



**EDUARDO MAGNO PEREIRA DA SILVA**

**PRODUTIVIDADE DE COLMOS, AÇÚCAR E ÁLCOOL DE  
VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR  
GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

**TERESINA-PI**

**2018**

**EDUARDO MAGNO PEREIRA DA SILVA**

**PRODUTIVIDADE DE COLMOS, AÇÚCAR E ÁLCOOL DE VARIEDADES DE CANA-DE-  
AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador  
Aderson Soares de Andrade Júnior

**Teresina-PI  
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA  
Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias  
Serviço de Processamento Técnico

**S586p** Silva, Eduardo Magno Pereira da  
Produtividade de colmos, açúcar e álcool de variedades de cana-  
de- açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial / Eduardo  
Magno Pereira da Silva - 2018.  
71f. : il.

Tese ( Doutorado ) – Universidade Federal do Piauí, Programa  
de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

1. *Saccharum officinarum* 2. Eficiência de água 3. Planejamento  
de irrigação I. Título

**CDD 633.61**

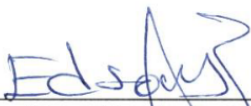
**EDUARDO MAGNO PEREIRA DA SILVA**

**PRODUTIVIDADE DE COLMOS, AÇÚCAR E ÁLCOOL DE VARIEDADES DE  
CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Doutor em Ciências.


APROVADA em 30 de agosto de 2018.


Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Pesq. Dr. Edson Alves Bastos – Embrapa Meio-Norte

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Francisco de Alcântara Neto – CCA/UFPI

  
\_\_\_\_\_  
Pesq. Dr. Valdemício Ferreira de Sousa – Embrapa Meio-Norte

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luis Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior – USPI

  
\_\_\_\_\_  
Pesq. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – Embrapa Meio-Norte  
(Orientador)

**TERESINA-PI**

**2018**

**Aos meus pais Feliciano Raimundo da Silva e Otacília Pereira da Silva, pelo  
amor, apoio e confiança;  
A minha esposa Marcyany Alexandra Ferreira de Sousa, pelo companheirismo  
e incentivo nessa batalha;  
A minha filha Mariana Sousa Silva, pelo amor e alegria contagiante.**

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Deus, que nos ilumina e dá coragem para superar os momentos mais difíceis e permitir com que finalizasse com sucesso mais uma etapa de minha vida acadêmica;

Aos meus pais que sempre me ensinaram a viver com dignidade e respeito às pessoas, pelos ensinamentos que muito me serviram para que chegasse a esta conquista;

À minha esposa e filha pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo para o término do curso;

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura Tropical (PPGA/AT) da Universidade Federal do Piauí, pela confiança e oportunidade de realização do curso;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, que foi de fundamental importância durante a realização do curso;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA MEIO-NORTE), pela possibilidade de execução do trabalho;

À Usina COMVAP pelo fornecimento das variedades de cana-de-açúcar, mão-de-obra para colheita e realização das análises da qualidade industrial da cana;

Ao pesquisador Valdenir Queiroz Ribeiro, pelo o apoio na realização da análise estatística dos dados;

Ao pesquisador Aderson Soares de Andrade Júnior, pela qualidade na orientação, amizade, bom humor e ensinamentos ao longo do curso;

Ao pesquisador Edson Alves Bastos, pela paciência, tranquilidade, serenidade e contribuição no desenvolvimento da tese;

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura Tropical que contribuíram para meu crescimento profissional com os ensinamentos transmitidos;

Aos colegas da turma de doutorado em Agronomia do PPGA;

Aos amigos da Embrapa Meio-Norte Gustavo Sousa, Marcos Vinícius, Sara Raíssa, Diego Sávio pela inestimável colaboração na execução deste trabalho;

À todos que de alguma forma participaram do meu crescimento pessoal e profissional durante esse período, e aos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
2.1 A cultura da cana-de-açúcar .....	12
2.2 Variedades de cana-de-açúcar .....	14
2.3 Irrigação por gotejamento subsuperficial .....	16
2.4 Disponibilidade de água no solo .....	18
2.5 Eficiência do uso da água (EUA) .....	21
2.6 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool .....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
3.1 Localização da área experimental .....	26
3.2 Solo e clima .....	26
3.3 Variedades avaliadas .....	27
3.4 Preparo da área e plantio .....	28
3.5 Regimes hídricos aplicados .....	29
3.6 Sistema de irrigação e fertirrigação .....	30
3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo .....	31
3.8 Produtividade de colmos e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar .....	32
3.9 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool .....	32
3.10 Análise estatística .....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
4.1 Dados climáticos .....	34
4.2 Monitoramento do conteúdo de água no solo .....	35
4.3 Produtividade de colmos e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar .....	39
4.4 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool .....	47
4.4.1 Teor de sólidos solúveis (brix) .....	49
4.4.2 Teor de fibras .....	51
4.4.3 Teor de sacarose do caldo (Polcaldo) .....	52
4.4.4 Teor de sacarose da cana (Polcana) .....	54
4.4.5 Rendimento bruto de açúcar (RBAC) .....	55
4.4.6 Rendimento bruto de álcool (RBA) .....	57
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	60
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	62

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produtividade de colmos, a eficiência de uso da água, a qualidade tecnológica e o rendimento de açúcar e álcool de variedades de cana-de-açúcar (cana planta) em resposta a diferentes regimes hídricos aplicados por gotejamento subsuperficial. O experimento foi realizado em um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, durante o período de outubro de 2015 a setembro de 2016. Modelou-se o experimento em um delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro regimes hídricos (irrigação mais precipitação pluviométrica) baseados em frações da evapotranspiração de cultura (50% ETc = 1.374,3 mm; 80% ETc = 1.534,2 mm; 110% ETc = 1.712,0 mm e 150% ETc = 1.905,8 mm) e as subparcelas por dez variedades de cana-de-açúcar (RBUFRPE01, RBUFRPE02, RBUFRPE03, RBUFV01, RB036066, RB987935, RB935744, RB943538, RB92579 e RB867515). A variação do regime hídrico promoveu alteração na performance produtiva, eficiência do uso da água, qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool das variedades de cana-de-açúcar. A máxima produtividade de colmos (222,9 Mg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a variedade RB935744 e a lâmina total aplicada de 1.688,8 mm. A máxima EUA (13,5 kg m<sup>-3</sup>) foi obtida com a variedade RB935744, aplicando-se lâmina total de 1.606,2 mm. Os maiores teores de brix (22,5%), fibras (13,3%), polcaldo (17,5%) e polcana (13,9%) foram obtidos com as variedades RB867515, RB935744, RB943538 e RB935744, respectivamente. Os rendimentos brutos de açúcar (32,2 Mg ha<sup>-1</sup>) e álcool (23 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) foram alcançados com a variedade RB935744 e reposição hídrica próxima a 110% da ETc.

**Palavras-chave:** *Saccharum officinarum*, eficiência da água, planejamento de irrigação.



## ABSTRACT

This study aimed to evaluate stalks yield, water use efficiency, technological quality and sugar and alcohol yield of sugarcane varieties (cane plant) in response to different water regimes applied by subsurface drip irrigation. The experiment was carried out in a dystrophic Yellow Red Argisol at Embrapa Middle North, Teresina, Piauí State, Brazil, during the period from October 2015 to September 2016. The experiment was designed in a randomized block design in subdivided plots, with four replications. The plots consisted of four water regimes (irrigation plus rainfall) based on culture evapotranspiration fractions (50% ET<sub>c</sub> = 1,374.3 mm, 80% ET<sub>c</sub> = 1,534.2 mm, 110% ET<sub>c</sub> = 1,712.0 mm and 150% ET<sub>c</sub> = 1,905.8 mm) and the subplots per ten varieties of sugarcane (RBUFRPE01, RBUFRPE02, RBUFRPE03, RBUFV01, RB036066, RB987935, RB935744, RB943538, RB92579 and RB867515). The variation of the water regime promoted a change in productive performance, water use efficiency, industrial quality, and crude sugar and alcohol yields of sugarcane varieties. The maximum stalks yield (222.9 Mg ha<sup>-1</sup>) was obtained with the variety RB935744 and the total applied depth of 1,688.8 mm. The maximum WUE (13.5 kg m<sup>-3</sup>) was obtained with the variety RB935744, applying total depth of 1,606.2 mm. The highest contents of brix (22.5%), fibers (13.3%), polcaldo (17.5%) and polcana (13.9%) were obtained with varieties RB867515, RB935744, RB943538 and RB935744, respectively. The maximum yields of sugar (32.2 Mg ha<sup>-1</sup>) and alcohol (23 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) were obtained with the variety RB935744 and water replenishment close to 110% of the ET<sub>c</sub>.

**Keywords:** *Saccharum officinarum*, water efficiency, irrigation planning.

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar é uma das principais atividades agrícolas de importância econômica no Brasil, que compõe o setor agroindustrial mais antigo do país, ocupando posição de destaque na economia nacional. Sua relevância é devido à sua múltipla utilização, podendo ser “in natura”, sob a forma de forragem para alimentação animal e como matéria-prima na fabricação de rapadura, melado, cachaça e, principalmente, na produção de açúcar e álcool (BARBOSA; SILVEIRA, 2006).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção de 633,3 milhões de megagramas e produtividade de 72,5 Mg ha<sup>-1</sup>. O Estado do Piauí, alcançou uma área de exploração da cultura da cana-de-açúcar de 15,7 mil hectares, responsáveis pela produção de 850 mil Mg de colmos, obtendo uma produtividade média de 54,1 Mg ha<sup>-1</sup>, produtividade superior à média da região Nordeste de 48,8 Mg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018).

Os estados de Tocantins, Maranhão e Piauí apresentam áreas promissoras de expansão para a cana-de-açúcar, tanto pelas suas características de solo e clima como, também, pelas condições de logística e distribuição para atendimento da demanda do mercado externo, que facilitam o rápido escoamento do produto final, chegando ao consumidor com a qualidade exigida pelo mercado internacional (MAPA, 2006).

No entanto, essas áreas promissoras apresentam clima semiárido e subúmido seco, cuja magnitude (800 a 1.200 mm anuais) e distribuição espacial da precipitação pluviométrica é insuficiente e não satisfaz a exigência hídrica da cultura de forma adequada durante todo o seu ciclo (Andrade Júnior et al., 2012). Por isso, para o alcance de níveis de produção satisfatórios e rentáveis nessa região faz-se necessário o emprego e manejo da irrigação.

A adoção do manejo da irrigação por parte dos produtores, notadamente, nas áreas de expansão situadas em regiões de baixa e irregular oferta pluviométrica, bem como nas áreas tradicionais de cultivo certamente permitirá maior estabilidade produtiva da cultura, com reflexos positivos no setor sucroalcooleiro do país.

A irrigação no Brasil está demandando necessariamente equipamentos que possam distribuir a água com mais eficiência, evitando desperdícios, e, estudos mais precisos sobre fatores fisiológicos, pedológicos e climáticos, que determinam a

quantidade correta de água a ser utilizada. Para o uso eficiente da água pela cana-de-açúcar, é fundamental identificar a necessidade hídrica responsável pelas máximas produções. Deste modo, a distribuição irregular e a redução dos volumes de chuvas durante o crescimento vegetativo da cultura causam prejuízos, com queda na produção e mortalidade das soqueiras, o que força a renovação precoce do canavial (DANTAS NETO et al., 2006).

A diferença de eficiência de utilização de água em relação à produtividade de colmos, verificada nas variedades se deve sem dúvida, à capacidade que cada uma possui de tolerar o estresse hídrico e, em seguida, rapidamente se regenerar.

A irrigação da cana-de-açúcar pode propiciar excelentes resultados, desde que conduzida dentro do manejo racional dos recursos hídricos. Desta maneira, no Nordeste, e em especial na região Meio-Norte (PiauÍ e Maranhão), estudos conduzidos por Andrade Júnior et al. (2012, 2017) demonstraram a viabilidade da irrigação por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar nas condições de solo e clima de União e Teresina, PI. Porém, ainda há carência de estudos regionais visando a definição de lâminas de irrigação da cana-de-açúcar, a recomendação de variedades mais responsivas à água e a quantificação da eficiência do uso de água quando irrigada por gotejamento subsuperficial.

Portanto, este estudo avaliou a produtividade de colmos, a eficiência de uso da água, a qualidade tecnológica e o rendimento de açúcar e álcool de variedades de cana-de-açúcar em resposta a diferentes regimes hídricos aplicados por gotejamento subsuperficial, na microrregião de Teresina, PI.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar desempenha papel de extrema importância para a economia do Brasil (SILVA et al., 2012), constituindo-se em um dos maiores produtores mundiais. Na safra 2017/18, o país produziu 633,3 milhões de toneladas em uma área colhida de 8.729,5 mil hectares de cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira, com produtividade de 72,5 Mg ha<sup>-1</sup>(CONAB, 2018).

A cana-de-açúcar é uma planta que possui o metabolismo fotossintético tipo C4, com eficiência na transformação de energia luminosa em energia química, respondendo de forma direta ao aumento de radiação, resultando em aumento expressivo na produção e, conseqüentemente, no armazenamento de sacarose nos tecidos do colmo. A cana-de-açúcar também tem conquistado seu espaço na função ambiental, por ser conhecida pela sua eficiência na fixação do CO<sub>2</sub> e no uso de água e de nutrientes, portanto, indicada para regiões tropicais e contribuindo significativamente para a fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico e à redução na taxa de aquecimento global (TEJERA et al., 2007).

Utilizada para diversas finalidades, essa cultura agrícola tem sido indicada como uma das principais alternativas para a produção de combustíveis renováveis, os chamados biocombustíveis. Estes, diminuem a emissão de gases de efeito estufa, atendendo à demanda da sociedade por energia limpa e por fontes energéticas baseadas na sustentabilidade ambiental, além de serem relativamente mais baratos do que os combustíveis de origem fóssil. A partir da cana-de-açúcar é possível obter etanol, por meio da fermentação do caldo extraído do colmo (SRIVASTAVA; RAI, 2012); etanol de segunda geração, por meio da utilização de enzimas que promovem a degradação lignocelulósica do bagaço e palhada (OLIVEIRA et al., 2013; PRICE et al., 2014); energia elétrica, pela queima do bagaço e da palhada (LEAL et al., 2013), além de outros subprodutos como a compostagem e a vinhaça para uso na adubação de culturas (FUESS; GARCIA, 2014).

A cana-de-açúcar é uma cultura que demanda intenso volume de água durante seu ciclo. Silva Nunes e Silva (2012) apontam que cerca de 30% de sua massa é composta por matéria seca e o restante de água. Sua capacidade em absorver água pelas folhas é maior do que em qualquer outra planta de sua família; no entanto, são as raízes, através dos seus pelos absorventes, as responsáveis pela maior quantidade

de absorção de água. Nesse caso, a determinação da quantidade de água a ser aplicada em cada fase fenológica é fundamental para um bom desempenho da cultura, garantido uma ótima produtividade de colmos e matéria-prima de qualidade. É sabido, que nas fases iniciais e intermediárias o estresse hídrico pode ocasionar prejuízo significativo para a indústria, por afetar diretamente a área foliar e não permitir o desenvolvimento vegetativo.

O desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar é altamente dependente dos fatores climáticos, visto que as variações na disponibilidade térmica, pluviosidade e intensidade de luz exercem grande influência sobre o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar e interferem na produção, na maturação e na qualidade da cultura (UEHARA et al., 2009). Durante todo o seu ciclo, a cultura recebe influência das variáveis climáticas e às explorações agrícolas destinadas à produção de açúcar são muito mais exigentes em termos de temperatura do ar e distribuição das chuvas. Apesar da sua grande adaptação às condições climáticas, para a produção da sacarose a planta encontra melhores condições quando ocorre um período quente e úmido, com alta radiação solar durante a fase de crescimento, seguido por um período seco, ensolarado e mais frio durante as fases de maturação e colheita (BRUNINI, 2008).

Gascho e Shih (1983) mencionam que os estádios ou fases fenológicas da cana-de-açúcar podem ser separados em brotação ou emergência, perfilhamento, crescimento e maturação dos colmos. A brotação, ou também conhecida como emergência dos brotos primários, representa a estabilização, que se estende por aproximadamente 30 dias após o plantio (DAP). Esta fase é caracterizada quando o caule primário, ou broto, emergem na superfície do solo, e ocorre o enraizamento inicial do rebolo. Esta primeira fase é muito dependente das condições ambientais fornecidas para a cultura, como também o manejo e época de plantio (GASCHO; SHIH, 1983; BARBOSA, 2010).

O perfilhamento é considerado como a fase de estabelecimento da cultura, onde no processo ocorre o crescimento de mais de um colmo por planta, sendo estes denominados de perfilhos, estimulados diretamente pela luz, umidade do ar e temperaturas mais elevadas. Esse processo forma as chamadas touceiras, e inicia-se após a emergência, próximo aos 40 (dias após a brotação (DAB) e pode ir até os 120 DAB. É considerada uma fase de expressiva importância econômica para o canavial, pois vai determinar a quantidade de perfilhos por hectare, que juntamente com o início

da acumulação de sacarose nos tecidos do colmo, determinarão a produtividade da cultura (GASCHO; SHIH, 1983).

O crescimento dos colmos inicia-se logo após o máximo perfilhamento e este é estimulado pela luz, umidade do ar e temperaturas mais elevadas, que vai aproximadamente dos 120 DAB, durando em média 270 dias, quando se intensifica o acúmulo de sacarose nos tecidos do colmo. Os colmos continuam crescendo em altura e iniciam o acúmulo de açúcar da base para a ponta. Essa fase também é caracterizada pelo intenso crescimento do sistema radicular da cultura, como também o amarelecimento e/ou secagem das folhas mais velhas da planta (GASCHO; SHIH, 1983; DIOLA; SANTOS, 2010).

A maturação da cana-de-açúcar, é a última fase do ciclo, se inicia por volta dos 270 DAB e pode durar até 90 dias. Essa fase é caracterizada pela intensificação da concentração de sacarose nos colmos, que teve prévio início concomitante com a fase de crescimento dos colmos, o que vai resultar diretamente na qualidade industrial da matéria-prima dos colmos remanescentes do perfilhamento na touceira (colmos industrializáveis) (GASCHO; SHIH, 1983).

