

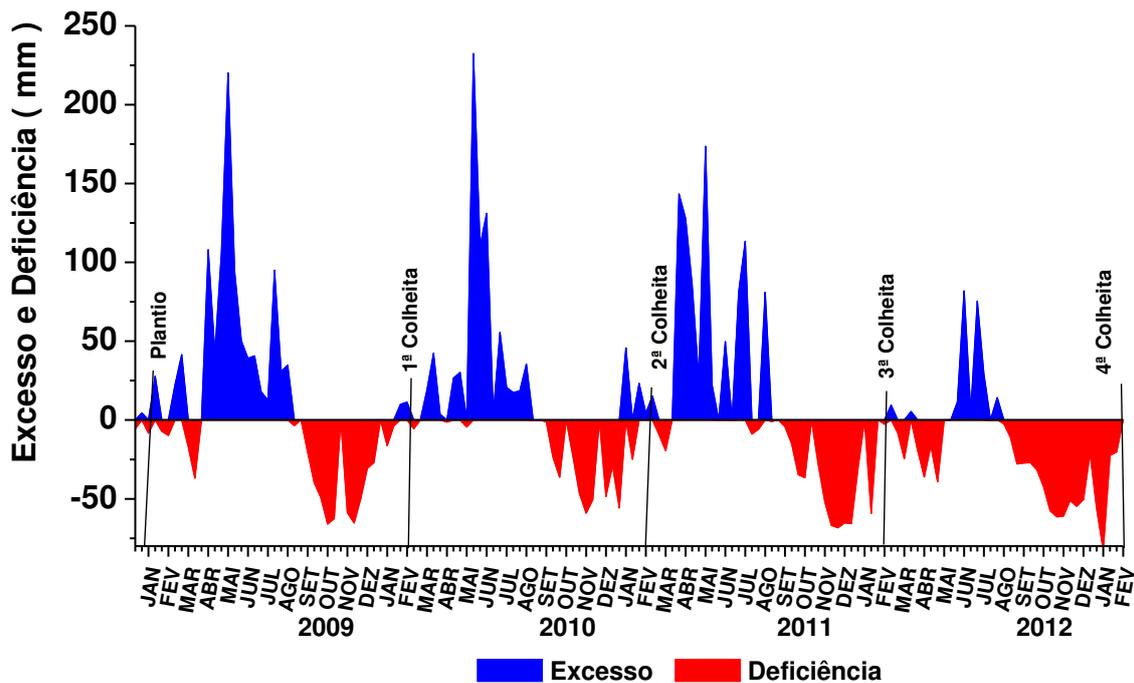


Figura 6. Balanço hídrico decendial da cultura da cana-de-açúcar, com ênfase para o excesso e a deficiência hídrica, em 4 ciclos de produção, na região de Rio Largo, AL, no período de Janeiro de 2009 a Fevereiro de 2013

Durante o ciclo de 2ª Soca, do 3º decêndio de fevereiro de 2011 ao 2º decêndio de fevereiro de 2012, a deficiência hídrica total foi de 571 mm e no período de maior necessidade de água (outubro de 2011 a fevereiro de 2012) acumulou 432 mm de deficiência. A ETC total foi 1.592 mm, uma média de 4,37 mm d⁻¹, valor 0,07 maior que o encontrado por Ferreira Junior *et al.* (2012), quando estudaram variedades de cana-de-açúcar no período de 2008 a 2009 na região dos tabuleiros costeiros de Rio Largo, no estado de Alagoas. A precipitação pluvial acumulada nos 364 dias de cultivo foi 2.017 mm (média de 5,54 mm d⁻¹) e o excesso hídrico do 3º decêndio de fevereiro ao 3º decêndio de agosto de 2011 foi 923 mm; a precipitação efetiva neste intervalo foi 587 mm, similar à ocorrida em cana-planta (595 mm) cujo excesso foi de 955 mm no mesmo intervalo.

Na 3ª Soca, quarto ciclo de cultivo agrícola da cana-de-açúcar, aplicou-se uma lâmina de irrigação média de 224,64 mm nas parcelas irrigadas do 3º decêndio de março ao 2º decêndio de maio de 2012 a fim de reduzir a deficiência hídrica que, no período, acumulou 135 mm; neste ciclo ocorreu a menor precipitação dentre os quatro cultivos estudados (983 mm) e em percentual, correspondeu a 47, 49 e 49% da chuva de cana-planta, 1ª Soca e 2ª Soca, respectivamente. A ETC total foi 1.589 mm (média de

4,45 mm d⁻¹) enquanto no período de aplicação das lâminas de irrigação diferenciadas por tratamento (2º decêndio de setembro de 2012 ao 1º decêndio de janeiro de 2013), a ETc foi 647 mm.

5.3 Irrigação

As lâminas de irrigação brutas totais aplicadas na cana-planta (2009 – 2012) variaram de 157 a 873 mm, na 1ª Soca (2010 – 2011); de 127 a 734 mm, na 2ª Soca (2011 – 2012) as lâminas foram de 117 a 707 mm e na 3ª Soca (2012 – 2013) as lâminas variaram de 188 a 1.027 mm nos tratamentos irrigados com 25 e 150% da ETo, respectivamente (Tabela 4). Em cana-planta foram aplicadas duas lâminas de 30,0 mm, através de sistema de aspersão convencional de baixa pressão, logo após o plantio a fim de favorecer a brotação das gemas mas para análise do efeito da irrigação sobre a produtividade agrícola essas duas lâminas não foram contabilizadas.