No Brasil, o plantio da cana-de-açúcar é feito normalmente em três épocas, o que resulta na cana-de-açúcar conhecida como cana planta de ano (12 meses), cana planta de ano e meio (18 meses), e a cana de inverno (adotado em propriedades em que há disponibilidade de irrigação, pois o plantio é realizado na época seca do ano) o que depende, principalmente, da variedade escolhida (MIRANDA, 2008). Após o primeiro corte, o ciclo é considerado anual e ela recebe a denominação de cana soca ou de segunda folha; e, ressoca ou folha de enésima ordem, e assim por diante nos demais cortes até a última colheita, completando, assim, o ciclo da cana plantada, quando é feita a renovação do canavial. Normalmente, a lavoura de cana-de-açúcar permite de três a seis colheitas consecutivas, dependendo de vários fatores como: variedades, manejo de solo e da água e o clima (GASCHO; SHIH, 1983; BOLONHEZI; PEREIRA, 1999).

## **2.2 Variedades de cana-de-açúcar**

As variedades de cana-de-açúcar são componentes importantes do sistema de produção, isso porque, por meio delas é possível elevar a eficiência produtiva do setor sucroalcooleiro. A melhoria da qualidade da matéria-prima para a produção de açúcar

e álcool tem relação direta com a oferta de variedades mais eficientes para determinados sistemas produtivos, e o resultado das pesquisas com melhoramento genético proporcionam ao setor canavieiro variedades adaptadas às condições específicas de produção. As principais variedades cultivadas nos estados do Piauí e Maranhão são: RB92579 (55%), RB867515 (20%), RB855035 (8%), SP813250 (5%) e RB863129 (5%) (RIDESA, 2016/17).

A diversificação e a modernização do plantel de variedades contribuem de forma decisiva para a sustentabilidade do agronegócio, não apenas pelo ganho de produtividade, como também pela redução dos riscos de pragas, doenças e perdas agrícolas. Isso devido a esses novos materiais genéticos serem desenvolvidos para atender aos modernos processos produtivos, como plantio e colheita mecanizada (CTC, 2017).

Mecanismos comuns de tolerância à seca como, por exemplo, enrolamento das folhas, senescência foliar, fechamento dos estômatos e sistema radicular profundo são observados em variedades consideradas mais tolerantes à seca, e a intensidade de expressão desses mecanismos varia entre as variedades presentes no mercado. Mudanças morfofisiológicas em resposta à restrição hídrica, são utilizadas em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, e essas informações são importantes quando se trata de um sistema produtivo em que ocorre a estacionalidade das chuvas e uma menor disponibilidade de água para utilização na irrigação (IANMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

As áreas de produção de cana-de-açúcar se expandiram para zonas marginais, principalmente com relação à disponibilidade hídrica, e uma forma de resolver o problema dessas novas áreas canavieiras seria o plantio de variedades tolerantes à seca e responsivas à irrigação. A necessidade de novas variedades e a seleção das mesmas com relação aos mecanismos de tolerância à seca faz-se necessária, assim os programas de melhoramento da cana-de-açúcar devem buscar além dos ganhos em produção, variedades que tolerem e sejam eficientes quando inseridas nesses novos sistemas produtivos (BATISTA, 2013).

Silveira et al. (2002) relatam que o sucesso na indústria canavieira é baseado em três princípios fundamentais: produtividade, qualidade da matéria-prima e longevidade do canavial. A escolha da variedade correta a ser plantada é de fundamental importância para que se atinjam os três princípios supracitados, para que se obtenha produtividade com qualidade e baixo custo.

Para Dias et al. (2012) seria ideal que se plantasse uma ou mais variedades de cana melhoradas e com ciclos de maturação diferenciados, de forma que estas se adequassem às condições locais, considerando-se o clima, o relevo, o solo, além das características agroindustriais como: produtividade de colmos, teor de açúcares, rebrota, resistência à pragas e doenças, ausência de tombamento, entre outras. Os mesmos autores ainda afirmam que pode-se ter ganhos de produtividade de colmos de até 23%, o que resulta em rendimentos satisfatórios para o setor sucroalcooleiro.

### **2.3 Irrigação por gotejamento subsuperficial**

A irrigação é uma prática agrícola de fornecimento de água às culturas, onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento, não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas (GOMES, 2013). A adição de água pode ser feita de diversas maneiras, porém é uma técnica que não funciona isoladamente e sim com outras técnicas de manejo, afinal manter a umidade adequada no solo durante todo o período de crescimento é importante para que se obtenha os rendimentos potenciais da cultura, visto que o crescimento vegetativo é proporcional à água transpirada pela mesma (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Bernardo (2006) evidenciou a importância da irrigação na produtividade da cana-de-açúcar, em que à medida que se aumentou a quantidade de água aplicada, houve incrementos positivos de produtividade de toneladas de colmos por hectare (TCH) até atingir um valor máximo em 1.600 mm. Após esse valor, houve decréscimo de rendimento com o aumento de lâmina total aplicada. Concluiu-se então, que a água é um fator limitante à produção; à medida que se aumenta sua disponibilidade, a cultura pode expressar melhor o seu potencial produtivo até um determinado ponto, porém com o excesso de água no solo, que leva à baixa aeração na zona radicular e a lixiviação de nutrientes, a sua produtividade decresce.

Resende (2013) menciona que a irrigação da cana-de-açúcar no Brasil é efetivada principalmente sob duas modalidades: 1) irrigação plena, em que se busca atender de forma contínua, toda ou parte da demanda hídrica da cultura, não atendida pela precipitação pluviométrica e a 2) irrigação suplementar, onde a aplicação de água é efetuada em épocas específicas, visando mitigar o efeito do déficit na fase inicial de desenvolvimento da cultura.



O gotejamento subsuperficial é um sistema de irrigação que ultimamente seu uso vem crescendo em cultivo da cana-de-açúcar, mas tem alto custo de implantação (SILVA NUNES; SILVA, 2012). Gornat e Nogueira (2015), apontam que a utilização do gotejamento subsuperficial traz maiores oportunidades para uma irrigação mais eficaz e ainda possibilita automatizar todo o sistema. Pelo fato de o sistema de campo permanecer enterrado, abre novas possibilidades para a total mecanização do processo produtivo, tendendo à racionalização no uso da água, energia e aumentando a produção.

Entre os principais benefícios proporcionados por esse sistema podem ser citados: maior economia de água, energia elétrica e mão-de-obra; menor custo de manutenção dos equipamentos aumenta a vida útil dos materiais do sistema, redução de perdas com vandalismo, e não interferem nas operações agrícolas; além de estimular sistema radicular mais profundo, diminui perdas de água e nutrientes com aplicação direta na zona radicular; facilidade de adaptar as concentrações dos nutrientes de acordo com o estágio fenológico da cultura e das condições climatológicas; possibilita que a superfície do solo permaneça seca diminuindo a incidência de plantas invasoras, pragas e doenças, bem como, reduz significativamente as perdas por evaporação (GOMES, 2013).

Como principais limitações, têm-se o custo inicial elevado, se comparado aos demais sistemas de irrigação; impossibilidade de se verificar adequadamente o funcionamento dos gotejadores; e maior possibilidade de entupimento dos emissores (gotejadores) por causa da entrada de raízes ou da presença de substâncias na água de irrigação, que causam a formação de precipitados (OLIVEIRA et al., 2013).

Dalri et al. (2008), com o objetivo de estudar a frequência de irrigação por gotejamento subsuperficial no desenvolvimento da cana-de-açúcar no primeiro ciclo de cultivo, concluíram que a irrigação elevou a produtividade da cana-de-açúcar de 202,2 Mg ha<sup>-1</sup> para 320,6 Mg ha<sup>-1</sup>, com incremento de 58,5% em relação à testemunha (sem irrigação).

Com o objetivo de avaliar o efeito da irrigação por gotejamento subsuperficial na produtividade de variedades de cana-de-açúcar (RB867515, RB855536 e SP803280), em dois ciclos de cultivo em Jaú-SP, Gava et al. (2011), observaram que a média de produtividade de colmos das três variedades estudadas foi de 132,2 Mg ha<sup>-1</sup> para o manejo irrigado e 106,5 Mg ha<sup>-1</sup> para o manejo de sequeiro, no primeiro ciclo de cultivo. No segundo ciclo, a média foi de 126,2 e 90,8 Mg ha<sup>-1</sup>, para

os manejos irrigado e sequeiro, respectivamente, elevando a produtividade média em 20% no ciclo da cana planta e de 28% no segundo ciclo.

Estudos conduzidos por Andrade Júnior et al. (2012) no estado do Piauí, com sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, evidenciaram a viabilidade técnica desse sistema em cana-de-açúcar. Os resultados mostraram que a aplicação de uma lâmina de 1.154 mm de água, com 114,2 kg ha<sup>-1</sup> de N e de 60,1 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, proporcionou máximo rendimento de colmos (207,4 Mg ha<sup>-1</sup>).

Alves et al. (2014), avaliando o efeito de cinco lâminas de irrigação na produtividade de colmos em Rio Verde-GO, irrigada por gotejamento subsuperficial, obtiveram com uma lâmina total de água de 1.475 mm o valor máximo de produtividade de colmos de 230,41 Mg ha<sup>-1</sup>.

Silva et al. (2015), avaliando duas variedades de cana-de-açúcar no município de Jaú-SP, irrigada por gotejamento subsuperficial, sob dois regimes hídricos, observaram que a produtividade de colmos no ambiente com suplementação hídrica (1.682,9 mm) apresentou valores superiores, quando comparadas a condição de sequeiro (1.289,9 mm). A variedade RB867515 obteve uma produtividade de colmos de 93,9 Mg ha<sup>-1</sup> e 79,4 Mg ha<sup>-1</sup>, no irrigado e sequeiro, respectivamente, ou seja, redução de 15,5%, enquanto a RB855536 foi de 89,5 Mg ha<sup>-1</sup> no irrigado e de 69,2 Mg ha<sup>-1</sup> no sequeiro, isto é, redução de 22,7%.

Em pesquisa conduzida em Rio Verde-GO, avaliando a produtividade de colmos da cana-de-açúcar, submetida a diferentes reposições hídricas, sem e com aplicação de nitrogênio via água de irrigação por gotejamento subsuperficial nas condições de cana planta e cana soca, Sánchez-Román et al. (2015) concluíram que, a produtividade de colmos apresentou efeito significativo, com aumentos de 200,5 Mg ha<sup>-1</sup> para 235,7 Mg ha<sup>-1</sup> cana planta e 157,4 Mg ha<sup>-1</sup> para 223,8 Mg ha<sup>-1</sup> cana soca em função da reposição hídrica de 0 e 100%, respectivamente.

## **2.4 Disponibilidade de água no solo**

A água é extremamente importante para o desenvolvimento e produção vegetal e seu manejo racional é decisivo para a produtividade final da cultura, devendo-se evitar a falta ou excesso. Desta forma, o conhecimento da distribuição do teor de água no solo torna-se cada vez mais necessário, uma vez que está fortemente ligado às propriedades do sistema solo-água-planta, onde seu conhecimento é um dos

principais fatores indispensáveis para se obter uma produção sustentável e sem danos ao meio ambiente.

A água disponível é um conceito agrônômico quantificado pela diferença da água na capacidade de campo (CC), que corresponde à água no solo após a drenagem natural pela força da gravidade; e o ponto de murcha permanente (PMP), quando o solo apresentaria pouca água, condição esta que a planta não se recuperaria após ser submetida a esse estresse hídrico.

A capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) é calculada até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura a ser irrigada e, dentro das limitações dos conceitos de CC e PMP, pode representar o próprio volume de água disponível à cultura. Na prática, a água do solo não deve baixar até o teor de PMP, pois muitas espécies entram em déficit hídrico fisiológico em intervalos bem antes desse ponto; outras plantas, no entanto, ainda resistem a este estado. Para evitar esta condição, considera-se a necessidade de reposição de água à cultura quando a umidade do solo atinge um percentual da capacidade total da água do solo (CAD), determinado em função das características fisiológicas das culturas e da demanda climática do local. Esta fração da CAD, ajustada pelo fator de disponibilidade hídrica,  $f$ , às necessidades de cada cultura, é denominada de capacidade real de armazenamento de água no solo.

Os valores de  $f$  para a cultura da cana-de-açúcar encontrados na literatura variam de 0,50 a 0,70. Mantovani et al. (2009) recomendam o valor de 0,50 de modo a propiciar um menor esgotamento de água no solo, diminuindo o estresse hídrico da cultura. Allen et al. (1998) e Oliveira et al. (2010) citam o valor intermediário de 0,65 e Bernardo (2006) indicam o valor de 0,70. Um fator  $f$  de 0,5 significa que as plantas podem consumir até 50% de toda água disponível no solo, sem que haja redução significativa da produtividade (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI et al., 2008).

O conhecimento detalhado da dinâmica da água no solo durante o desenvolvimento de uma cultura fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo de irrigação, escolha da época de plantio e determinação de consumo de água pelas plantas. O solo é o principal meio de transporte e de armazenamento de água, nas camadas de solo mais próximas da superfície, os processos de movimentação da água, por meio da infiltração, evaporação, absorção pelas plantas, redistribuição e drenagem ocorrem de forma

mais dinâmica, o que demanda maior detalhamento espaço-temporal desse monitoramento (CRUZ, et al., 2005).

Cruz et al. (2010) afirmam que, para se realizar o manejo adequado de irrigação de qualquer cultura, é importante conhecer o teor de água existente no solo para, dessa forma, aplicar a quantidade de água necessária e no tempo correto, visando assim eliminar o risco de deficiência hídrica nos cultivos. O uso de instrumentos agrícolas voltados para a aquisição de informações sobre o sistema água-solo se assinala como uma importante ferramenta para quantificação do teor de água no solo. Técnicas dessa natureza baseiam-se em uma propriedade física dependente apenas do seu conteúdo, produzindo uma resposta direta, rápida e confiável (PROVENZANO et al., 2016).

Existem vários métodos para avaliar a umidade do solo, dentre eles estão os diretos, como o gravimétrico, considerado padrão, pois apresenta resultados precisos e de baixo custo, quando usado como técnica laboratorial (ZHAI et al., 2017). Porém, para realização dessas análises no campo, o acondicionamento e transporte das amostras podem reduzir a precisão dos resultados e, para amostragens repetidas em uma pequena área, podem causar interferência no local em estudo. Esse método possui limitações que restringem seu uso, principalmente seu caráter destrutivo e o tempo demandado para que se obtenha um resultado.

Os métodos indiretos (Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR)), estão ganhando espaço no Brasil e no mundo, entretanto, a principal limitação destes, é a necessidade de calibração local (PROVENZANO et al., 2016). Dessa forma, surgem como alternativas para quantificação do teor de água do solo, provendo leituras precisas, rápidas, mensuração em tempo real, possibilidade de multiplicação de leituras, repetição sem destruição da amostra de solo, possibilidade de leituras automatizadas e em diferentes profundidades (SOUZA et al., 2013).

Pinheiro et al. (2015), com o objetivo de mapear a distribuição de água no perfil do solo, analisando a disponibilidade da mesma às plantas aplicadas por gotejamento subsuperficial, com a variedade VAT90212, em Juazeiro, BA, utilizando-se irrigação correspondente à reposição de 100% da ETc (1.566,4 mm) obtiveram média do teor de água no solo na profundidade de 0,0 a 0,2 m de 0,14; 0,17 e 0,16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, em termos de disponibilidade de água no solo, a umidade correspondeu a 41,0; 49,8 e 46,9% da

água disponível (AD) do solo nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento de colmos, respectivamente.

Considerando a profundidade de 0,2 a 0,4 m, as médias do teor de água no solo nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento de colmos foram de 0,13; 0,19 e 0,17  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , em termos de disponibilidade de água no solo, a umidade foi 46,4; 67,9 e 60,7% da AD do solo, nessa ordem.

Com o objetivo de determinar o coeficiente de cultura e a demanda hídrica da cana-de-açúcar, por meio do método de balanço de energia, com base na razão de Bowen no município de União-PI, Nôleto (2015), obteve médias de teor de água no solo na profundidade de 0,0 a 0,3 m entre 0,09 a 0,21  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e 0,14 a 0,21  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , que corresponde a disponibilidade de água no solo de 39,1 a 91,3% e 60,9 a 91,3% nas fases fenológicas perfilhamento e crescimento de colmos, respectivamente.

Portanto, percebe-se que o monitoramento da umidade do solo pode ser uma ferramenta para realizar um correto manejo de irrigação, afim de promover maiores produtividades de colmos, uma melhor qualidade do caldo da cana-de-açúcar e rendimentos brutos de açúcar e álcool satisfatórios.

## **2.5 Eficiência do uso da água (EUA)**

A EUA é a relação entre a produção vegetal alcançada em determinada área e o volume de água utilizado durante o cultivo para obtê-la. Com isso é imprescindível, a busca pela diminuição da quantidade de água aplicada sem reduzir a produção ou o aumento da produtividade empregando com a mesma quantidade de água de irrigação (CAMPAGNOL et al., 2014).

Santos (2005) aponta que a água ocupa posição de relevância no ambiente de produção agrícola, e deve ser tratada com racionalidade, pois seu desperdício e/ou mau uso, afeta sensivelmente o meio ambiente e a rentabilidade da atividade agrícola.

Tundisi e Tundisi (2011) citam que cerca de 70% da água disponível é retirada para uso da irrigação. O que faz com que a mesma se coloque no centro das atenções, diante da atual preocupação com a preservação dos recursos hídricos, ao mesmo tempo em que requer grande responsabilidade quanto à eficiência ou à racionalização no uso deste líquido (AGUIAR NETTO; BASTOS, 2013).

Paz, Teodoro e Mendonça (2000), relatam que a eficiência do uso da água inclui qualquer medida que reduza a quantidade que se utiliza por unidade de qualquer atividade, e que favoreça a manutenção e a melhoria da qualidade da água. Para

tanto, em sistemas irrigados é fundamental que o suprimento de água atenda o desenvolvimento potencial das culturas, de modo que a quantidade de água aplicada não exceda a capacidade de absorção e de aproveitamento do sistema radicular da planta. A aplicação em excesso frequentemente promove a degradação do solo por meio da erosão hídrica e a lixiviação de fertilizantes, além de causar problemas de drenagem e de acúmulo de sais em áreas de regiões áridas e semiáridas (BARRETO; FACCIOLI; SILVA, 2004).