Entre o 3º decêndio de março e o 1º decêndio de abril de 2009 foram aplicados, em média, 84,0 mm de água em todos os tratamentos, exceto no sequeiro, devido à baixa pluviosidade do período (0,5 mm em 21 dias). Em cana-planta o período da irrigação diferenciada (tratamentos) foi do 1º decêndio de outubro de 2009 e o 1º decêndio de janeiro de 2010; neste período a precipitação total foi de 142 mm e variou de 0,51 a 66,3 mm decendial no 1º decêndio de novembro de 2009 e no 2º decêndio novembro de 2010 respectivamente, com média de 33,4 mm decendial e a ETo total no período foi de 492 mm, mínima de 40,69 e máxima de 58,0 mm no 1º decêndio de janeiro de 2010 e 3º decêndio de outubro de 2009, respectivamente (média decendial de 49,34 mm).

Na 1ª Soca o período de irrigação foi do 1º decêndio de outubro de 2010 ao 1º decêndio de janeiro de 2011. A precipitação total foi de 252 mm, média decendial de 25,22 mm e a ETo foi de 510 mm (média de 50,98 mm); o terceiro decêndio de outubro com 99,06 mm e o 2º decêndio de dezembro de 2010 foram os dois mais chuvosos e os 2º e 3º decêndios de novembro de 2010 foram os que apresentaram menor volume de chuva (média de 0,25 mm).

Tabela 4. Precipitação pluvial total e efetiva, lâminas de irrigação (Irrig.) brutas totais aplicadas em função dos respectivos tratamentos, água total (precipitação pluvial efetiva mais irrigação = P_{efetiva} + Irrig.) e produtividade agrícola da cana-de-açúcar (t ha⁻¹) durante os ciclos de cultivo da cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, na região de Rio Largo, AL

Ano	Ciclo	Dias	(ETo %)	Precipitação Pluvial			P _{efetiva} + Irrig.	t ha ¹
				Total	Efetiva	Irrig.		
2009	Planta	397	0,00	2.105	1.106	0	1.106	117,95
			0,25		1.099	157	1.256	141,15
			0,50		1.087	312	1.399	160,03
			0,75		1.059	447	1.506	160,58
			1,00		1.004	585	1.589	173,11
			1,25		865	741	1.606	180,60
			1,50		734	873	1.607	188,40
2010	1ª Soca	371	0,00	2.002	1.127	0	1.127	112,34
			0,25		1.125	127	1.252	120,27
			0,50		1.111	240	1.351	125,89
			0,75		1.062	346	1.408	135,61
			1,00		979	473	1.452	138,73
			1,25		885	587	1.472	135,78
			1,50		749	734	1.483	144,43
2011	2ª Soca	364	0,00	2.017	1.041	0	1.041	78,93
			0,25		1.022	117	1.139	92,88
			0,50		1.012	234	1.246	95,75
			0,75		985	347	1.332	104,03
			1,00		931	467	1.398	107,92
			1,25		873	572	1.445	107,99
			1,50		713	707	1.420	120,84
2012	3ª Soca	357	0,00	983	755	0	755	67,51
			0,25		703	188	891	88,1
			0,50		672	384	1.056	91,65
			0,75		652	509	1.161	93,61
			1,00		588	719	1.307	96,98
			1,25		452	857	1.309	99,85
			1,50		273	1.027	1.300	106,34

A ETo máxima da 1ª soca foi, no período de aplicação das lâminas de irrigação, de 61,88 mm, no 3º decêndio de dezembro de 2010 e a mínima foi de 45,21 mm no 1º decêndio de outubro de 2010 (média de 53,54 mm). A precipitação efetiva (P_{efetiva}) em cana-planta variou de 1.106 no sequeiro a 734 mm nas parcelas com 150% da ETo (média de 920 mm) e no cultivo agrícola de 1ª Soca, a P_{efetiva} média foi 938 mm.

No cultivo agrícola de 2ª Soca (ciclo de 364 dias), as lâminas de irrigação foram aplicadas no período do 3º decêndio de outubro de 2011 ao 2º decêndio de janeiro de 2012, com valores de 117 a 707 mm nos tratamentos de 25 a 150% da ETo (Figura 7). A precipitação total no período de aplicação das lâminas de irrigação foi de 154 mm (média de 17,07 mm) decendial, o 1º decêndio de novembro de 2011 foi o mais chuvoso com 81 mm e não houve chuva entre os 2º e 3º decêndios de dezembro de 2011; O maior valor de ETo foi 58,91 mm no 1º decêndio de dezembro de 2011 e o menor 43,61 mm no 2º decêndio de janeiro de 2012 (média de 51,83 mm).

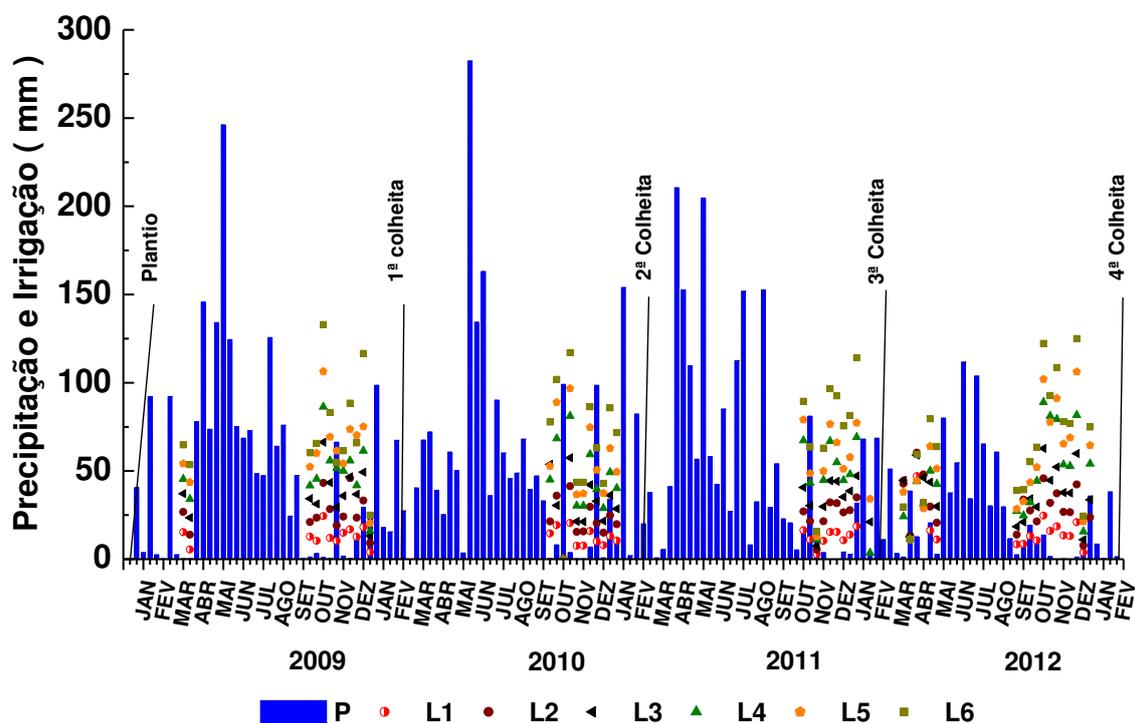


Figura 7. Precipitação pluvial e lâminas de irrigação aplicadas em função dos percentuais da evapotranspiração de referência (ETo), durante os quatro ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, na região de Rio Largo, AL

A cana passou por maior estresse hídrico no ciclo de 3ª Soca pois foi o ciclo no qual ocorreu menor precipitação dentre os quatro estudados. Durante o 3º decêndio de março e o 2º decêndio de maio de 2012, foi aplicada uma lâmina média de 224,6 mm em todas as parcelas irrigadas a fim de compensar a baixa pluviosidade deste período (75,95 mm) se comparada com a ETo de 275,31 mm em um intervalo de 61 dias. A precipitação total foi, durante a aplicação das lâminas de irrigação, de 105 mm, média de 8,75 mm decendial e a ETo total foi de 544 mm, média de 45,35 mm decendial.

Ocorreu uma queda de 53% na precipitação e 43% na produtividade agrícola das parcelas de sequeiro em relação à cana-planta (produtividade média de 117,95 t ha⁻¹ no sequeiro). A irrigação foi feita no intervalo do 3º decêndio de setembro de 2012 ao 1º decêndio janeiro de 2013, com lâminas de 188 a 1.027 mm nos tratamentos de 25 a 150% da ETo respectivamente.

5.4 Produtividade agrícola

A análise de variância da produtividade agrícola dos quatro ciclos de cultivo da cana-de-açúcar (Cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca), comprovou que as lâminas de irrigação aplicadas nos quatro ciclos foram significativas a 1% de probabilidade (Tabela 5). Os coeficientes de variação (CV) das parcelas foram 14,4, 14,53, 20,84 e 20,87% em cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, respectivamente. Os valores dos coeficientes de variação indicam que o experimento teve boa precisão estatística.

Em cana-planta as maiores produtividades foram obtidas nas parcelas irrigadas com 150 e 125% da evapotranspiração de referência (ETo) com produtividades de 188,4 e 180,6 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 8). A menor produtividade foi 117,9 t ha⁻¹, colhida no tratamento de sequeiro (0% da ETo); com isto, a produtividade agrícola média das parcelas irrigadas foi de 165 t ha⁻¹.

No segundo ano de cultivo (ciclo de 1ª Soca), semelhante à cana-planta, a maior produtividade (144,43 t ha⁻¹) foi colhida na lâmina de 150% da ETo e a menor produtividade foi observada no sequeiro 0% da ETo (112,34 t ha⁻¹). A produtividade agrícola média entre as lâminas (25 a 150% da ETo) foi 132 t ha⁻¹, que corresponde a 80% da produtividade obtida no ciclo de cana-planta.

Tabela 5. Resumo das análises de variância e coeficientes de variação para a produtividade, Rio Largo-AL, 2014.

	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Cana-Planta	Blocos	3	4.287,97	1.429,32	2,68	0,07 ^{ns}
	Lâminas	6	70.525,40	11.754,23	22,06	0,00**
	Erro 1	18	9.589,82	532,76		
	Nitrogênio	4	1.364,91	341,22	1,11	0,35 ^{ns}
	Lam. x Nit.	24	7.175,42	298,97	0,97	0,50 ^{ns}
	Erro 2	84	25.802,20			
	Total corrigido	139	118.745,75	307,16		
	CV 1 (%) =	14,40				
	CV 2 (%) =	10,94				
	Média Geral (t ha⁻¹)	160,25			N° de observações: 140	
1ª Soca	Blocos	3	10.396,11	3.465,37	9,65	0,00**
	Lâminas	6	15.432,53	2.572,08	7,16	0,00**
	Erro 1	18	6.464,32	359,12		
	Nitrogênio	4	1.717,46	429,36	1,44	0,22 ^{ns}
	Lam. x Nit.	24	4.390,01	182,91	0,61	0,91 ^{ns}
	Erro 2	84	25.012,43			
	Total corrigido	139	63.412,86	297,76		
	CV 1 (%) =	14,53				
	CV 2 (%) =	13,23				
	Média Geral (t ha⁻¹)	130,43			N° de observações: 140	
2ª Soca	Blocos	3	2.584,60	861,53	1,93	0,15 ^{ns}
	Lâminas	6	21.600,65	3.600,10	8,09	0,00**
	Erro 1	18	8.005,28	444,73		
	Nitrogênio	4	422,39	105,59	0,74	0,56 ^{ns}
	Lam. x Nit.	24	10.776,79	449,03	3,18	0,00**
	Erro 2	84	11.848,42			
	Total corrigido	139	55.238,12	141,05		
	CV 1 (%) =	20,84				
	CV 2 (%) =	11,74				
	Média Geral (t ha⁻¹)	101,19			N° de observações: 140	
3ª Soca	Blocos	3	1.039,64	346,54	0,93	0,44 ^{ns}
	Lâminas	6	18.198,98	3.033,16	8,22	0,00**
	Erro 1	18	6.640,44	368,91		
	Nitrogênio	4	1.106,89	276,72	1,78	0,14 ^{ns}
	Lam. x Nit.	24	6.949,47	289,56	1,86	0,01*
	Erro 2	84	13.048,18			
	Total corrigido	139	46.983,63	155,33		
	CV 1 (%) =	20,87				
	CV 2 (%) =	13,55				
	Média Geral (t ha⁻¹)	92,01			N° de observações: 140	