Nesse sentido, o grande desafio para o setor agrícola é selecionar adequadamente o método da irrigação que será utilizado nas culturas, para com isso, adotar práticas de manejo que viabilizem maior eficiência no uso da água (EUA) bem como menor consumo de energia (PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008).

Avaliando a eficiência do uso de água da cana-de-açúcar cultivada na região dos Tabuleiros Costeiros do município de Capim, PB, Farias et al. (2008), verificaram que a EUA em termos de produção de colmo, foi de  $3,99 \text{ kg m}^{-3}$ , sob a condição de sequeiro, e se elevam à medida que aumenta a lâmina total de água aplicada à cultura, na ordem de 5,31; 7,13; 7,21 e  $7,22 \text{ kg m}^{-3}$ , para os respectivos níveis de reposição hídrica de 25, 50, 75 e 100% da ETc.

O aumento da EUA com uso da irrigação também foi constatado por Oliveira et al. (2011), com produção em média de  $70,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  de colmos a mais, em comparação às variedades conduzidas em regime de sequeiro.

Considerando a lâmina de água total que entrou no sistema de produção, Silva et al. (2011), trabalhando com a variedade RB92579, ciclo de cana soca em Juazeiro, BA, encontrou valor médio de EUA de  $5,36 \text{ kg m}^{-3}$  em base industrial de colmo (TCH). Silva et al. (2013) repondo 100% da ETc, para o ciclo de segunda soca e de terceira soca, para a mesma variedade, cultivada na zona costeira da Paraíba, obteve média de EUA de  $8,3 \text{ kg m}^{-3}$ .

Para Doorembos e Kassam (1994), a EUA na cultura da cana-de-açúcar cultivada nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, em solos com 80% de água disponível, varia de 5 a  $8 \text{ kg m}^{-3}$ .

Em experimento conduzido sob casa de vegetação, Maschio (2011) verificou que a EUA, medida com base em biomassa total seca da parte aérea, foi de 9,05 e  $8,97 \text{ kg m}^{-3}$  para variedades cultivadas sob irrigação plena em solo argiloso e franco arenoso respectivamente, enquanto, que sob irrigação com déficit os números seguiram a devida ordem, 9,6 e  $10,6 \text{ kg m}^{-3}$ .

Gava et al. (2011), em ensaio com cana-de-açúcar irrigada plenamente por gotejamento subterrâneo, no Oeste Paulista, primeiro ciclo, obtiveram valores de EUA, com base em massa verde de colmos, entre 7,5 e 6,3 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Cabral et al. (2012) no sudeste brasileiro, verificaram que a EUA, calculada com rendimento da cana-de-açúcar pela quantidade de água evapotranspirada, foi de 10,1 kg m<sup>-3</sup> e 9,0 kg m<sup>-3</sup> para o primeiro ciclo e segundo ciclo, respectivamente.

Calgaro et al. (2014), avaliando a influência de três sistemas de irrigação: gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e sulco sobre a EUA, no ciclo de cana planta, variedade RB92579, em Juazeiro-BA, verificaram que o sistema de irrigação por sulcos apresentou maior consumo de água durante o ciclo produtivo da cultura, com conseqüente redução da EUA sendo, dessa forma, menos eficiente (4,1 kg m<sup>-3</sup>), e que os sistemas localizados apresentaram valores de EUA iguais a 8,8 e 9,1 kg m<sup>-3</sup>, para o gotejamento superficial e subsuperficial, respectivamente. Para o ciclo de segunda soca com a mesma variedade, na região de Bebedouro, Petrolina-PE, Calgaro et al. (2013) obtiveram valores bem inferiores, na ordem de 3,2, 3,0 e 2,6 kg m<sup>-3</sup> para a irrigação por gotejamento superficial, gotejamento subsuperficial e irrigação por sulcos respectivamente, em função de menores rendimentos produtivos, sendo o maior consumo da água de irrigação por sulco.

Com o objetivo de avaliar EUA em diferentes variedades de cana-de-açúcar (IAC911099, IACSP933046, IACSP963060, PO8862, RB855536, RB867515, SP832847 e SP851115) irrigadas por gotejamento durante dois ciclos na região de Jaú, SP, Silva et al. (2014), verificaram que a EUA variou de acordo com as variedades dentro de cada ciclo de avaliação e que as diferenças se deram em decorrência da variabilidade genética de cada variedade, uma vez que cada ciclo recebeu quantidade semelhante de água, obtendo valores médios de EUA de 6,45 e 6,13 kg m<sup>-3</sup>, no primeiro e segundo ciclos, respectivamente.

Dessa forma, constata-se que a relação entre consumo de água e produtividade é inversa; assim, uma variedade será mais eficiente e responsiva quanto maior for sua produtividade e menor o consumo relativo de água.

## **2.6 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool**

A qualidade da cana-de-açúcar enquanto matéria-prima industrial pode ser definida por uma série de características intrínsecas da própria planta, como maior

riqueza e pureza em açúcares, menor presença de impurezas vegetais (folhas verdes, palhas, palmitos) e minerais (terras e pedras), que definem seu potencial para produção de açúcar e álcool (ALONSO, 2006). Dentre os fatores que influenciam a composição química e tecnológica da cana-de-açúcar, destacam-se as variedades, ambientes de produção e manejo adotado (SEGATO et al., 2006a).

A produtividade nos canaviais e a qualidade industrial da matéria-prima no cultivo da cana-de-açúcar são as principais preocupações do setor sucroalcooleiro para atender as exigências das indústrias no Brasil, a fim de se obter um produto economicamente competitivo (DANTAS NETO et al., 2006), pois a concentração de açúcares tem sua destacada importância, pois a partir destes são obtidos os demais subprodutos da cana-de-açúcar, dependendo diretamente de parâmetros tecnológicos como brix (teor de sólidos solúveis), Pol (teor de sacarose), PZA (pureza do caldo), fibras e PCC (percentagem de açúcar bruto), onde é possível estabelecer critérios para comercialização da cana-de-açúcar (CORREIA et al., 2014)

Avaliando características morfológicas e produtivas e suas correlações das variedades de cana-de-açúcar RB72910, RB99382, RB72454, RB855536, RB92579 e RB931011, Maia Júnior et al. (2018) encontraram teor máximo próximo de 21% de brix com a variedade RB855536. Para a variedade RB92579 foi encontrado valor em torno de 19%.

Com o objetivo de avaliar a influência de três sistemas de irrigação (sulco, gotejamento superficial e gotejamento subsuperficial) sobre a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar da variedade RB92579 por três ciclos de cultivo, em Juazeiro-BA, Simões et al. (2015) observaram que não houve influência dos sistemas de irrigação, no entanto, diferenças significativas foram observadas entre os ciclos, com tendência de aumento ao longo dos anos nos teores de brix e porcentagem de fibra industrial, alcançando valores de 21,9% e 13,8%; 22,9% e 14,9%; 23,6% e 16,6% para cana planta, primeira e segunda soca, respectivamente.

Estudando os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, no município de Capim - PB, com a variedade de cana-de-açúcar SP791011, Correia et al. (2014) observaram que não foi verificada a influência das lâminas de irrigação utilizados para os parâmetros brix e fibras, no entanto, houve diferença significativa para teor de sacarose da cana (Polcana). Já na adubação houve diferença significativa somente para fibras, encontrando valores médios de 21% de brix, 18,6% Polcana e 16,6% fibras.



Oliveira et al. (2014), avaliando as características industriais da cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação em Janaúba-MG, obtiveram média geral de 24,3% de brix, 17,6% Polcana e 21% Polcaldo.

Com o objetivo de verificar a influência de dois regimes hídricos de cultivo sobre os indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em três variedades de cana de açúcar (RB72454, SP791011 e SP801842), Dias et al. (2012) encontraram resultados de percentual de brix e fibras em média de 24,1 e 13,1% no regime sequeiro e 22,4; 12,2 % no regime irrigado, respectivamente. Tanto o teor de sólidos solúveis quanto o de fibra bruta foram superiores nas plantas do regime não irrigado. Possivelmente o excesso de água no solo, na fase de maturação, prejudicou o acúmulo de sólidos solúveis. Logo, a maior disponibilidade de água nos tratamentos irrigados pode ter influenciado no menor teor de sólidos solúveis em relação aos não irrigados.

Nascimento (2017), em estudo com a variedade RB92579 cana planta nas condições do Meio-Norte Piauiense, observaram máximo rendimento de açúcar e de álcool na ordem de 28,8 Mg ha<sup>-1</sup> e 19,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, utilizando gotejamento subsuperficial com lâmina total de 1.804, 2 mm combinado com níveis de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Cunha et al. (2016), com o objetivo de avaliar o rendimento de açúcar da cana-de-açúcar da variedade RB855453 submetida a diferentes regimes hídricos via gotejamento subsuperficial em Rio Verde-GO, encontraram rendimento bruto de açúcar (RBAC) e álcool (RBA) de 34,8 Mg ha<sup>-1</sup> e 24,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para cana planta, respectivamente.

Com o objetivo de definir os níveis ótimos de irrigação, nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar, variedade RB867515, aplicados por gotejamento subsuperficial, em ciclo de primeira soca no município de União-PI, Andrade Júnior et al. (2012) atingiram como máxima produtividade 23,3 Mg ha<sup>-1</sup> de RBAC e 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de RBA.

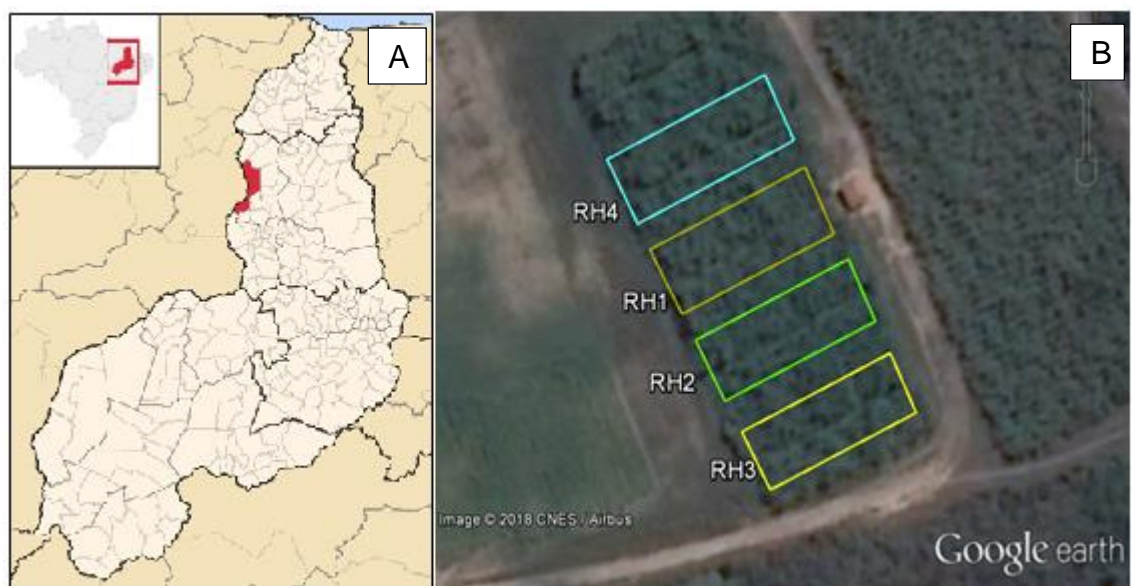
A qualidade da cana-de-açúcar é fundamental na busca de bons resultados, visto que está diretamente ligada ao desempenho dos processos industriais que são fundamentais na obtenção de rendimentos satisfatórios e qualidade do produto final, sendo possível encontrar algumas formas de maximizar os rendimentos obtidos nos processos industriais, agregando valor ao produto final. Portanto, a qualidade da matéria-prima processada e dos rendimentos de álcool e açúcar obtidos, mostra a necessidade de se obter rendimentos mais elevados, além de produtos de melhor

qualidade, o que se pode ser conseguido por meio da melhoria das características tecnológicas da matéria-prima.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área experimental

O ensaio foi realizado no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte (Figura 1), em Teresina, PI, ( $5^{\circ}05'S$  e  $42^{\circ}48'W$  e 74 m de altitude), durante o período de outubro de 2015 a setembro de 2016.



**Figura 1** Mapa do Estado do Piauí, mostrando em detalhe o município de Teresina (A) e a localização da área experimental, com vista dos regimes hídricos adotados para a cana-de-açúcar (B). Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.

#### 3.2 Solo e clima

O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (MELO et al., 2014). Para a caracterização físico-hídrica e química do solo da área experimental, foram retiradas, antes do plantio, amostras de solo às profundidades de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m. As análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solos da Embrapa Meio-Norte, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. O clima da região é subúmido seco, megatérmico. A umidade relativa média anual é de 72,9%, temperatura média de  $29,2^{\circ}C$  e a precipitação pluviométrica é de 1.086 mm (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2016).

**Tabela 1** Caracterização química e físico-hídrica do solo da área experimental, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade. Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI

Atributos	Profundidade (m)	
	0-0,2	0,2-0,4
Atributos químicos		
MO (g kg <sup>-1</sup> )	17,71	7,06
pH (H <sub>2</sub> O)	7,70	7,27
P (mg dm <sup>-3</sup> )	5,93	2,57
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,28	2,43
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,05	0,05
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,74	1,42
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,02	0,70
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,19	0,15
CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,51	6,82
V (%)	37,79	26,95
Atributos físico-hídricos		
Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )	1,45	1,75
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	723,8	674,3
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	140,2	136,3
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	136,0	189,4
θ <sub>cc</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,319	0,205
θ <sub>pmp</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0,084	0,068
CAD (mm)	47,0	27,4
AFD (mm)	23,5	13,7
Textura	Franco-arenoso	Franco-arenoso

θ<sub>CC</sub>: capacidade de campo (-10 kPa); θ<sub>PMP</sub> (-1500 kPa): ponto de murcha permanente; CAD: capacidade de água disponível; AFD: água facilmente disponível.

### 3.3 Variedades avaliadas

Avaliaram-se dez variedades de cana-de-açúcar (RBUFRPE01, RBUFRPE02, RBUFRPE03, RBUFV01, RB036066, RB987935, RB935744, RB943538, RB92579 e RB867515), durante o ciclo de cultivo de cana planta, no ano agrícola de 2015/2016.

As variedades RBUFRPE01, RBUFRPE02, RBUFRPE03 e RBUFV01 são clones promissores em fase de registro e proteção no Serviço Nacional de Proteção de Cultivares-MAPA. Portanto, foram codificadas usando-se a sigla da Universidade que a desenvolveu acrescido de um número de ordem.

As principais características morfológicas e agroindustriais das variedades de cana-de-açúcar encontram-se no catálogo da RIDESA (2010), a saber:

RB036066: Apresenta ótima brotação, ótimo perfilhamento em cana planta e cana soca e rápido fechamento de entre linhas. Elevado potencial produtivo e com ampla adaptabilidade e estabilidade da produção agrícola, maturação de ciclo médio.

RB987935: Excelente brotação e perfilhamento, excelente fechamento das entrelinhas, elevada produtividade agrícola, maturação média/tardia. Possui elevada sanidade às principais doenças e elevada estabilidade da produção agrícola.

RB935744: Desenvolvimento rápido, hábito de crescimento ereto, de fácil despalha, diâmetro de colmo médio-grosso, e de cor marrom esverdeada, com pouca cera e gema triangular. Material rústico, excelente sanidade e muito produtivo.

RB943538: Hábito de crescimento semi-decumbente, bom fechamento de entrelinhas, perfilhamento médio. Bainha verde, levemente arroxeadas, quando exposta, de fácil despalha e quantidade de folhas regular.

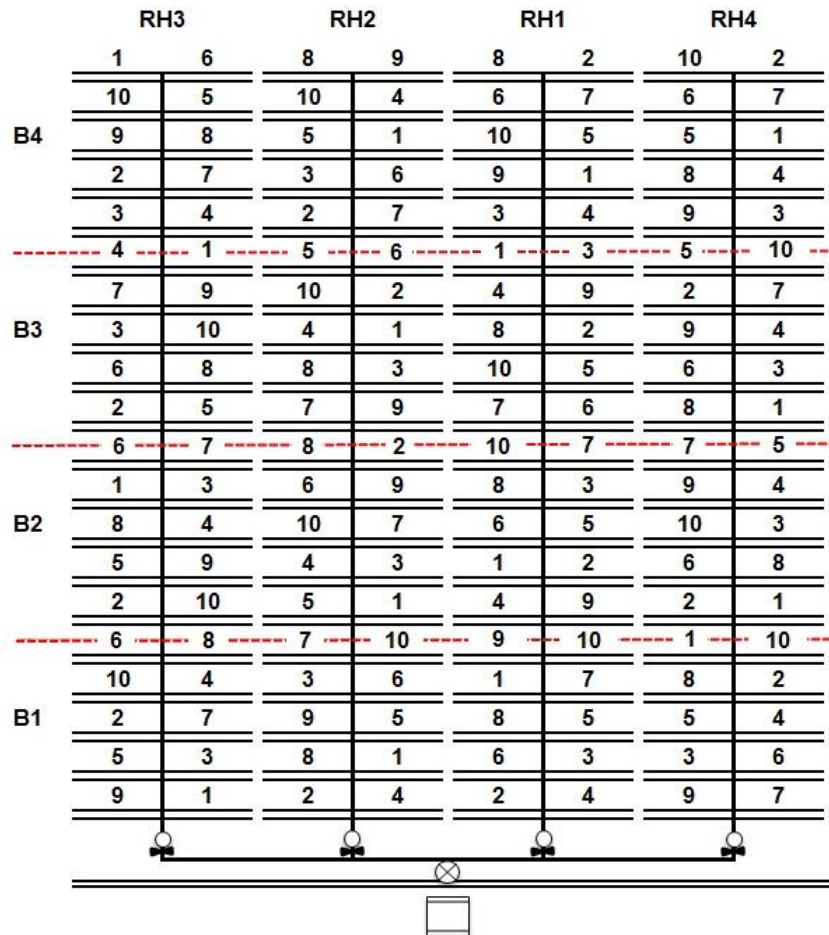
RB92579: Ótima brotação na planta e na soca com colheita manual queimada, e boa com colheita manual crua. Alto perfilhamento em planta e soca, proporcionando ótimo fechamento de entrelinhas. Floresce pouco. Velocidade lenta de crescimento. Alta produtividade agrícola nas quatro primeiras folhas, maturação média e médio teor de fibra.

RB867515 Desenvolvimento rápido, hábito de crescimento ereto, de média despalha, diâmetro de colmo médio, entre nós cilíndricos de cor verde arroxeadas e roxo intenso quando exposto ao sol, pouca rachadura e leve ziguezague e pouca cera. Alto teor de sacarose e alta produtividade agrícola, responsiva a maturador podendo ser cortada em início de safra. Excelente desenvolvimento, com boa brotação na planta e socas.

### **3.4 Preparo da área e plantio**

O preparo do solo constou de uma aração e duas gradagens cruzadas, com posterior aberturas dos sulcos de plantio. A calagem do solo foi realizada dois meses antes do plantio, utilizando o método da saturação por bases (V%), onde aplicou-se 1,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico para elevar a saturação de bases até 80%. As

parcelas foram constituídas por uma fileira dupla de 10 m de cada variedade. A área útil da parcela compreendeu os mesmos 10 m de comprimento central, com 0,50 m entre fileiras e 2,0 m entre as fileiras duplas (Figura 2), em uma densidade de quinze gemas por metro. O plantio foi realizado manualmente de 14 a 16 de outubro de 2015.



**Figura 2** Croquis de distribuição das dez variedades de cana-de-açúcar nas parcelas e blocos na área experimental.

### 3.5 Regimes hídricos aplicados

As variedades de cana-de-açúcar foram submetidas a quatro regimes hídricos (irrigação mais precipitação pluviométrica), aplicados com base na evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), apenas do período de aplicação dos regimes hídricos diferenciados, na fase de pleno desenvolvimento da cultura: RH1 – 50%  $ET_c$ , RH2 – 80%  $ET_c$ , RH3 – 110%  $ET_c$  e RH4 – 150%  $ET_c$  (Tabela 2). Os coeficientes de cultura utilizados para o cálculo da  $ET_c$  foram recomendados pela FAO (ALLEN et al., 1998). A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foi estimada pelo método de Penman – Monteith (ALLEN et al., 1998), com base nos dados climáticos obtidos na estação agrometeorológica automática instalada na Embrapa Meio-Norte.

A aplicação diferenciada das lâminas de irrigação ocorreu 198 dias após o plantio, logo depois ao período chuvoso, sendo efetuada por meio da aplicação de tempos diferenciados de irrigação, com controle da lâmina aplicada por hidrômetros instalados na entrada de cada área do regime hídrico adotado. As frequências de aplicação das lâminas de água foram sempre realizadas às segundas, quartas e sextas-feiras, com o registro das lâminas de irrigação efetuadas por meio de hidrômetros. Na segunda-feira, aplicava-se a ETc acumulada de sexta, sábado e domingo; na quarta-feira, aplicava-se a ETc acumulada de segunda e terça-feira; e na sexta-feira, aplicava-se a ETc acumulada de quarta e quinta-feira.

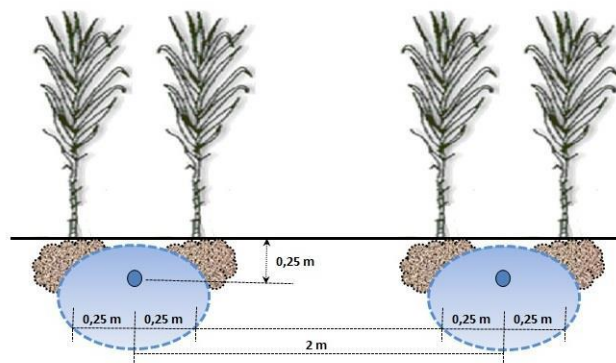
**Tabela 2** Lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico (RH)

Regime hídrico	LI-A* (mm)	LI-D** (mm)	LT (mm)	P (mm)	Total (mm)
RH1 (50% ETc)	359,5	245,6	605,1	769,2	1.374,3
RH2 (80% ETc)	360,5	404,5	765,0	769,2	1.534,2
RH3 (110% ETc)	364,3	578,5	942,8	769,2	1.712,0
RH4 (150% ETc)	360,0	776,6	1.136,6	769,2	1.905,8

\*LI-A: lâmina de irrigação antes da aplicação dos regimes hídricos diferenciados (mm), \*\*LI-D: lâmina de irrigação durante a aplicação dos regimes hídricos diferenciados (mm), LT - lâmina de irrigação total (mm) P: precipitação (mm)

### 3.6 Sistema de irrigação e fertirrigação

Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, com dois metros entre linhas gotejadoras (gotejadores a cada 0,50 m, vazão de 2,0 L/h a uma pressão de 250 kPa), enterradas a 0,25 m de profundidade, no centro das fileiras duplas de plantas (Figura 3).



**Figura 3** Detalhes do sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial em cana-planta.

O sistema foi composto por tubos de PVC, subdividido em tubulações laterais e de derivação, os quais permitem a individualização da aplicação de água em parcelas e faixas, por meio de válvulas hidráulicas, montadas em cavaletes. A abertura e fechamento dessas válvulas são controladas por um painel de comando eletrônico e programável, que permite a irrigação em horários alternativos, inclusive, durante a noite, se necessário.

A aplicação de fertilizantes (macro e micronutrientes) foi efetuada totalmente por fertirrigação, com uso de injetor hidráulico de deslocamento positivo (bomba hidráulica TMB), com frequência semanal para os macros e mensal para os micros, com base na seguinte recomendação: 90 kg ha<sup>-1</sup> de N (ureia), 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (MAP), 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio) e uma formulação de micronutrientes composta por 6,5 kg ha<sup>-1</sup> de ácido bórico, 7 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de zinco, 6 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de cobre, 11 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de manganês e 1 kg ha<sup>-1</sup> de molibdato de sódio (ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

O controle de abertura e fechamento das parcelas no campo, para aplicação das lâminas de irrigação e níveis de N e K<sub>2</sub>O, foi por registros hidráulicos instalados em cavaletes nas entradas de cada uma das parcelas. As fertirrigações foram divididas ao longo de nove meses do ciclo da cultura (Tabela 3).

**Tabela 3** Parcelamentos (%) e quantidade de fertilizantes utilizados ao longo do ciclo da cana-de-açúcar. Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI.

Mês após plantio	Parcelamento (%)		Quantidade de fertilizantes (g)	
	N	K <sub>2</sub> O	Uréia	KCl
3	5,0	5,3	888,9	666,7
4	10,0	5,3	1777,8	666,7
5	15,0	5,3	2666,7	666,7
6	20,0	10,8	3555,6	1333,3
7	20,0	15,7	3555,6	2000,0
8	15,0	15,7	2666,7	2000,0
9	10,0	21,0	1777,8	2666,7
10	5,0	15,7	888,9	2000,0
11	0,0	5,2	0,0	666,7

### 3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo

A umidade do solo foi monitorada com base na técnica da capacitância, utilizando uma sonda FDR Diviner®, a qual foi inserida em tubos de acesso de PVC

instalados aleatoriamente na área (Figura 4), sendo quatro tubos para cada regime hídrico. As profundidades de medição foram: de 0,0 a 0,6 m, em intervalos de 0,1 m. As leituras da umidade do solo foram efetuadas antes da irrigação e 24 horas após a irrigação.



**Figura 4** Colocação do tubo de acesso para monitoramento da água no solo (A) e instalação completa com vista da parte externa do tubo (B). Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.

O monitoramento da variação do conteúdo de água no solo foi realizado entre 01/05/2016, aos 199 dias após o plantio (DAP), onde iniciou-se a aplicação dos tratamentos diferenciados, e estendeu-se até os 330 DAP (09/09/2016), totalizando um período de 131 dias de monitoramento.

### 3.8 Produtividade de colmos e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar

Por ocasião da colheita, que ocorreu de 12 a 22 de setembro de 2016, os colmos foram pesados com o auxílio de um dinamômetro PR30-3000, com precisão de 500 g, para se determinar a produtividade de colmos (TCH, Mg ha<sup>-1</sup>). Enquanto que, a eficiência do uso de água (EUA) para produção de colmos (EUA-TCH, em kg m<sup>-3</sup>), foi estimada pela relação entre TCH e volume total de água aplicado em cada regime hídrico avaliado (irrigação mais precipitação pluviométrica).

### 3.9 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool

Após a pesagem dos colmos, foram coletados 10 colmos ao acaso, identificados e levados ao laboratório da usina COMVAP, os quais foram submetidos às análises tecnológicas de acordo com a metodologia determinada pela



Consecana (2006) para avaliação dos parâmetros de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar: teor de sólidos solúveis (°brix, em %), teor de fibra industrial (fibra, em %), teor de sacarose do caldo (Polcaldo, em %), teor de sacarose da cana (Polcana, em %) e pureza (PZA, em %). Com os resultados destes parâmetros, estimou-se o rendimento bruto de açúcar (RBAC, em Mg ha<sup>-1</sup>), e rendimento bruto de álcool (RBA, em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), seguindo as equações de Caldas (1998):

$$\text{RBAC} = (\text{PCC} * \text{RC}) * 0,01 \quad (1)$$

Em que: RBAC = Rendimento bruto de açúcar em Mg ha<sup>-1</sup>;  
PCC = quantidade de açúcar bruto em %, contido nos colmos;  
RC = rendimento de colmos em Mg ha<sup>-1</sup>.

$$\text{RBA} = (((\text{PCC} * \text{F}) + \text{ARL}) * \text{Fg}) * 0,01 * \text{RC} \quad (2)$$

Em que: RBA = Rendimento bruto de álcool em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>;  
Fg – fator de Gay Lussac igual a 0,6475;  
ARL – açúcares redutores livres em %;  
F – fator de transformação estequiométrica de sacarose em uma molécula de glicose mais uma de frutose, igual a 1,052.

### 3.10 Análise estatística

Modelou-se o experimento em um delineamento experimental de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por quatro regimes hídricos (50, 80, 110 e 150% da ETc) e as subparcelas por dez variedades de cana-de-açúcar (RBUFRPE01, RBUFRPE02, RBUFRPE03, RBUFV01, RB036066, RB987935, RB935744, RB943538, RB92579 e RB867515).

Antes de proceder à análise estatística dos dados, realizou-se uma análise de resíduos para todos os caracteres, com a finalidade de avaliar a existência de dados discrepantes, a heterocedasticidade de variância e ajustes dos erros a uma distribuição aproximadamente normal (NOGUEIRA, 2007). Após a análise de variância, fez-se o uso da regressão, com modelos de primeiro e segundo grau para as lâminas dentro de cada variedade (ZIMMERMANN, 2014). Em função do teste t, obteve-se a seleção do melhor modelo com o auxílio das significâncias de cada parâmetro, aceitando nível de significância até o limite de 15% de probabilidade (CONAGIN; JORGE, 1982). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se software SAS (SAS INSTITUTE, 2015).

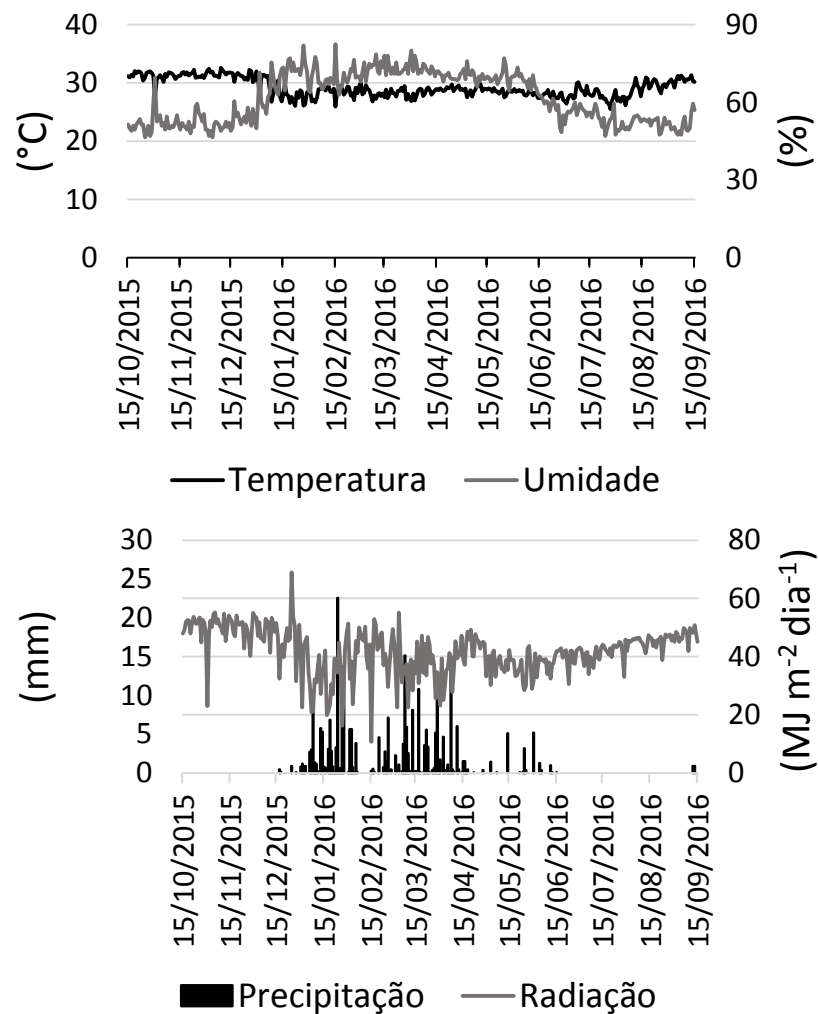
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados climáticos

Os valores médios diários dos elementos meteorológicos, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e precipitação total, ocorridos durante o período experimental, estão ilustrados na Figura 5. Verificou-se baixa variação da temperatura do ar ao longo do ciclo da cultura, com máxima de 32,6°C, no mês de dezembro, e mínima de 25,5°C, no mês de julho. A temperatura permaneceu na faixa considerada ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, que é entre 20°C a 38°C, sendo de 25°C a 35°C a faixa ótima para o crescimento dos colmos (RODRIGUES, 1995).

Quanto a umidade relativa do ar, entre os meses de janeiro à maio de 2016, observou-se elevação da umidade relativa do ar, com máxima (82,5%) e mínima (46,5%), alcançada nos meses de fevereiro e outubro, respectivamente, acompanhando de forma inversa as variações de temperatura do ar. A umidade relativa do ar considerada ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar é de 80% a 85%. A radiação solar atingiu valores máximo (25,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>) e mínimo (4,1 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), nos meses de dezembro de 2015 e fevereiro de 2016, respectivamente. Os valores considerados ideais para radiação solar estão entre 18 a 36 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Verificou-se precipitação total de 769,2 mm, entre outubro de 2015 a setembro de 2016. Os maiores índices de chuva foram registrados nos meses de janeiro a abril de 2016, totalizando um acúmulo de 700 mm, correspondendo a 91% do total precipitado no período avaliado. Durante esses meses foram registrados os maiores percentuais de umidade do ar e os menores valores de radiação solar e de temperatura do ar, característico do período chuvoso, enquanto que os demais meses (maio a setembro) compreendeu o período de menores precipitações da região (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2016). De forma geral, as condições climáticas na região durante o período experimental foram favoráveis para o bom desenvolvimento da cana-de-açúcar.



**Figura 5** Médias diárias dos elementos meteorológicos, temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup>) e precipitação total (mm), no período de outubro de 2015 a setembro de 2016. Dados obtidos da Estação Meteorológica da Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.

#### 4.2 Monitoramento do conteúdo de água no solo

A variação média do conteúdo de água no solo antes e durante a aplicação dos regimes hídricos diferenciados, dentro da faixa disponível para as plantas, que engloba toda a zona entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, na profundidade de 0,0 a 0,4 m é apresentada na Figura 6.

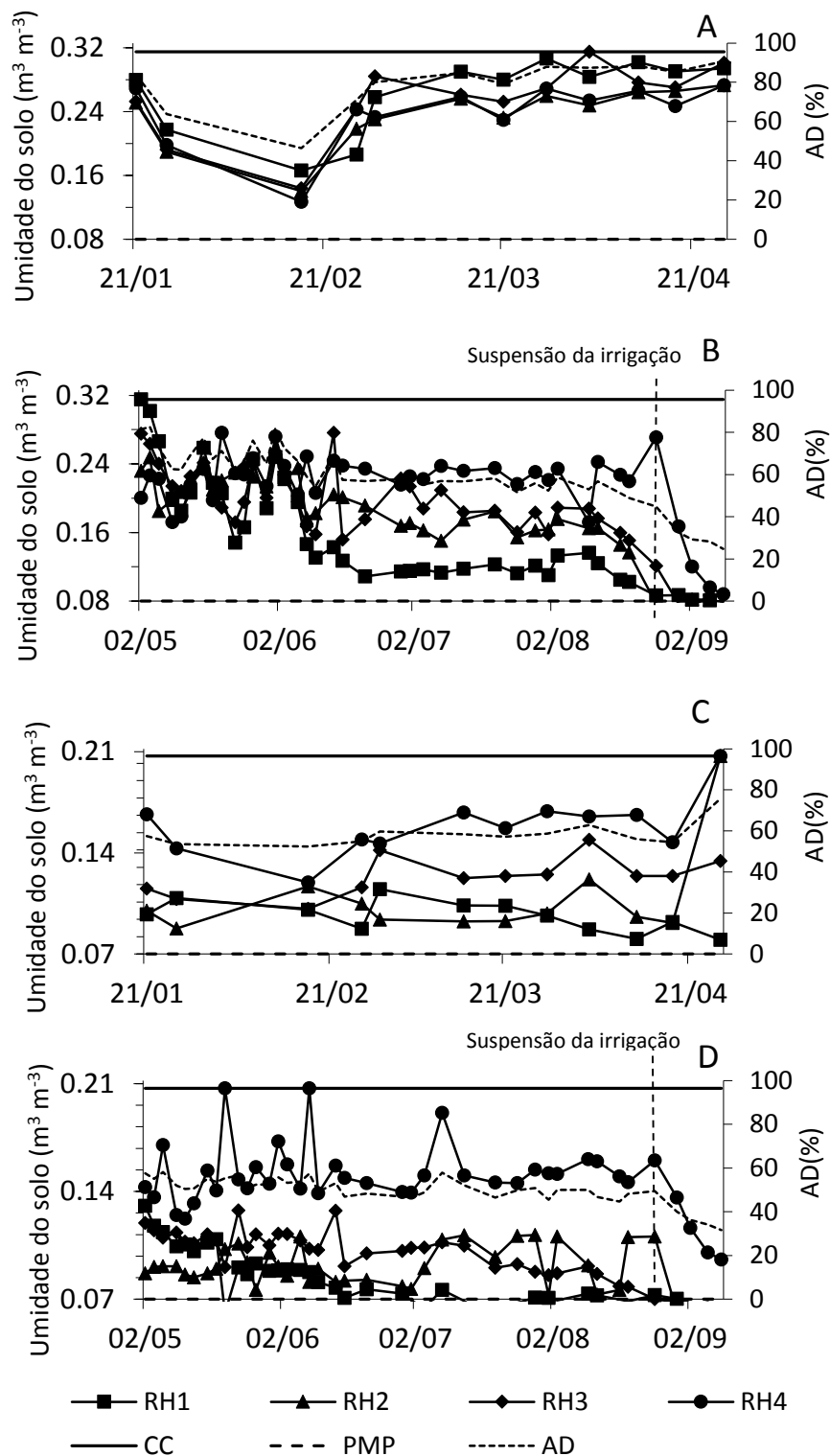
Apesar do monitoramento de água no solo ser realizado até 0,6 m de profundidade, considerou-se a amostragem apenas até 0,4 m, pela justificativa que as raízes da cana-de-açúcar são fasciculadas e relativamente superficiais. A metade do sistema radicular distribui-se nos primeiros 0,3 m de profundidade (COSTA et al., 2007). Para a cultura da cana-de-açúcar irrigada são normalmente utilizados os

seguintes valores de profundidade efetiva das raízes: fase I (brotação), 0,15 m; fase II (perfilhamento de colmos), 0,27 m; fase III (crescimento de colmos) 0,4 m (SANTOS, et al., 2011). Para a fase IV (maturação dos colmos) pode-se utilizar 0,4 m se a irrigação for prolongada até essa fase (FRIZZONE, et al., 2008).