ns: Não significativo. **: Significativo a 1% de pelo teste F. *: Significativo a 5% pelo teste F

No ciclo de 2ª Soca a maior produtividade foi obtida na lâmina de 150% da ETo (120,84 t ha⁻¹) e a menor produtividade foi colhida no tratamento de sequeiro 0% da ETo (78,93 t ha⁻¹); entre as parcelas irrigadas o tratamento de 25% da ETo com produtividade de 92,88 t ha⁻¹, foi o que menos produziu, gerando uma média de 107 t

ha⁻¹ nas parcelas irrigadas; a 2ª Soca produziu, em média, 65 e 81% das produtividades de cana-planta e 1ª Soca, respectivamente. O cultivo agrícola de 3ª Soca apresentou a maior produtividade na lâmina de 150% da ETo (106,34 t ha⁻¹) e a menor produtividade entre as lâminas foi 88,1 t ha⁻¹ no tratamento de 25% da ETo (média de 97 t ha⁻¹ entre as parcelas irrigadas). As parcelas de sequeiro foram as que tiveram a menor produtividade (67,51 t ha⁻¹). Comparando os quatro cultivos, a 3ª Soca produziu em média 59, 73 e 91% das produtividades de cana-planta, 1ª Soca e 2ª Soca, respectivamente.

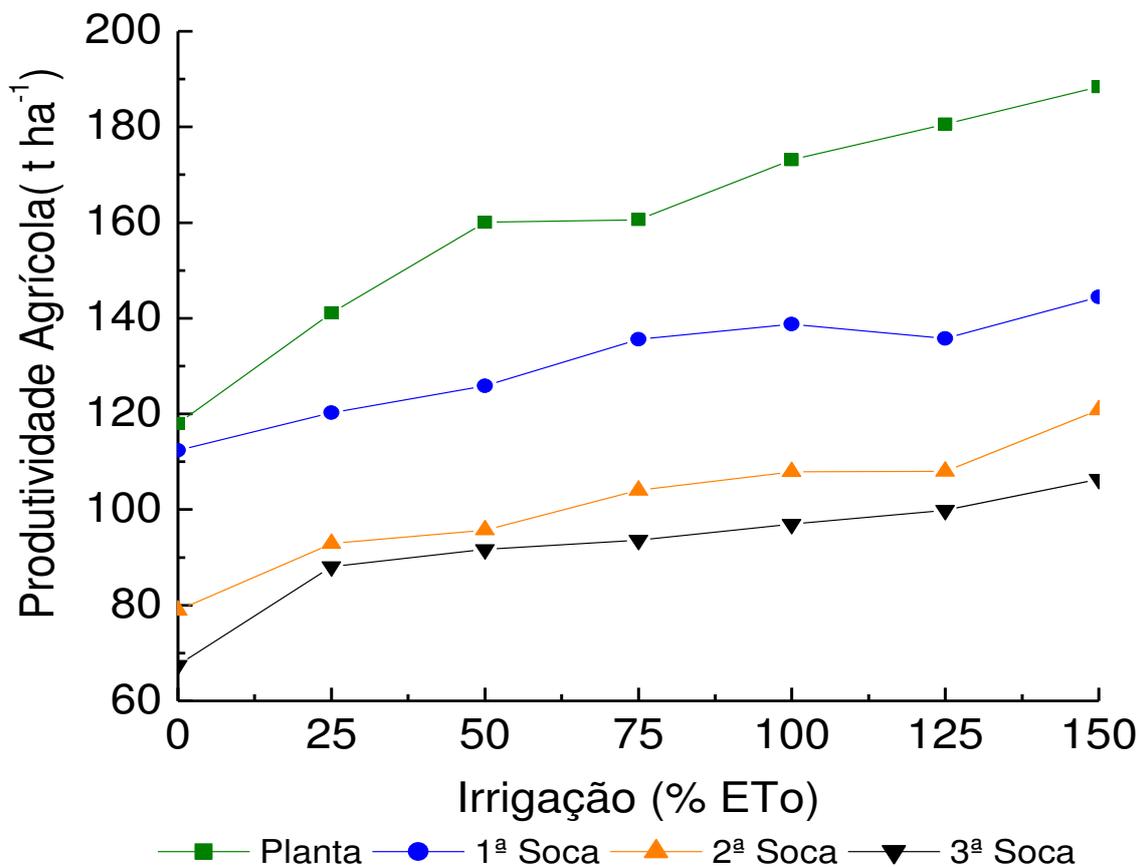


Figura 8. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em função da lâmina bruta de irrigação aplicada em quatro ciclos de produção sucessivos na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013.

5.5 Deficiência hídrica e produtividade agrícola

No ciclo de cana-planta a produtividade variou de 117,95 t ha⁻¹ no tratamento de sequeiro a 188,4 t ha⁻¹ na lâmina de 150% da ETo (média geral de 160,25 t ha⁻¹) e a deficiência hídrica foi de 578 mm no sequeiro a 68 mm no tratamento de 150% da ETo respectivamente (deficiência média de 323 mm) (Figura 10). A redução da produtividade agrícola em função da deficiência hídrica variou de 0,077 a 0,277 t mm⁻¹ (média de 0,177 t mm⁻¹) sendo que as menores perdas proporcionais relativas foram observadas nos tratamentos com deficiência hídrica de 419 e 275 mm nas lâminas de 25 e 50% da ETo, respectivamente, e a maior perda relativa foi na lâmina de 125% da ETo, com deficiência hídrica de 68 mm.

A média de produtividade da 1ª Soca foi 130,43 t ha⁻¹ com produção mínima de 112,34 e máxima de 144,43 t ha⁻¹ no tratamento de sequeiro; na maior lâmina de irrigação (150% da ETo), respectivamente a deficiência hídrica variou de 409 a 55 mm na mesma ordem, (média de 232 mm). A redução da produtividade agrícola da cana-de-açúcar na 1ª soca em função da deficiência hídrica sofreu variação de 0,098 a 0,120 t mm⁻¹ (média de 0,090 t mm⁻¹), sendo que as menores perdas proporcionais relativas foram observadas nas lâminas 100 e 125% da ETo, com valores de 0,070 e 0,090 t mm⁻¹ respectivamente e a maior perda relativa foi no tratamento 150% da ETo (0,12 t mm⁻¹), o qual sofreu deficiência hídrica de 55 mm.

A produtividade agrícola média em 2ª Soca foi de 101,19 t ha⁻¹ e a deficiência hídrica para a cultura variou de 571 mm nas parcelas de sequeiro a 132 mm na cana irrigada com 150% da Eto perfazendo a média de 352 mm. A redução da produtividade agrícola variou em função da deficiência hídrica, de 0,056 a 0,139 t mm⁻¹, o que resultou numa média de 0,081 t mm⁻¹; as menores perdas proporcionais relativas foram observadas nas lâminas 100 e 25% da ETo com variação de 0,047 e 0,056 t mm⁻¹, respectivamente enquanto as maiores perdas relativas (0,095 e 0,139 t mm⁻¹) foram calculadas nos tratamentos que sofreram a deficiência hídrica de 134 mm e 132 mm, nas parcelas irrigadas com 125 e 150% da ETo, respectivamente.

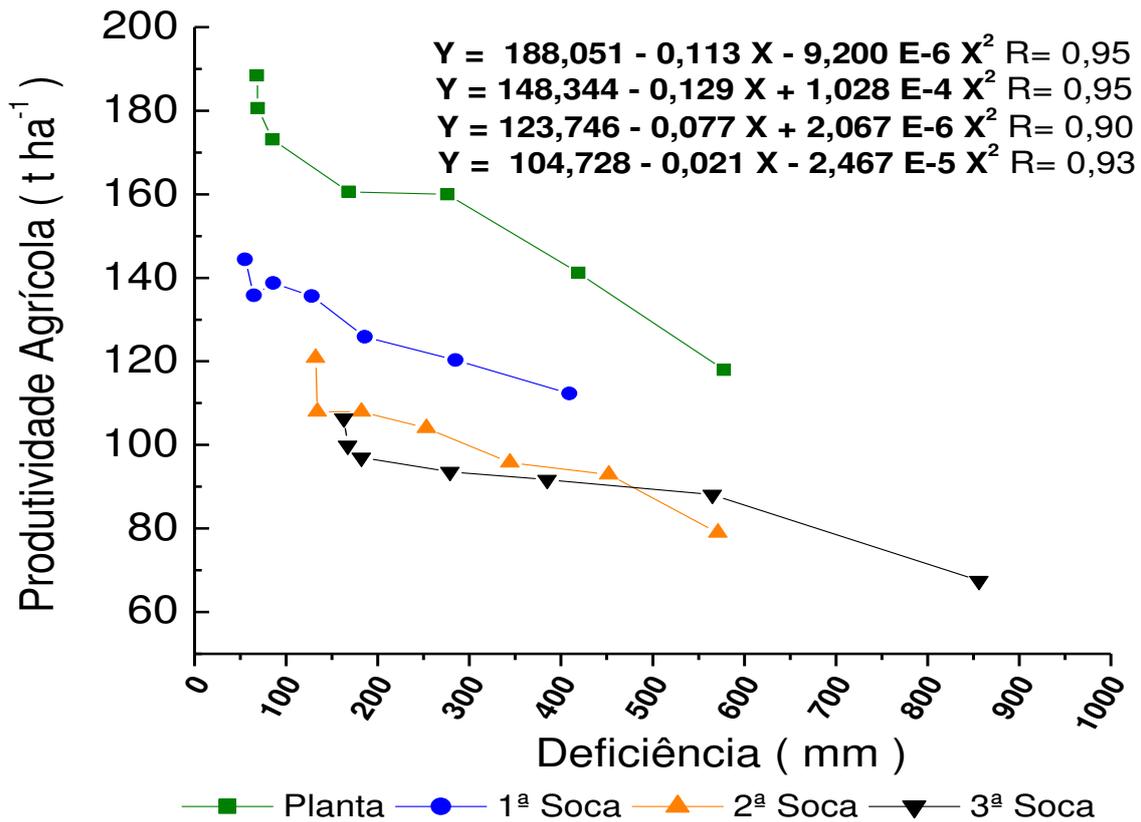


Figura 9. Produtividade da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare (TCH) relacionada à deficiência hídrica nos quatro ciclos de cultivo: cana-planta (1), 1ª Soca (2), 2ª Soca (3) e 3ª Soca (4) nos sete tratamentos de lâmina de irrigação nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013, respectivamente.