O monitoramento da variação do conteúdo de água no solo foi realizado no período de 199 a 330 dias após o plantio (DAP), totalizando 131 dias de avaliação, compreendendo partes das fases fenológicas III (crescimentos dos colmos) e IV (maturação dos colmos). Considerando a profundidade de 0,0 a 0,2 m no período antes da aplicação dos regimes hídricos diferenciados, a média do conteúdo de água no solo variou de 0,24 a 0,27 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. No início do monitoramento o conteúdo de água no solo era próximo a capacidade de campo, a partir de então foi registrado redução no teor de água no solo até 17/02. Isto provavelmente ocorreu devido a um veranico com período de 10 dias na primeira semana do mês de fevereiro. A partir dessa data, houve um aumento nos teores de água no solo para todos os regimes hídricos, elevando a umidade do solo a valores próximos à capacidade de campo, não havendo uma diferenciação entre os regimes hídricos empregados em todo o período (Figura 6A).

No período durante a aplicação dos regimes hídricos (RH) diferenciados, que ocorreu após o período chuvoso constatou-se que os teores de umidade do solo para todos os regimes estiveram entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com valores médios de 0,16; 0,18; 0,19 e 0,22 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, em termos de disponibilidade de água no solo, a média da umidade do solo foi de 50,5; 57,6; 59,8 e 68,6% da água disponível (AD) do solo para os regimes hídricos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Isso significa que, o solo sempre se manteve acima do valor estabelecido como adequado para a cana-de-açúcar (50% da AD). Observa-se, logo que se iniciou a aplicação da diferenciação das lâminas, se pôde observar a diferenciação, também, dos teores de água no solo (Figura 6B).

Considerando a profundidade de 0,2 a 0,4 m no período antes da aplicação dos regimes hídricos diferenciados, as médias do conteúdo de água no solo no início do monitoramento registraram valores menores do que os verificados na camada superficial, variando de 0,09 a 0,16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. A partir do dia 17/02, houve aumento nos teores de água no solo devido as precipitações, o que propiciou uma aproximação dos teores de água no solo entre os regimes hídricos (Figura 6C).



**Figura 6** Médias da variação do conteúdo de água no solo na profundidade de 0 a 0,20 m antes (A) e durante (B) a aplicação dos regimes hídricos diferenciados e de 0,2 a 0,4 m antes (C) e durante (D) a aplicação dos regimes hídricos diferenciados. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí.

No período durante a aplicação dos regimes hídricos (RH) diferenciados, a média do conteúdo de água no solo reduziu-se, registrando valores de 0,08; 0,09; 0,10 e

0,15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Em termos de disponibilidade de água no solo, a média da umidade do solo foi de 39,0; 42,1; 46,8 e 71,4% da água disponível (AD) do solo, para os regimes hídricos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, apresentando alguns valores abaixo da zona crítica para a cana-de-açúcar. Apesar disso, o conteúdo de umidade do solo propiciou que a cultura não sofresse deficiência hídrica que pudesse afetar seu desenvolvimento. Observa-se, que o maior regime hídrico esteve sempre próximo ou superior a AD, entretanto, os demais regimes hídricos não seguiram a mesma tendência (Figura 6D).

É importante destacar que houve diferença entre os regimes hídricos em relação a disponibilidade de água no solo, nota-se que a maior diferenciação de umidade no solo ocorreu principalmente entre os regimes hídricos 1 e 4, justamente por ser os regimes hídricos extremos. Além, das diferenças de umidades entre a camada superior do solo (0,0 a 0,2 m de profundidade) foram maiores do que as observadas na camada subsuperficial do solo (0,2 a 0,4 m de profundidade). Isso ocorreu devido à menor dinâmica da água nas camadas mais profundas do solo.

Pinheiro et al. (2015), com o objetivo de mapear a distribuição de água no perfil do solo, analisando a disponibilidade da mesma às plantas aplicadas por gotejamento subsuperficial, com a variedade VAT90212, em Juazeiro, BA, utilizando irrigação correspondente à reposição de 100% da ETc (1.566,4 mm) obtiveram média do teor de água no solo na profundidade de 0,0 a 0,2 m de 0,14; 0,17 e 0,16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, em termos de disponibilidade de água no solo, a umidade correspondeu a 41,0; 49,8 e 46,9% da água disponível (AD) do solo nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento de colmos, respectivamente.

Considerando a profundidade de 0,2 a 0,4 m, as médias do teor de água no solo nas fases de brotação, perfilhamento e crescimento de colmos foram de 0,13; 0,19 e 0,17 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, em termos de disponibilidade de água no solo, a umidade foi 46,4; 67,9 e 60,7% da AD do solo, nessa ordem.

Ao determinar o coeficiente de cultura e a demanda hídrica da cana-de-açúcar, por meio do método de balanço de energia, com base na razão de Bowen no município de União-PI, Nôleto (2015) obteve médias de teor de água no solo na profundidade de 0,0 a 0,3 m entre 0,09 a 0,21 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e 0,14 a 0,21 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, que corresponde a disponibilidade de água no solo de 39,1 a 91,3% e 60,9 a 91,3% nas fases fenológicas perfilhamento e crescimento de colmos, respectivamente.

A suspensão da irrigação ocorreu 20 dias antes do início da colheita, onde notadamente percebeu-se a redução da umidade do solo, em virtude do início da fase de maturação da cana-de-açúcar. Essa fase é caracterizada pela intensificação da concentração de sacarose nos colmos, que teve prévio início concomitante com a fase de crescimento o que vai resultar diretamente na qualidade industrial da matéria-prima dos colmos (GASCHO; SHIH, 1983).

Desse modo, aplicações mais frequentes de lâminas de água, como efetuadas no presente estudo, resultam em manter o perfil do solo em nível ótimo (mais úmido), de forma que a variação do conteúdo de água no solo na zona radicular não atingisse um valor próximo ao ponto de murcha permanente. Assim, a disponibilidade adequada de água no solo, ao longo do ciclo de cultivo da cana-de-açúcar promoveu um bom desenvolvimento da cultura, o que resultou em incrementos de produtividade de colmos, EUA, qualidade tecnológica e rendimentos de açúcar e álcool.

#### 4.3 Produtividade de colmos e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar

A análise estatística revelou ter havido efeito significativo ( $p < 0,01$ ) para os fatores regimes hídricos (RHs), variedades de cana-de-açúcar, bem como para a interação entre RH e variedades para toneladas de colmo por hectare (TCH) e eficiência do uso da água (EUA) (Tabela 4), indicando que a variabilidade dos RH impostos foi capaz de promover alteração na performance produtiva das variedades avaliadas (OLIVEIRA et al., 2011).

**Tabela 4** Resumo da análise de variância (quadrados médios), referentes a produção de colmos de cana-de-açúcar e eficiência do uso da água de irrigação. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí

FV	GL	TCH	EUA
Bloco	3	361,73 <sup>ns</sup>	1,72 <sup>ns</sup>
RHs	3	29556,43**	30,73**
Erro(a)	9	869,73	3,42
Variedade	9	2495,29**	10,11**
RH*VAR	27	1787,94**	7,31**
Erro(b)	108	259,63	1,09
CV(a)		7,95	7,90
CV(b)		9,71	9,98
Média Geral		165,94	10,47

ns: não significativo a ( $p > 0,005$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

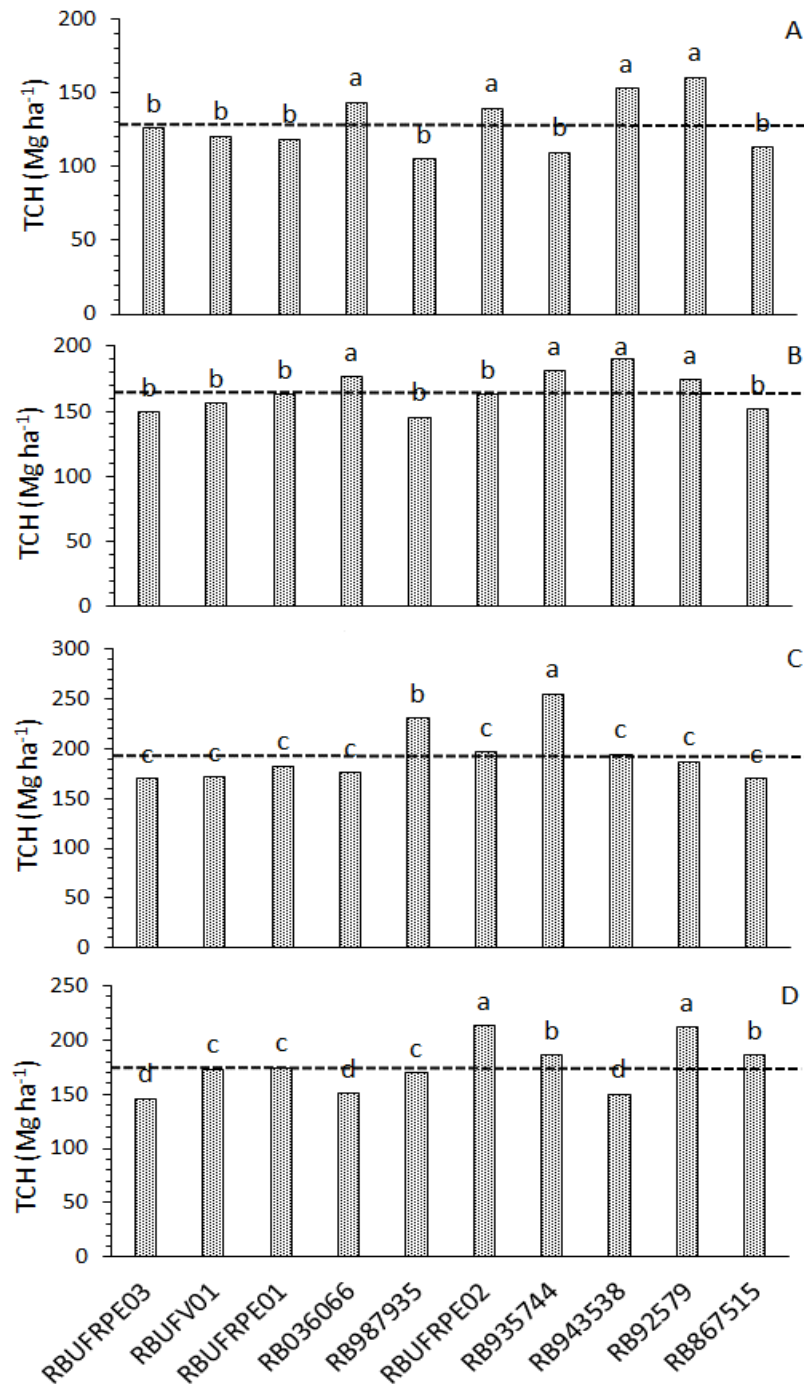
A média geral da produtividade de colmos do ensaio, independente da variedade, foi de 165,9 Mg ha<sup>-1</sup>, acima da faixa considerada como aceitável para cana-de-açúcar sob regime irrigado, isto é, entre 100 a 150 Mg ha<sup>-1</sup> (DOORENBOS; KASSAM, 1994). O menor valor médio de TCH (129,1 Mg ha<sup>-1</sup>) foi alcançado com a aplicação do RH1 (50% ETc) (Figura 7A). O maior valor médio de TCH (193,4 Mg ha<sup>-1</sup>) foi obtido com a aplicação do RH3, que corresponde à reposição de 110% da ETc da cultura (1.712,0 mm) (Figura 7C), representando um acréscimo de 49,8%, ou seja, a aplicação adicional de 337,7 mm de água proporcionou um ganho de 64,3 Mg de colmos por hectare (190,5 kg ha<sup>-1</sup> por mm de água) em relação à irrigação de 50% da ETc (1.374,3 mm).

O desdobramento do efeito da interação entre RH e variedades mostrou que houve diferença significativa ( $p < 0,01$ ) em termos de produtividade de colmos com a aplicação de todos os regimes hídricos. Com a aplicação da menor lâmina total de água 1.374,3 mm (50% da ETc), as variedades RB92579 (160,6 Mg ha<sup>-1</sup>), RB943538 (153,5 Mg ha<sup>-1</sup>), RB036066 (143,6 Mg ha<sup>-1</sup>) e RBUFRPE02 (139,7 Mg ha<sup>-1</sup>), foram as mais produtivas (Figura 7A), e não diferiram estatisticamente entre si ( $p < 0,01$ ), com produtividades acima da média do tratamento.

Quando se utilizou lâmina de água correspondente à reposição de 80% da ETc (1.534,2 mm) (Figura 7B), as variedades que se destacaram foram: RB943538 (190,1 Mg ha<sup>-1</sup>), RB935744 (181,0 Mg ha<sup>-1</sup>), RB036066 (176,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e RB92579 (174,7 Mg ha<sup>-1</sup>), ou seja, a aplicação adicional de 159,9 mm de água, favorece em média um acréscimo de 21% na produtividade dessas variedades em relação a irrigação de 50% da ETc.

Os resultados de TCH obtidos com as reposições de 50 e 80% da ETc, foram superiores aos encontrados por Vieira et al. (2015) no município de Jaíba – MG utilizando irrigação por pivô central com a variedade RB867515, no quarto ciclo de cultivo, com uso de lâminas totais de água similares (1.388,6 e 1.540,6 mm) alcançou máximas produtividades de colmos de 106,9 e 120,1 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Isso se justifica pelo fato de que a produtividade de variedades de cana-de-açúcar ser influenciada diretamente pelo tipo de solo e a quantidade de cortes, o que é natural para a cana-de-açúcar com o avanço dos cultivos, sendo reflexo direto da diminuição do vigor da planta (COSTA et al., 2011). Além das diferenças em eficiência de aplicação de água entre os sistemas de irrigação empregados nas duas situações.





**Figura 7** Produtividade de colmos das variedades de cana-de-açúcar em cada regime hídrico aplicado. A: 50% ETc; B: 80% ETc; C: 110% ETc; D: 150% ETc.

Quando aplicou-se a lâmina de água correspondente à reposição de 110% da ETc (1.712,0 mm), as variedades RB987935, RBUFRPE02 e RB935744, obtiveram produtividade de colmos acima da média, mas que diferiram estatisticamente entre si ( $p < 0,01$ ). A variedade RB935744 ( $255,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi a mais produtiva (Figura 7C), representando um incremento de 132,3%, 41% e 37% quando comparado os valores obtidos com a lâmina de água correspondente à reposição de 50% ( $109,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ),

80% (181,0 Mg ha<sup>-1</sup>) e 150% da ETc (185,5 Mg ha<sup>-1</sup>), respectivamente. A alta produtividade apresentada por essa variedade pode ser explicada por suas características genéticas. No entanto, com a aplicação da maior lâmina total de água (RH4), as variedades mais produtivas foram RBUFRPE02 (213,3 Mg ha<sup>-1</sup>) e RB92579 (211,9 Mg ha<sup>-1</sup>). As variedades RB935744 e RB867515, também obtiveram produtividade de colmos acima da média, não diferiram estatisticamente entre si ( $p < 0,01$ ), mas diferindo das duas variedades supracitadas. Enquanto que as variedades RBUFRPE03, RB036066 e RB943538 foram as menos produtivas com média de 148,9 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 7D).

Dalri et al. (2008), trabalhando com a variedade RB72454 em diferentes frequências de irrigação (alta, irrigação a cada 10 mm da ETc; média, irrigação a cada 20 mm da ETc e baixa, irrigação a cada 30 mm da ETc), obtiveram resultados de TCH superiores ao desta pesquisa, com valores médios de 297,95; 320,60 e 282,84 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo uma das razões dos valores elevados, a maior duração do ciclo de produção (494 dias), uma vez que, a cana de ano e meio apresenta mais tempo de crescimento efetivo que a cana com ciclo de 360 dias.