A 3ª Soca, com produtividade média de 92,01 t ha⁻¹, foi a que sofreu maior deficiência hídrica, quando comparado os três ciclos anteriores (509 mm em média) e máxima de 856 mm, nas parcelas sem irrigação. A redução de produtividade agrícola em função da deficiência hídrica variou entre 0,019 e 0,109 t mm⁻¹ (média de 0,050 t mm⁻¹), sendo que as menores perdas relativas foram observadas nas lâminas de 25 e 100% da ETo, com valores de 0,019 e 0,029 t mm⁻¹, respectivamente, e a maior perda relativa foi entre os tratamentos submetidos ao déficit hídrico de 167 e 163 mm, com perdas de 0,056 e 0,109 t mm⁻¹ nas parcelas irrigadas com 125 e 150% da ETo, respectivamente. A média geral de produtividade agrícola foi 120,97 t ha⁻¹, a deficiência hídrica média foi 354 mm e a redução de produtividade agrícola em função da deficiência hídrica foi, em média, 0,099 t mm⁻¹ nos quatro ciclos da cana-de-açúcar.

5.6 Redução da produtividade agrícola nos ciclos de produção

A produtividade agrícola média da cana-de-açúcar cultivada em regime de sequeiro, foi: 117,9; 112,3; 78,9; 67,5 t ha⁻¹ (média de 94,15 t ha⁻¹) nos ciclos de cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, respectivamente (Figura 12a). Nos tratamentos irrigados com 25% da ETo a produtividade agrícola foi: 141,1; 120,2; 92,8; 88,1 t ha⁻¹ (média de 110,55 t ha⁻¹) nos respectivos ciclos de cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca (Figura 12b). A produtividade da lâmina 50% da ETo, foi: 160,0; 125,8; 95,7; 91,6 (média de 118,27 t ha⁻¹) na cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca (Figura 12c). Na lâmina 75% da ETo, as respectivas produtividades foram: 160,5; 135,6; 104,0; 93,6 t ha⁻¹ (média de 123,42 t ha⁻¹) na cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca (Figura 12d). A lâmina de 100% da ETo rendeu 173,1; 138,7; 107,9 e 96,9 t ha⁻¹ (média de 129,15 t ha⁻¹) nas respectivas safras de cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca (Figura 12e). O rendimento em produtividade da lâmina 125% da ETo foi: 180,6; 135,7; 107,9; 99,8 t ha⁻¹ (média de 131 t ha⁻¹) nos ciclos de cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca (Figura 12f). A irrigação com 150% da ETo (Figura 12g), rendeu produtividade média de 140 t ha⁻¹) nos quatro ciclos de cultivo.

A média de produtividade nos quatro ciclos foi de 160,25; 130,43; 101,19 e 92,01 t ha⁻¹ nos ciclos de cana-planta, 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, respectivamente (Figura 12h). A redução de produtividade foi de 30, 29 e 9 t ha⁻¹ em 1ª Soca, 2ª Soca e 3ª Soca, respectivamente (média de 22,6 t ha⁻¹). A média da redução de produtividade de um ciclo para o outro foi 16,8; 17,6; 22,7; 22,3; 25,3; 26,9 e 27,3 t ha⁻¹ na lâmina de 0% da ETo, 25% da ETo, 50% da ETo, 75% da ETo, 100% da ETo, 125% da ETo e 150% da ETo, respectivamente, nos quatro ciclos de cultivo. A produtividade reduz ao longo dos ciclos de cultivo devido ao aumento no número de falhas entre as touceiras, por conta da deficiência na rebrota das soqueiras.

A produtividade aumenta conforme mais água é aplicada porém este aumento não é proporcional ao aumento da lâmina; exemplo disto é a produtividade média da lâmina de 150% da ETo (147,37 t ha⁻¹), que foi 29 % maior que a produtividade da lâmina de 25% da ETo (114,62 t ha⁻¹) mesmo se tendo aplicado uma lâmina 125% maior. Aumentos de produtividade em experimentos com lâminas de irrigação também foram verificados por Bahrani *et al.* (2009), Dantas Neto *et al.* (2006), Farias *et al.* (2008) e Teodoro *et al.* (2013).