Pela análise de regressão da produtividade de colmos, constatou-se efeito linear para as variedades RBUFV01, RBUFRPE02, RB92579 e RB867515. Já em relação a eficiência do uso da água obtiveram a mesma resposta RBUFRPE03 e RB92579. Entretanto, as variedades RBUFRPE03, RBUFRPE01, RB036066, RB987935, RB935744 e RB943538 obtiveram respostas quadráticas para produtividade de colmos, enquanto para a eficiência do uso da água somente a variedade RBUFRPE03 não obteve a mesma resposta. Os dados de EUA das variedades RBUFV01, RBUFRPE02 e RB867515 não se ajustaram a nenhum modelo de regressão linear e/ou quadrático propostos (Tabela 5).

**Tabela 5** Equações de regressão para produtividade de colmos (TCH, Mg ha<sup>-1</sup>) e a eficiência do uso da água (EUA; kg m<sup>-3</sup>) de irrigação em função das lâminas totais de água aplicada (L, mm) em variedades de cana-de-açúcar. Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, 2015/2016

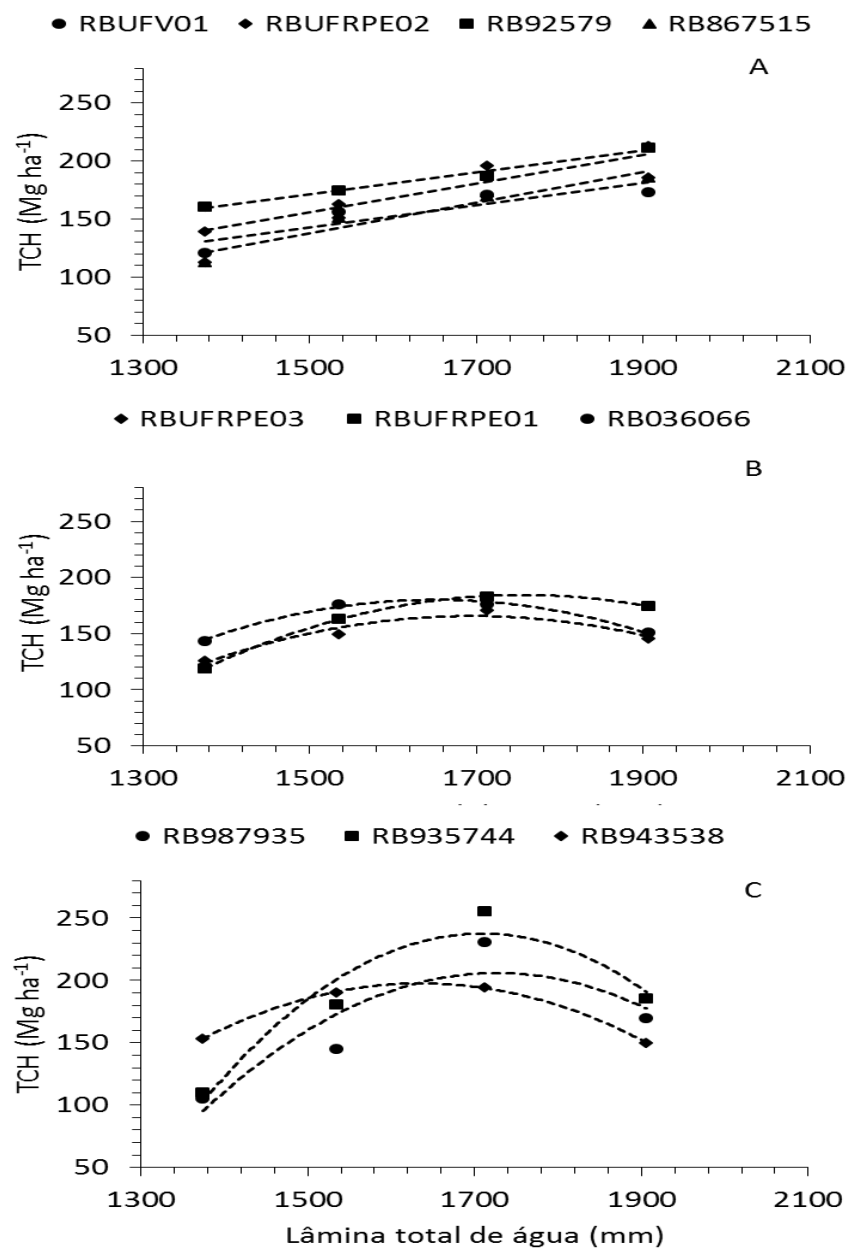
Variedades	Equação de regressão	L	V.est.	R <sup>2</sup>
RBUFRPE03	TCH= -408.46521+0.68633*L-0.00020*L <sup>2</sup>	1660.3	161.3	0.82*
	EUA=14.11631-0.00321**L	1374.3	10.1	0.60**
RBUFV01	TCH= 24.79514+0.08195**L	1905.8	181.0	0.91**
RBUFRPE01	TCH=-489.12001+0.75348**L-0.00021*L <sup>2</sup>	1774.7	179.5	0.98**
	EUA = -19.95695+0.03972*L-0.00001*L <sup>2</sup>	1550.1	10.8	0.96°
RB036066	TCH=-534.13297+0.89653**L-0.00028**L <sup>2</sup>	1590.0	178.6	0.99**
	EUA= -14.95846+0.03906*L-0.00001*L <sup>2</sup>	1374.3	11.9	0.99**
RB987935	TCH=-950.03932+1.31722**L-0.00038**L <sup>2</sup>	1735.6	193.1	0.68**
	EUA=-49.00507+0.07474**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1619.3	11.5	0.45**
RBUFRPE02	TCH=-5.74478+0.11529**L	1905.8	213.9	0.97**
RB935744	TCH=-1433.92523+1.96215**L-0.00058**L <sup>2</sup>	1688.8	222.9	0.81**
	EUA=-80.24769+0.11677**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1606.2	13.5	0.73**
RB943538	TCH=-774.57755+1.23735**L-0.00039**L <sup>2</sup>	1568.7	195.9	0.96**
	EUA=-18.65138+0.04716**L-0.00001**L <sup>2</sup>	1353.0	13.3	0.98**
RB92579	TCH=64.45034+0.07478**L	1905.8	206.9	0.94**
	EUA=16.27823-0.00292*L	1374.3	12.3	0.79*
RB867515	TCH=-20.42842+0.11002**L	1905.8	189.2	0.99**

Níveis de significância dos coeficientes da equação de regressão: \*\* :0,001 ≥ P > 0,01; \* 0,05 ≥ P > 0,01; pelo teste “t”. Níveis de significância para o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>): \*: significativo a (0,01 < p ≤ 0,05); \*\*: significativo a (p ≤ 0,01), pelo teste “F”. V. est.: valor máximo estimado de produção de colmos.

Avaliando-se o TCH das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que as variedades RBUFV01, RBUFRPE02, RB92579 e RB867515 responderam de forma linear à aplicação das lâminas totais de água (Figura 8A), indicando que essas variedades são altamente responsivas à irrigação. Considerando-se as lâminas totais de água avaliadas nesse estudo (Tabela 2), os maiores valores de TCHs para essas variedades foram alcançados com a aplicação da maior lâmina aplicada (1.905,8 mm), a saber: RBUFRPE02 (213,9 Mg ha<sup>-1</sup>), RB92579 (206,9 Mg ha<sup>-1</sup>), RB867515 (189,2 Mg ha<sup>-1</sup>) e RBUFV01 (181,0 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 5). Porém, resposta linear crescente em termos de TCH em resposta à aplicação de água deve ser complementado com uma avaliação econômica, em que se considere os custos diretos e indiretos da água aplicada.

No entanto, as variedades RBUFRPE03, RBUFRPE01, RB036066, RB987935, RB935744 e RB943538 apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 8B e 8C). Nesse caso, recomenda-se a aplicação de água até atingir o ponto de máxima resposta agrônômica, pois com o excesso de água no solo,

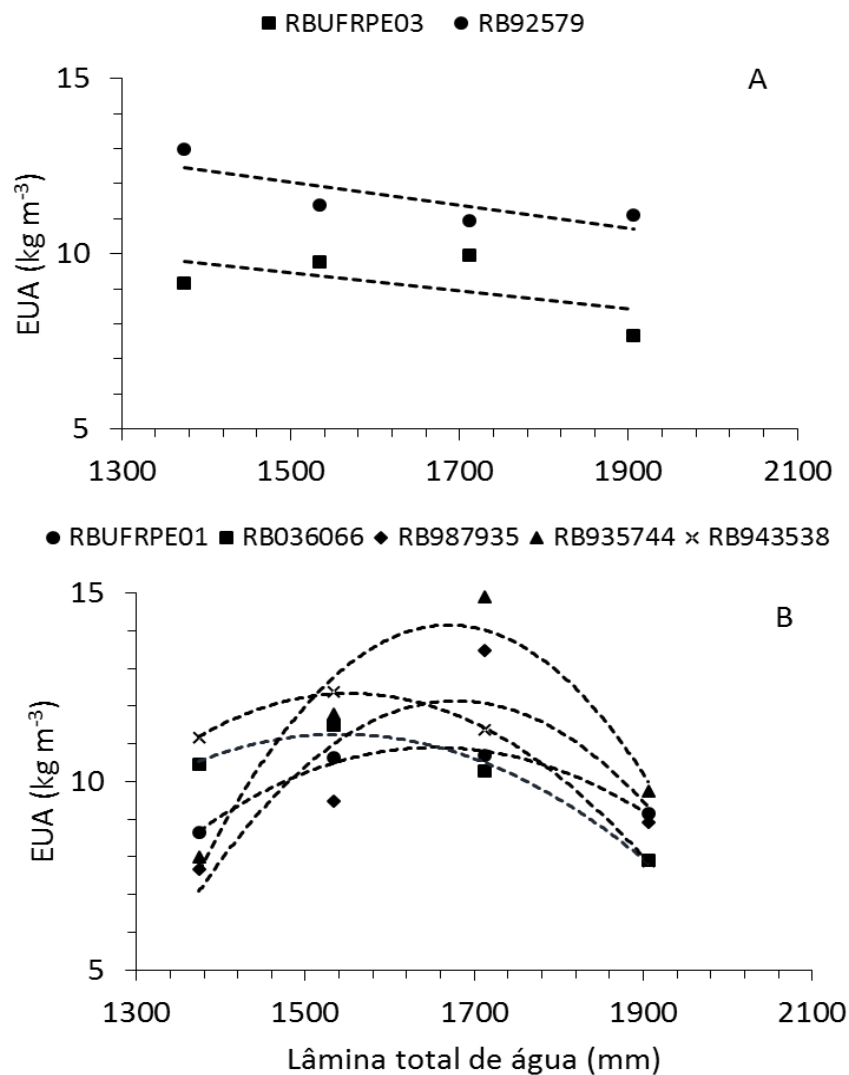
que leva à baixa aeração na zona radicular e a lixiviação de nutrientes, a produtividade decresce em seguida. Por exemplo, para a variedade RB943538, a máxima TCH (195,9 Mg ha<sup>-1</sup>) foi alcançada com a aplicação de 1.568,7 mm de água, ou seja, foram necessários 80,0 m<sup>3</sup> de água para uma tonelada de cana. Para a variedade RB987935, a máxima TCH obtida foi 193,1 Mg ha<sup>-1</sup>, com a aplicação de 1.735,6 mm de água, ou seja, foram necessários 90 m<sup>3</sup> de água para uma tonelada de cana. Vale destacar a variedade RB935744 que alcançou a máxima TCH de 222,9 Mg ha<sup>-1</sup>, com a aplicação de 1.688,8 mm de água, ou seja, foram necessários 75,7 m<sup>3</sup> de água para uma tonelada de cana.



**Figura 8** Curvas de produtividade de colmos das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

Os resultados de TCH obtidos nessa pesquisa foram superiores aos encontrados por Vieira et al. (2014), em que a produtividade máxima de 112,3 Mg ha<sup>-1</sup>, foi atingida com uma aplicação de 1.537 mm; Carvalho et al. (2009), obtiveram a máxima produção de colmos (103,09 Mg ha<sup>-1</sup>) quando se utilizaram maior quantidade de água aplicado (1.168 mm), combinado com uma maior dosagem de nitrogênio (276 kg ha<sup>-1</sup>) e Farias et al. (2008) notaram que, com uma lâmina total de água de 1.221,08 mm o valor máximo de produtividade de colmos foi de 88,10 Mg ha<sup>-1</sup>. Possivelmente, essas diferenças se justificam pelo fato de que a produtividade de variedades de cana-de-açúcar ser influenciada diretamente pela quantidade de cortes, o que é natural para a cana-de-açúcar com o avanço dos cultivos, sendo reflexo direto da diminuição do vigor da planta (COSTA et al., 2011); além das diferenças em eficiência de aplicação de água entre os sistemas de irrigação empregados e níveis diferenciados de adubação.

Avaliando-se a eficiência do uso da água das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que as variedades RBUFRPE03 e RB92579 responderam de forma linear decrescente à aplicação das lâminas totais de água (Figura 9A). Desse modo, essas variedades não responderam a aplicação crescente de lâminas de água e podem ser utilizadas para condições de deficiência hídrica no solo. Considerando-se as lâminas totais de água avaliadas nesse estudo (Tabela 2), a maior EUA para essas variedades (10,1 e 12,3 kg m<sup>-3</sup>) foi alcançada com a aplicação da menor lâmina total aplicada de 1.374,3 mm, respectivamente. Entretanto, as variedades RBUFRPE01, RB036066, RB987935, RB935744 e RB943538 apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 9B). Nesse caso, o aumento das lâminas de água proporcionou uma maior EUA até o ponto de máximo. Nessa sequência, para essas variedades os máximos valores de EUA (10,8; 11,9; 11,5; 13,5 e 13,3 kg m<sup>-3</sup>), foram obtidos com a aplicação das lâminas de água 1.550,1; 1.374; 1.619,3; 1.606,2 e 1.353,0 mm, respectivamente (Tabela 5).



**Figura 9** Curvas de eficiência do uso da água das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

Em trabalho realizado no município de Luiz Antônio, estado de São Paulo, com a variedade de cana-de-açúcar RB92579, Cabral et al. (2012) obtiveram valores de EUA de 10,1 kg m<sup>-3</sup> para o primeiro ciclo de cultivo. Esse valor de EUA é similar ao obtido neste trabalho de pesquisa com a variedade de cana-de-açúcar RBUFRPE03.

Silva et al. (2013) para o ciclo de segunda e de terceira soca, cultivada na zona costeira da Paraíba, obtiveram média de EUA de 8,3 kg m<sup>-3</sup>. Calgaro et al. (2014), avaliando a variedade RB92579 no ciclo de cana planta por gotejamento subsuperficial, em Juazeiro-BA, encontraram EUA de 9,1 kg m<sup>-3</sup>. Meneses e Resende (2016), no município de Coruripe, Alagoas trabalhando com as variedades RB92579 e RB962962 obtiveram EUA variando de 6,26 a 8,52 kg m<sup>-3</sup> e 5,40 a 8,12 kg m<sup>-3</sup>

respectivamente, valores inferiores aos obtidos nesta pesquisa. Possivelmente, essas diferenças se justificam pelo fato de que a produtividade de variedades de cana-de-açúcar ser influenciada diretamente pela quantidade de cortes, o que é natural para a cana-de-açúcar com o avanço dos cultivos, sendo reflexo direto da diminuição do vigor da planta (COSTA et al., 2011); além dos níveis diferenciados de adubação e época de plantio.

Os incrementos na produtividade de colmos e na EUA, podem ser atribuídos às condições hídricas adequadas durante todo o período de crescimento das plantas, o que proporcionou maior disponibilidade de nutrientes para o sistema radicular da cana-de-açúcar (SINGH et al., 2007).

#### 4.4 Qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool

Pela análise de variância as características de qualidade do caldo e rendimento industrial: teor de sólidos solúveis (brix), rendimento bruto de açúcar (RBAC) e rendimento bruto de álcool (RBA) foram influenciados ( $p < 0,01$ ) pelos regimes hídricos (RHs). O brix, o teor de fibra industrial (fibra), o RBAC e o RBA foram significativamente influenciados ( $p < 0,01$ ) pelas variedades. Já a interação RH e variedades influenciou ( $p < 0,01$ ) todas as características, exceto a pureza (PZA) (Tabela 6), indicando que a variabilidade dos RH impostos foi capaz de promover alteração nas características de qualidade das variedades de cana-de-açúcar avaliadas.

**Tabela 6** Resumo da análise de variância (quadrados médios), referentes ao teor de sólidos solúveis (BRIX), teor de fibras (FIBRA), teor de sacarose do caldo (POLCALDO), pureza do caldo (PZA), teor de sacarose da cana (POLCANA), rendimento bruto de açúcar (RBAC) e rendimento bruto de álcool (RBA) de colmos de cana-de-açúcar. Embrapa Meio-Norte, Teresina, Piauí

FV	GL	BRIX	FIBRA	POLCALDO	PZA	POLCANA	RBAC	RBA
Bloco	3	0,57 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>	50,08 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	32,73 <sup>ns</sup>	16,14 <sup>ns</sup>
RHs	3	32,39 <sup>**</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	430,27 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	512,82 <sup>**</sup>	261,71 <sup>**</sup>
Erro(a)	9	0,28	0,04	0,81	32,24	0,53	11,6	5,87
Variedade	9	2,19 <sup>**</sup>	0,21 <sup>**</sup>	0,51 <sup>ns</sup>	14,24 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	57,96 <sup>**</sup>	29,43 <sup>**</sup>
RH*VAR	27	1,56 <sup>**</sup>	0,11 <sup>**</sup>	1,24 <sup>**</sup>	17,57 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>**</sup>	25,31 <sup>**</sup>	12,77 <sup>**</sup>
Erro(b)	108	0,79	0,03	0,48	23,07	0,34	3,94	1,95
CV(a)		1,09	0,66	2,35	3,22	2,29	6,57	6,56
CV(b)		4,1	1,36	4,04	6,09	4,13	8,57	8,47
Média Geral		21,78	12,95	17,15	78,83	14,29	23,18	16,53

ns: não significativo a ( $p > 0,005$ ); \*: significativo a ( $0,01 < p \leq 0,05$ ); \*\*: significativo a ( $p \leq 0,01$ ), pelo teste "F".