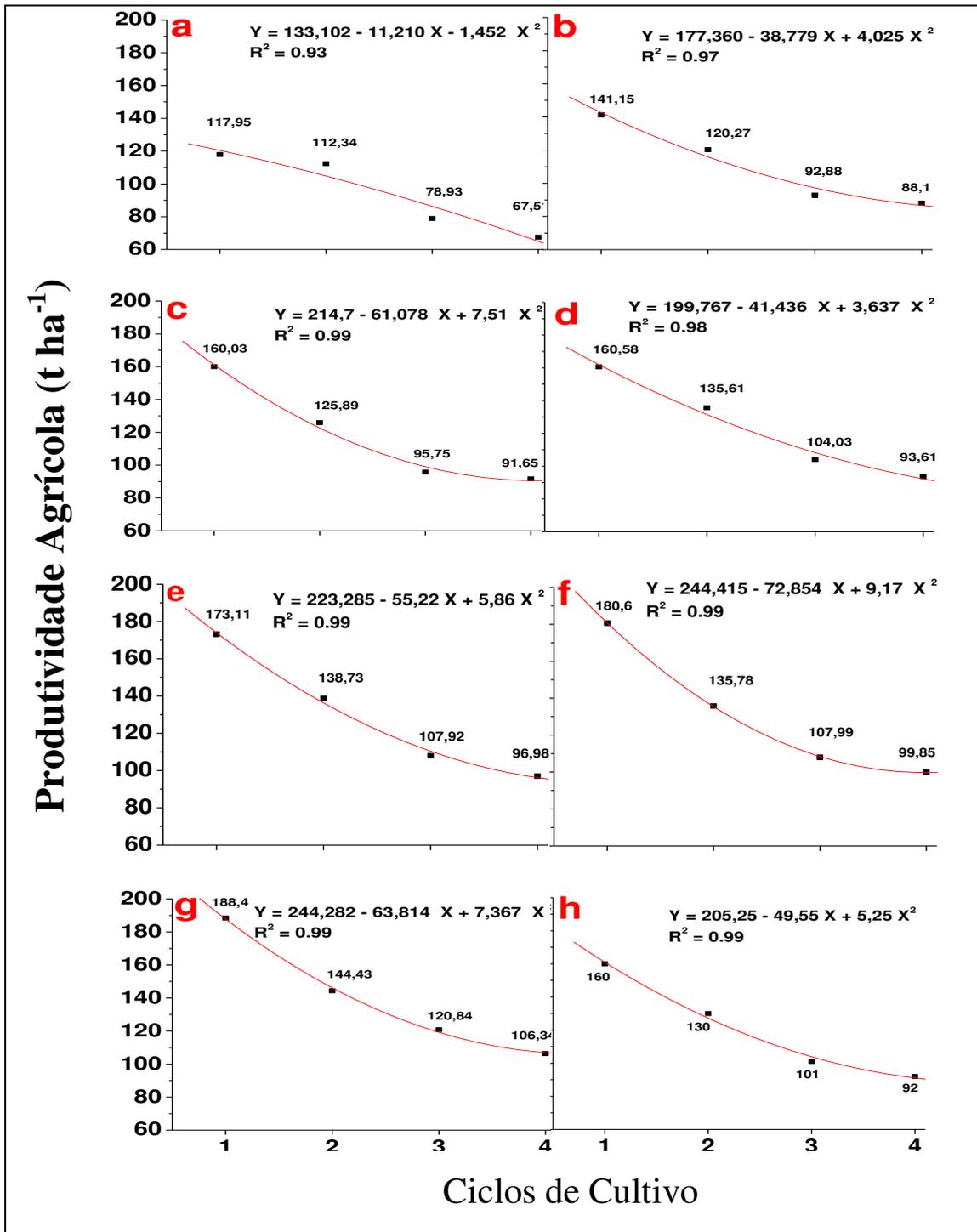


Figura 10. Produtividade agrícola da cana-de-açúcar em toneladas de cana por hectare (TCH), nos ciclos de cultivo (cana-planta: 1, 1^a Soca: 2, 2^a Soca: 3 e 3^a Soca: 4), em cultivo de sequeiro (a), irrigação com 25% ETo (b), 50% ETo (c), 75% ETo (d), 100% ETo (e), 125% ETo (f), 150% ETo (g) e média dos 14 ciclos (h), na região de Rio Largo, AL, nas safras 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013, respectivamente.

6. CONCLUSÕES

A produtividade agrícola da cana-de-açúcar aumenta com o acréscimo da lâmina de irrigação porém este aumento não é linear.

Ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar ocorre uma redução exponencial da produtividade com tendência a se estabilizar, a partir da 3ª Soca;

A perda média de produtividade em função da deficiência hídrica é 0,07 t mm⁻¹ e variou de 0,137 t mm⁻¹ em cana-planta a 0,050 t mm⁻¹ em 3ª Soca;

Em cana-planta as menores perdas proporcionais relativas de produtividade são observadas nos tratamentos irrigados com 25 e 50% da ETo;

As parcelas irrigadas com 75% da ETo produziram 37% mais que o sequeiro e a produtividade das parcelas irrigadas com 100% da ETo foi superior 46% à media do sequeiro, nos quatro ciclos.

A redução média de produtividade nos quatro ciclos foi 22,75 t ha⁻¹, por ciclo;

As curvas de regressão polinomial do segundo grau representaram bem a relação entre o déficit hídrico e a produtividade da cana-de-açúcar.

7. LITERATURA CITADA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. FAO – Rome. 208p. 1998. (Irrigation and Drainage paper, 56).
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; MOURA FILHO, G.; FERREIRA JÚNIOR, R. A. **Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas**. Ciência e Agrotecnologia, v.32, p.1441-1448, 2008.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do autor: 2002. 272 p.
- BAHRANI, M. J.; SHOMEILI, M.; ZANDE-PARSA, SH.; KAMGAR-HAGHIGHI, A. **Sugarcane responses to irrigation and nitrogen in subtropical Iran**. Iran Agricultural Research, Vol. 28 p.17-26. 2009.
- BARBOSA, G. V. S. **Três novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Boletim técnico PMGCA; n. 2. Rio Largo: UFAL/CECA/PMGCA, 18p. 2003.
- BRUNINI, O. **Ambientes climáticos exploração agrícola da cana-de-açúcar**. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, P.205-218. 2008.
- CAMARGO, P. N. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Piracicaba, ESALQ/ departamento de Agricultura e Horticultura. 1970. 38p.
- CARDOZO, L. E. C. **Manejo de cana-de-açúcar em áreas com irrigação complementar**. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas. Maceió-AL. **Anais da STAB – Regional Leste (CD-ROM)**. 2005.

- CARLIN, S. D. **Impacto do tombamento na produtividade de diferentes cultivares de cana-de-açúcar.** Campinas: IAC, 72p. 2005. Dissertação.
- CARVALHO, O. M. **Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de Rio-largo, cultivados com cana-de-açúcar.** 74p. 2003. Dissertação.
- CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos fisiológicos da brotação, perfilhamento e florescimento da cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 80 p.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira.** Brasília, 18p. Abril, 2013.
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. de A.; AZEVEDO, H. M. de.; 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.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Las necesidades de água de los cultivos.** Roma: FAO. 193p. 1979. (Estudios FAO: Yield response to water, paper 33).
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. **Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.4, p.356–362, 2008.
- FERREIRA JUNIOR, R. A. **Crescimento de variedades RB de cana-de-açúcar irrigadas e fotossíntese modelada pela radiação solar.** 68p. 2010. Dissertação.
- FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; LYRA, G. B.; TEODORO, I.; SANTOS, M. A.; PORFIRIO, A. C. S. **Crescimento e fotossíntese de cana-de-açúcar em função de variáveis biométricas e meteorológicas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.11, p.1229–1236, 2012.

- FRANCIS, C. A.; RUTGER, J. N.; PLAMER, A. F. E. **A rapid method for plant leafarea estimation in maize** (*Zea mays* L.). *Crop Science*, v.9, p.537-539. 1969.
- GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Crop- water relations. **Sugarcane**. In: TEARE, I. D.; PEET, M. M. New York: John Wiley. 547p. 1983.
- GILBERT, R. A.; SHINE JR., J. M.; MILLER, J. D.; RAINBOLT, C. R. **The effect genotype, environmental and time of harvest on sugarcane yields in Florida, USA**. *Field Crop Res*, v.95, p.156-170, 2006.
- HERMANN, E. R.; CAMARA, G. M. S. **Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar**. *Stab. Açúcar, Álcool e subprodutos*, v.17, n.5, p.32-35. 1999.
- 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. **Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane**. *Field Crop Res*, v. 36, p. 41–51. 1994.
- KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. **Modeling sugarcane production systems development and performance of the sugarcane module**. *Field Crop Res*, v. 48. p. 27-36. 1999.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.
- LEITE, R. L. **Cultivares de cana-de-açúcar em solos da região norte do estado do Tocantins**. 65p. 2007. Dissertação.
- PARK, S. E.; ROBERTSON, M.; INMAN-BAMBER, N. G. **Decline in the growth of a sugarcane crop with age under high input conditions**. *Field Crop Res*, v. 92, p.305-320, 2005.

- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia Fundamentos e aplicações práticas**. Livraria e Editora Agropecuária. Guaíba – RS. 2002. 478 p.
- RAMOS, F. A. P. **Comportamento da cana-de-açúcar, cultivar sp 79-1011, submetida a diferentes épocas de plantio em duas condições edafoclimáticas**. Areia – PB. 63p. 2006. Dissertação.
- ROBERTSON, M. J.; DONALDSON, R. A. **Changes in the components of cane and sucrose yield in response to drying off before harvest**. Field Crop Res, v. 55, p. 201-208, 1998.
- 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**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista-UNESP, 1995. 69p.
- ROSENFELD, U. **Irrigação em cana de açúcar, situação atual e perspectivas para o futuro**. In: XXII Simpósio da Agroindústria da Cana-de-Açúcar no Estado de Alagoas. Maceió-AL. **Anais da STAB – Regional Leste (CD-ROM)**. 2005.
- SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JUNIOR, W. F. **Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.12, p.1257–1265, 2011.
- SINDICATO DA INDUÍSTRIA DO AÇÚCAR E DO ALCOOL DO ESTADO DE ALAGOAS - SINDAÇÚCAR. **Precipitação pluviométrica média da região canavieira do estado de Alagoas Safras: 1983/1984 a 2011/2012**. Disponível em: <http://www.sindacucar-al.com.br/indice-pluviometrico>. Acesso em 17 fev. 2014.

- SOUZA, J. L.; MOURA FILHO, G.; LYRA, R. F. F. TEODORO, I.; SANTOS, E. A.; SILVA, J. L.; SILVA, P. R. T.; CARDIM, A. H.; AMORIN, E. C. **Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar na região do tabuleiro costeiro de Maceió, AL, período de 1972-2001.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.12, n.1, p.131-141. 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** Redwood City: Benjamin/Cummings. 2013. 565p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology.** Sunderland: Sinauer Associates, 2002. 798p.
- TEH, C. B. S. **Introduction to mathematical modeling of crop growth: How the equations are derived and assembled into a computer program.** Boca Raton: Brown Walker Press, 2006. 256p.
- TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. **Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars.** Field Crop Res, v.102, p.64-72, 2007.
- TEODORO, I. **Avaliação de evapotranspiração e desenvolvimento da cultura do milho irrigado na região de Rio Largo, AL.** 127p. 2003. Dissertação.
- TEODORO, I. **Respostas técnico-econômicas da cana-de-açúcar a níveis de irrigação e adubação nitrogenada.** 100p. 2011. Tese de Doutorado.
- 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 (UNESP Botucatu), v. 18, p. 387-401, 2013.
- TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; SILVA, C. B.; FRANCISCO, C. H.; ABREU, M. L.; COSTA, S. I.; ARAUJO, L. S.; RAMOS, R. P. **Balço hídrico real de um cultivo de cana-de-açúcar em regime de sequeiro na região de Rio Largo - AL.**

In: XVII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Mossoró – RN. 2007.

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. 4. 2009.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Sacharum spp*), baseados em parâmetros do solo e clima**. 86p. 2003. Tese de Doutorado.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 311p. 1955.

UNICA, UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em <<http://www.unica.com.br/FAQ/>> Data de acesso: 27/04/2010.

VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M. de. **Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.11, p.87-90, 1987.