Pela análise de regressão constatou-se efeito linear para as variedades RB036066 (brix, RBAC e RBA) e RB867515 (brix), enquanto as demais variedades obtiveram respostas quadráticas para os parâmetros de qualidade do caldo e rendimento bruto de açúcar e álcool. Não houve equações de ajustes para todos os parâmetros avaliados. A variedade RB92579 não se ajustou a nenhum modelo de regressão linear e/ou quadrático propostos, quando avaliou-se qualidade do caldo e rendimento bruto de açúcar e álcool (Tabela 7).

**Tabela 7** Equações de regressão para qualidade industrial, rendimento bruto de açúcar e álcool em variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicada (L, mm). Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, 2015/2016

Variedades	Equação de regressão	L	V.est.	R <sup>2</sup>
RBUFRPE03	RBAC= -58.44550+0.09802**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1666.3	23.2	0.75**
	RBA= -41.45727+0.06959**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1667.1	16.6	0.75**
RBUFV01	FIBRA= 22.68645-0.01281**L+0.00000**L <sup>2</sup>	1591.5	12.5	0.98**
	RBAC= -61.72829+0.10134**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1688.9	23.9	0.86**
	RBA= -44.13985+0.07238**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1689.5	17.0	0.87**
RBUFRPE01	RBAC= -99.12347+0.14848**L-0.00004**L <sup>2</sup>	1687.3	26.2	0.89**
	RBA= -70.58294+0.10572**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1687.6	18.6	0.90**
RB036066	BRIX= 17.68860+0.00222*L	1905.8	21.9	0.66*
	RBAC= 11.40566+0.00781**L	1905.8	26.3	0.74*
	RBA= 8.17782+0.00554**L	1905.8	18.7	0.45*
RB987935	BRIX= 69.25841-0.06113**L+0.00001**L <sup>2</sup>	1605.7	20.2	0.56**
	FIBRA= 20.76251-0.01034**L+0.00000**L <sup>2</sup>	1567.7	12.7	0.99**
	POLCALDO= 59.18173-0.05353**L+0.00001**L <sup>2</sup>	1617.0	15.9	0.96**
	POLCANA= 44.29907-0.03806**L+0.00001**L <sup>2</sup>	1620.0	13.5	0.85**
	RBAC= -119.78394+0.17203**L-0.00005**L <sup>2</sup>	1683.7	25.0	0.53**
RBUFRPE02	RBA= -86.67372+0.12430**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1682.6	17.9	0.53**
	RBAC= -54.14988+0.09424**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1682.0	25.1	0.72**
RB935744	RBA= -38.91110+0.06759**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1681.6	17.9	0.72**
	BRIX= 48.10410-0.03372*L+0.00001*L <sup>2</sup>	1579.5	21.5	0.47*
	FIBRA= 3.57364+0.01230**L-0.00000**L <sup>2</sup>	1588.9	13.3	0.66**
	POLCALDO= 35.96363-0.02492*L+0.00000*L <sup>2</sup>	1534.1	16.9	0.71 <sup>Δ</sup>
	POLCANA= 32.33505-0.02388*L+0.00000*L <sup>2</sup>	1540.9	13.9	0.83*
	RBAC= -187.21959+0.25652**L-0.00007**L <sup>2</sup>	1711.2	32.3	0.82**
RB943538	RBA= -134.31227+0.18401**L-0.00005**L <sup>2</sup>	1709.8	23.0	0.82**
	POLCALDO= -0.30701+0.02246*L-0.00000*L <sup>2</sup>	1582.9	17.5	0.95 <sup>Δ</sup>
	RBAC= -66.99662+0.11280**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1682.7	27.9	0.94**
RB867515	RBA= -47.21160+0.07970**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1684.1	19.9	0.95**
	BRIX= 25.29708-0.00204*L	1374.3	22.5	0.15*
	RBAC= -87.01846+0.13126**L-0.00003**L <sup>2</sup>	1684.9	23.6	0.99**
	RBA= -61.66306+0.09309**L-0.00002**L <sup>2</sup>	1685.5	16.8	0.99**

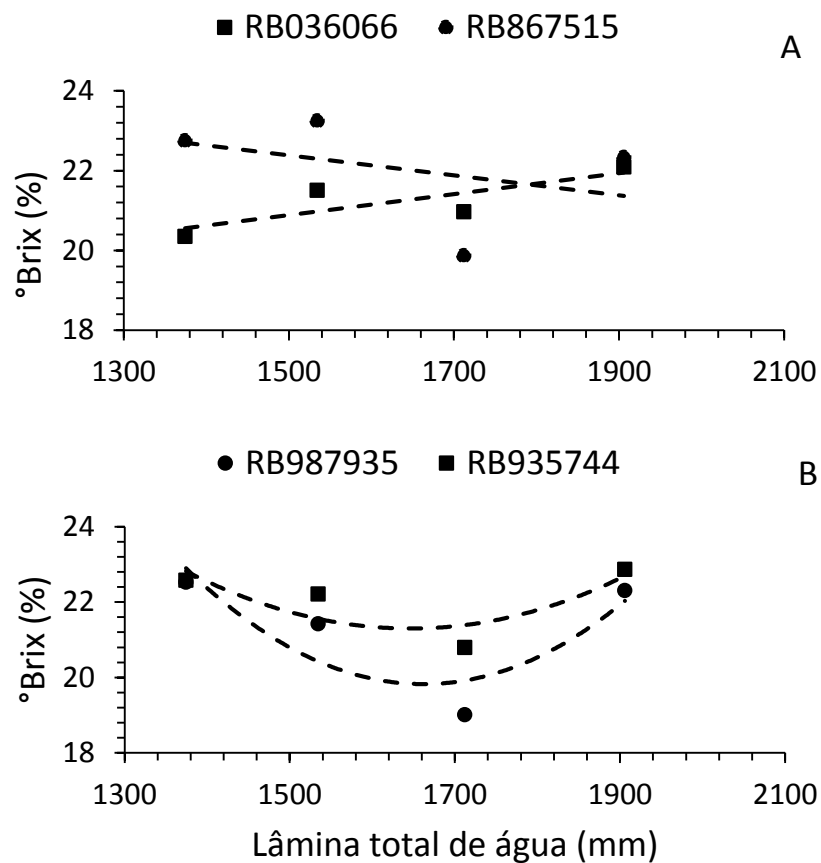
Níveis de significância dos coeficientes da equação de regressão: \*\* :0,001 ≥ P > 0,01; \* 0,05 ≥ P > 0,01; pelo teste “t”. Níveis de significância para o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>): \* : significativo a (0,01 < p ≤ 0,05); \*\* : significativo a (p ≤ 0,01); <sup>Δ</sup> : significativo a (0,15 < p ≤ 0,10), pelo teste “F”. V. est.: valor máximo e mínimo estimado.



#### 4.4.1 Teor de sólidos solúveis (brix)

Os valores de brix foram influenciados linearmente pelos regimes hídricos para as variedades RB036066 e RB867515. Todavia, os valores percentuais de brix da variedade RB036066 decresceu com o aumento das lâminas de água aplicadas, enquanto que para a variedade RB867515 os teores de açúcar tenderam a aumentar com a elevação da água aplicada (Figura 10A). Considerando-se as lâminas totais de água avaliadas nesse estudo (Tabela 2), os maiores valores de brix para essas variedades (21,9 e 22,5%) foram alcançados com a aplicação de 1.905,8 mm e 1.374,3 mm, respectivamente.

Para as variedades RB987935 e RB935744 constatou-se efeito quadrático, cujos valores percentuais de brix tenderam a reduzir com pontos de mínimos 20,2 e 21,5% com aplicação das lâminas totais de água 1.605,7 e 1.579,5 mm, respectivamente (Figura 10B). Verificou-se também que essas variedades apresentaram uma tendência a diminuir o brix quando as lâminas de água foram maiores. Em condições de maior disponibilidade hídrica, o colmo da cana-de-açúcar tende a possuir o percentual de brix inferior, uma vez que a disponibilidade de água irá influenciar na concentração de sacarose acumulada no colmo, conseqüentemente haverá uma diminuição na percentagem de brix.



**Figura 10** Curvas de teor de sólidos solúveis das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

O teor de sólidos solúveis é um dos atributos qualitativos mais importantes para a indústria canieira, visto ser um dos componentes que definem o rendimento em açúcar (COSTA et al., 2011), sendo considerado satisfatório a partir de 18% o que resulta em bom aproveitamento do caldo para a indústria sucroalcooleira (SEGATO et al., 2006b).

Trabalhando com diferentes variedades de cana-de-açúcar (RB845210, RB855113, RB855453, RB867515, RB835486, RB565230, RB855536, RB928064, SP801842, SP853877, SP813250, SP801816, SP87365, SP86155, IAC862480) no cultivo de cana planta, estado de Tocantins, Capone et al. (2011) encontraram média no teor de sólidos solúveis de 23%. Oliveira et al. (2014), avaliando as características industriais de duas variedades de cana-de-açúcar (RB855453 e SP801816) em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação em Janaúba-MG, obtiveram média geral de 24,3% de brix, valores ligeiramente superiores ao desse

estudo. Isso se justifica pela distinção de aplicação de água entre os sistemas de irrigação empregados e níveis diferenciados de adubação.

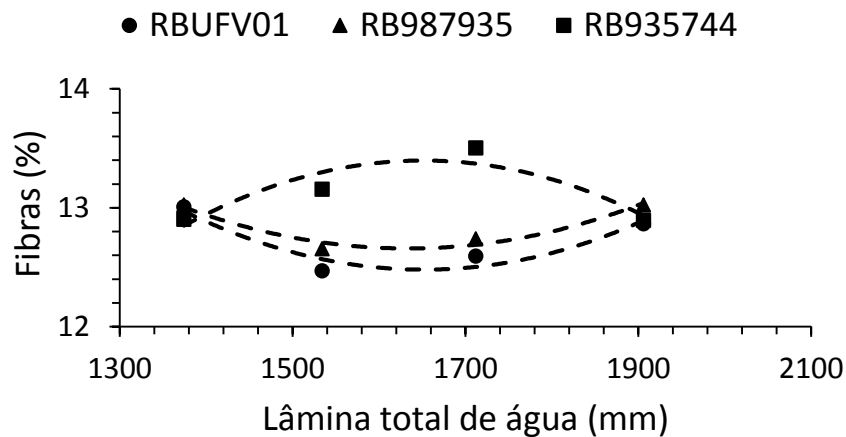
Avaliando características morfológicas e produtivas e suas correlações em diferentes variedades de cana-de-açúcar, Maia Júnior et al. (2018), encontraram teor máximo próximo de 21% de brix com a variedade RB855536. Costa et al. (2011) avaliando a mesma variedade, observaram teores de 19,5%. Estudando os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, Correia et al. (2014) encontraram valores médios de 21% de brix, valores bem similares ao presente estudo.

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, os valores de brix encontram-se superiores ao considerado satisfatório. Possivelmente, pode-se atribuir tais valores ao período ideal para a colheita, em que a cana-de-açúcar já tinha atingido sua maturação fisiológica, aliada também ao bom manejo da irrigação empregado.

#### **4.4.2 Teor de fibras**

Avaliando-se a percentagem de fibras das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que as variedades RBUFV01, RB987935 e RB935744, apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 11). Para as variedades RBUFV01 e RB987935 os valores percentuais de fibras tenderam a reduzir com pontos de mínimos 12,5 e 12,7% com aplicação das lâminas totais de água 1.591,5 e 1.567,7 mm, respectivamente. Já a variedade RB935744, o máximo de percentagem de fibras foi 13,3%. Godinho (2007) e Marques et al. (2008) trabalhando com diferentes variedades de cana-de-açúcar na região de Presidente Prudente-SP encontraram valores de percentual de fibras em torno de 12,5%, valores similares aos do presente trabalho.

Verificou-se que o percentual de fibras nas variedades RBUFV01 e RB987935 apresentaram uma tendência a diminuir com o aumento das lâminas de irrigação. Já a variedade RB935744 respondeu de maneira diferente, com o aumento da lâmina de água, ocorre também o aumento do percentual de fibras, até um ponto máximo e acima dessa lâmina o percentual de fibras diminui. Vale destacar que essa variedade obteve um menor teor de sólidos solúveis e o maior teor de fibras em relação ao aumento das lâminas totais de água.



**Figura 11** Curvas de porcentagem de fibras das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

Analisando três variedades de cana-de-açúcar (RB72454, SP791011 e SP801842) e dois regimes hídricos (irrigado e sequeiro), Dias et al. (2012), encontraram resultados de percentual de fibras em média de 14,3% para a variedade SP801842. Estudando os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar (SP791011) em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, Correia et al. (2014) encontraram valores médios de 16,6% em fibras, valores de fibras superiores ao encontrado neste trabalho. Essa diferença no teor de fibras, pode ser explicada por Farias et al. (2009), que descreve que uma variedade em condição de restrição hídrica, tende a possuir o percentual de fibras superior, uma vez que o baixo potencial hídrico prejudica o acúmulo de sacarose nas células parenquimatosas dos colmos, sendo esse espaço ocupado por fibras.

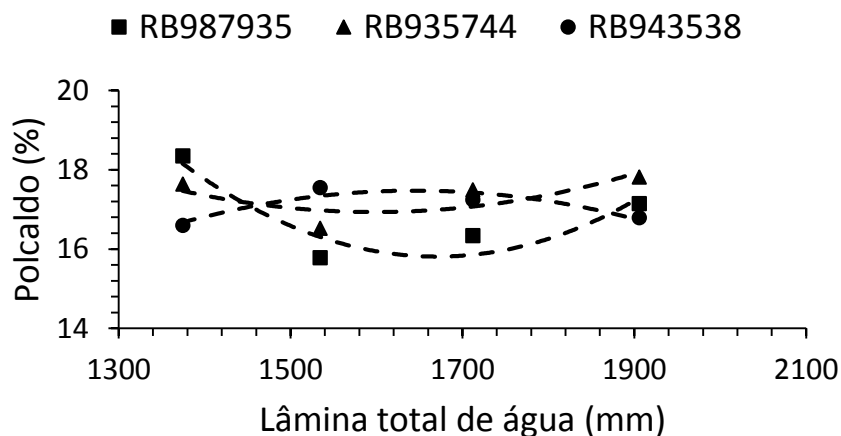
Vale ressaltar que variedades com maior porcentagem de fibras têm maior resistência ao tombamento e em geral apresentam maior resistência à penetração de pragas. Do ponto de vista industrial um ponto positivo em uma maior quantidade no teor de fibras é aumento do volume de bagaço, que por sua vez, gera um grande potencial energético, tanto para a geração de energia quanto para a produção de etanol (LAVANHOLI, 2010).

#### 4.4.3 Teor de sacarose do caldo (Polcaldo)

Analisando-se o teor de sacarose do caldo (Polcaldo) das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que as variedades RB987935, RB935744 e

RB943538, apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 12). Nota-se que os valores percentuais do Polcaldo das variedades RB987935 e RB935744 apresentaram uma tendência a diminuir com o aumento das lâminas totais de água, alcançando pontos de mínimos 15,9 e 16,9% com aplicação das lâminas totais de água 1.617 e 1.534,1 mm, respectivamente. Vale destacar que para essas variedades os teores de sólidos solúveis (brix) tiveram tendência semelhante, ou seja, existe uma correlação positiva entre esses dois atributos qualitativos, visto que, o Polcaldo representa a porcentagem de sacarose contida no caldo de cana (FERNANDES, 2000).

Já a variedade RB943538 respondeu de maneira diferente, com o aumento da lâmina de água, ocorre o aumento do Polcaldo, até um ponto máximo de 17,5%, com a lâmina de irrigação 1.582,9 mm e acima dessa lâmina o percentual diminuiu.

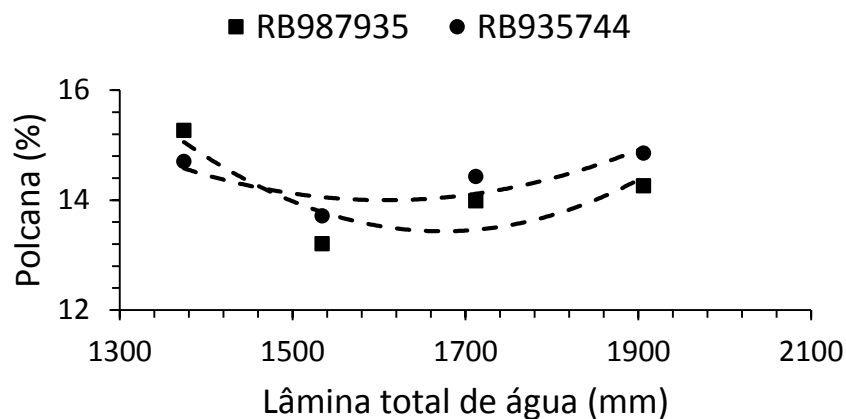


**Figura 12** Curvas de Polcaldo das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

Carvalho et al. (2008) e Oliveira et al. (2012), estudando variedades de cana-de-açúcar (SP791011, RB855453 e SP801816) em diferentes níveis de adubação e irrigação em Capim-PB e Janaúba-MG, obtiveram valores médios de 18, 4 e 20,9%, respectivamente. Oliveira et al. (2014), avaliando as características industriais de cana-de-açúcar (RB855453 e SP801816) em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação em Janaúba-MG, obtiveram média geral de 21% Polcaldo, valores superiores aos encontrados no presente trabalho, porém com níveis diferenciados de adubação.

#### 4.4.4 Teor de sacarose da cana (Polcana)

Avaliando-se o Polcana das variedades em todos os regimes hídricos, as variedades RB987935 e RB935744 apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 13). Observa-se que os valores percentuais de Polcana apresentaram uma tendência a diminuir com o aumento das lâminas totais de água, atingindo pontos de mínimos 13,5 e 13,9% com aplicação das lâminas totais de água 1.620 e 1.540,9 mm, respectivamente. Considerando a variedade RB987935, tendência semelhante foi verificada para os teores de sólidos solúveis, o teor de fibras e a percentagem de Polcaldo. Já, a variedade RB935744 obteve a mesma tendência, exceto para o teor de fibras. Isso pode ser explicado devido a maior percentagem de fibras dessa variedade, uma vez que, Polcana representa a percentagem de sacarose contida na cana (caldo+fibras) (FERNANDES, 2000).



**Figura 13** Curvas de Polcana das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

A Consecana (2006) aponta que uma cana-padrão, em condições tecnológicas e econômicas de processamento industrial, deve apresentar o Polcana mínimo de 12%. Portanto, na colheita do experimento ambas as variedades apresentaram valores de Polcana superiores ao valor de referência.

Oliveira (2011), estudando variedades de cana-de-açúcar (SP791011, RB813804, RB863129, RB872552, RB943365, RB72454, RB763710, SP78-4764, SP813250, RB867515 e RB92579) em diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos, no município de Carpina-PE, obteve valores médios de 17,6%. Estudando os parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura, Correia et al. (2014), em Capim-PB e Oliveira et

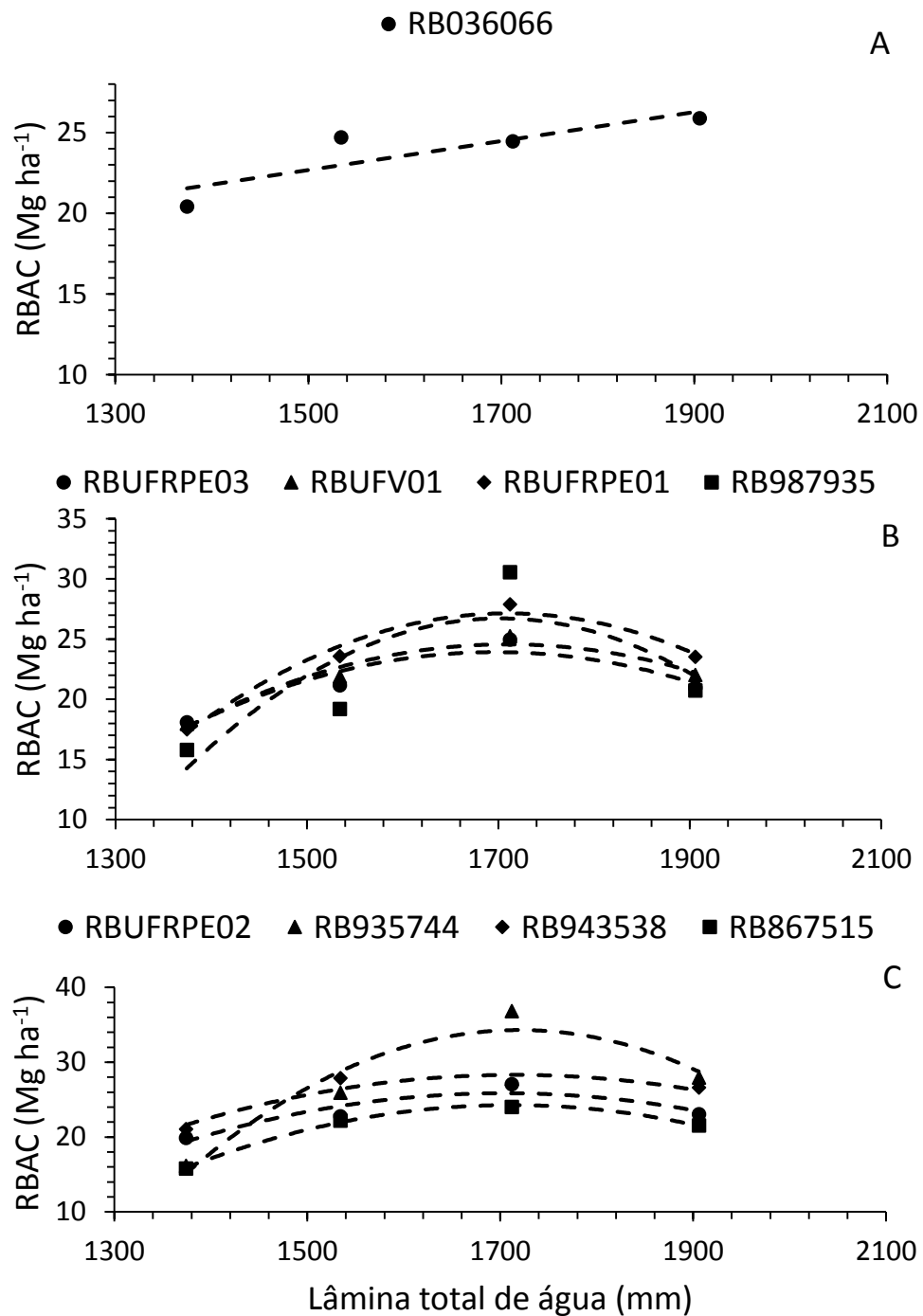
al. (2014), em Janaúba-MG, encontraram valores médios de Polcana de 18,6% para a variedade SP791011 e 17,6% para as variedades RB855453 e SP801816, respectivamente, valores superiores aos encontrados no presente trabalho, porém com níveis diferenciados de adubação. Enquanto Batista (2013), avaliando morfofisiologicamente duas variedades de cana-de-açúcar (RB867515 e RB855536) em Planaltina-DF, encontrou Polcana de 11,9 e 12,1%, respectivamente.

#### **4.4.5 Rendimento bruto de açúcar (RBAC)**

Analisando-se o rendimento bruto de açúcar (RBAC) das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que a variedade RB036066 respondeu de forma linear à aplicação das lâminas totais de água (Figura 14A). A mesma tendência foi observada para o teor de sólidos solúveis, apontando que a qualidade do caldo se sobressaiu em relação a produtividade de colmos para compor os resultados de rendimento bruto de açúcar. Considerando-se as lâminas totais de água avaliadas nesse estudo (Tabela 2), com o uso da maior lâmina de água (1.905,8 mm) o máximo RBAC alcançado foi 26,3 Mg ha<sup>-1</sup>.

As variedades RBUFRPE03, RBUFV01, RBUFRPE01, RB987935, RBUFRPE02, RB935744, RB943538 e RB867515 apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 14B e 14C). Nesse caso, o aumento das lâminas de água proporcionou um maior RBAC até um ponto máximo e em seguida houve uma redução. Para as variedades RBUFRPE03 e RBUFRPE01, o máximo RBAC foi de 23,2 e 26,2 Mg ha<sup>-1</sup> com aplicação de 1.666,3 e 1.687,3 mm de água respectivamente, apontando que essas variedades obtiveram a mesma tendência para a produtividade de colmos, o que evidencia que esse parâmetro sobressaiu-se em relação a qualidade do caldo para composição dos dados de rendimento bruto de açúcar.

Para as variedades RB987935, RB935744 e RB943538 utilizando as lâminas de água 1.683,7; 1.711,2 e 1.682,7 mm, o máximo RBAC obtidos foram de 25; 32,3 e 27,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Expressando que essas variedades obtiveram uma correlação positiva em referência a produtividade de colmos e qualidade do caldo, o que indica que o rendimento bruto de açúcar apontou influência desses parâmetros.



**Figura 14** Curvas de rendimento bruto de açúcar das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

O melhor desempenho foi verificado pela variedade RB935744 (32,3 Mg ha<sup>-1</sup>), por ter uma relação direta com o alto potencial observado no TCH, demonstrando ser uma variedade que responde ao aumento da lâmina de água a um valor bem próximo de 110% da ETc (1.711,2 mm).



Maschio (2011), sob condições de irrigação plena, com 24 variedades no município de Piracicaba-SP, observou a variação no rendimento bruto de açúcar na ordem de 19,5 a 27,5 Mg ha<sup>-1</sup> e Andrade Júnior et al. (2012) avaliando níveis ótimos de irrigação, nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar, variedade RB867515, aplicados por gotejamento subsuperficial, em ciclo de primeira soca no município de União-PI, atingiram como máximo de RBAC de 23,3 Mg ha<sup>-1</sup>, corroborando com os valores encontrados no presente trabalho.

Cunha et al. (2016), com o objetivo de avaliar o rendimento de açúcar da cana-de-açúcar submetida aos diferentes regimes hídricos via gotejamento subsuperficial em Rio Verde-GO, encontraram RBAC de 34,8 Mg ha<sup>-1</sup> para cana planta. Nascimento (2017), em estudo com a variedade RB92579 cana planta nas condições do Meio-Norte Piauiense, observaram máximo de RBAC na ordem de 28,8 Mg ha<sup>-1</sup>, utilizando gotejamento subsuperficial combinado com níveis de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Essas diferenças de rendimento podem ser explicadas em virtude da combinação de doses de adubação.

#### **4.4.6 Rendimento bruto de álcool (RBA)**

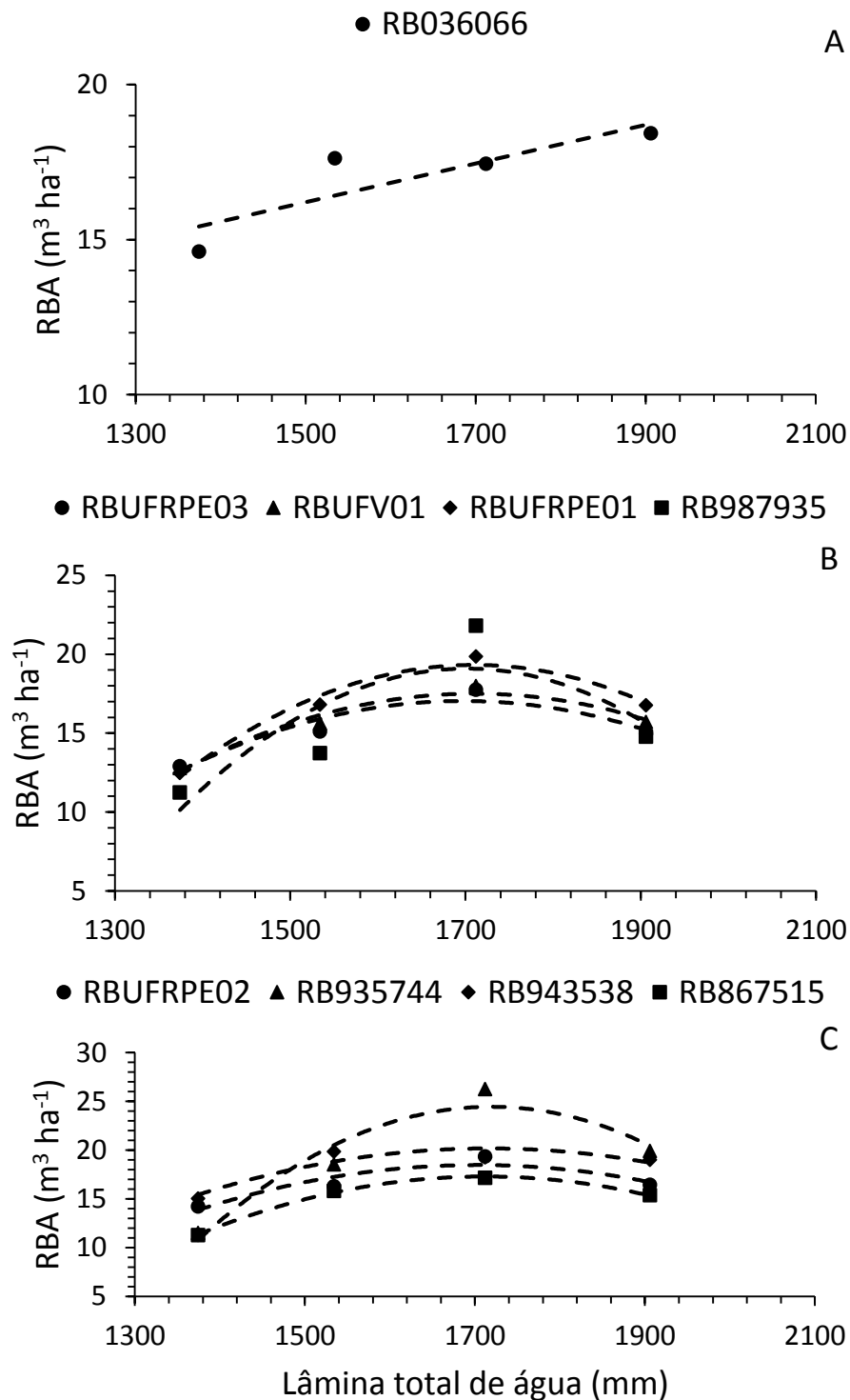
Como o aumento no rendimento de álcool é dependente do aumento do rendimento de açúcar, e, portanto, corresponderem a mesma proporção, ou seja, há uma correlação positiva entre esses dois parâmetros, espera-se que as variedades tenham o mesmo desempenho quando submetidas ao rendimento de álcool.

Verificando-se o rendimento bruto de álcool (RBA) das variedades em todos os regimes hídricos, observa-se que a variedade RB036066 respondeu de forma linear à aplicação das lâminas totais de água (Figura 15A). A mesma tendência foi observada para o teor de sólidos solúveis, indicando que a qualidade do caldo se sobressaiu em relação a produtividade de colmos para gerar os resultados de rendimento bruto de álcool. Considerando-se as lâminas totais de água avaliadas nesse estudo (Tabela 2), com o uso da maior lâmina de água (1.905,8 mm) o máximo RBA obtido foi 18,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

As variedades RBUFRPE03, RBUFV01, RBUFRPE01, RB987935, RBUFRPE02, RB935744, RB943538 e RB867515 apresentaram resposta quadrática à aplicação das lâminas totais de água (Figura 15B e 15C). Nesse caso, o aumento das lâminas de água proporcionou um maior RBA até um ponto máximo e em seguida

houve uma redução. Para as variedades RBUFRPE03 e RBUFRPE01, o máximo RBA foi de 16,6 e 18,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> com aplicação de 1.667,1 e 1.687,6 mm de água respectivamente, apontando que essas variedades obtiveram a mesma resposta em referência a produtividade de colmos, o que evidencia que esse parâmetro sobressaiu-se em relação a qualidade do caldo para compor os dados de rendimento bruto de álcool.

Para as variedades RB987935, RB935744 e RB943538 utilizando as lâminas de irrigação 1.682,6; 1.709,8 e 1.684,1 mm de água, máximo RBA obtidos foram de 17,9; 23,0 e 19,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Expressando que essas variedades obtiveram uma correlação positiva em referência a produtividade de colmos e qualidade do caldo, o que indica que o rendimento bruto de álcool apontou influência desses parâmetros.



**Figura 15** Curvas de rendimento bruto de álcool das variedades de cana-de-açúcar em função das lâminas totais de água aplicadas em cada regime hídrico.

O melhor desempenho foi verificado pela variedade RB935744 ( $23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), em virtude do alto potencial encontrado no TCH, demonstrando ser uma variedade que responde ao aumento da lâmina de água a um valor bem próximo de 110% da ETc (1.709,8 mm).

Andrade Júnior et al. (2012), avaliando níveis ótimos de irrigação, nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar, variedade RB867515, aplicados por gotejamento subsuperficial, em ciclo de primeira soca no município de União-PI, atingiram como máxima de RBA  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , corroborando com os valores encontrados no presente trabalho.

Cunha et al. (2016), estudando lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em cana-de-açúcar de primeiro ciclo em Rio Verde-GO, verificaram RBA máximo de  $24,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Nascimento (2017), em estudo com a variedade RB92579 cana planta nas condições do Meio-Norte Piauiense, observaram máximo de RBA na ordem de  $19 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , utilizando gotejamento subsuperficial combinado com níveis de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Possivelmente, pode-se atribuir esses diferentes valores de rendimento da cana-de-açúcar a combinações de doses de adubação.

## 5 CONCLUSÕES

A variação do regime hídrico promoveu alteração na performance produtiva, eficiência do uso da água, qualidade industrial e rendimento bruto de açúcar e álcool das variedades de cana-de-açúcar;

A máxima produtividade de colmos ( $222,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi obtida com a variedade RB935744 e a lâmina total aplicada de  $1.688,8 \text{ mm}$ ;

A máxima EUA ( $13,5 \text{ kg m}^{-3}$ ) foi obtida com a variedade RB935744, aplicando-se lâmina total de  $1.606,2 \text{ mm}$ ;

Os maiores teores de brix (22,5%), fibras (13,3%), polcaldo (17,5%) e polcana (13,9%) foram obtidos com as variedades RB867515, RB935744, RB943538 e RB935744, respectivamente;

Os rendimentos brutos de açúcar ( $32,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e álcool ( $23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foram alcançados com a variedade RB935744 e reposição hídrica próxima a 110% da ETc.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variedades de cana-de-açúcar RB036066, RBUFRPE02, RB943538 e RB92579, quando submetidas a irrigação equivalente a 50% da ETc, alcançaram produtividades médias entre 139,7 a 160,6 Mg ha<sup>-1</sup>;

As variedades de cana-de-açúcar RB036066, RB935744, RB943538 e RB92579, quando submetidas a irrigação equivalente a 80% da ETc, obtiveram produtividades médias entre 174,7 a 190,1 Mg ha<sup>-1</sup>;

As variedades de cana-de-açúcar RBUFRPE02 e RB92579, quando submetidas a irrigação equivalente a 150% da ETc, atingiram produtividades médias de 213,3 e 211,9 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente;

Para um produtor de cana-de-açúcar voltado para produção de açúcar e álcool, recomenda-se o uso do regime hídrico equivalente a 110% da ETc, combinado com as variedades de cana-de-açúcar RB935744, RB943538 e RBUFRPE01;

As variedades de cana-de-açúcar apresentaram produtividade de colmos, eficiência do uso da água, qualidade do caldo e rendimento de açúcar e álcool satisfatórios para o primeiro ciclo de cultivo da cultura, apresentando boa adaptabilidade às condições climáticas da microrregião de Teresina, assim como a potencialidade dessa região para o setor sucroalcooleiro no país, ressalta-se que os resultados obtidos podem variar com o avanço dos ciclos de cultivo.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETTO, A. de O.; BASTOS, E. A. Reflexões críticas sobre as teorias agronômicas da irrigação. In: \_\_\_\_\_. **Princípios agronômicos da Irrigação**. Brasília: Embrapa Meio- Norte, 2013. 1, p.17-30.
- ALBUQUERQUE, W. G. de. **Consumo hídrico e coeficiente de cultivo dual da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes lâminas de irrigação**. 2012. 89 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.
- ALONSO, O.; Estratégias para melhorar a qualidade da cana-de-açúcar para a indústria. Cap. 22. p. 361-367. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2006).
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. Irrigation and Drainage Paper 56.
- ANDRADE JUNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; SILVA, P.H.S. Silva. Stalk yield of sugarcane cultivars under different water regimes by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.3, p.169-174, 2017.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO, D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n.1, p. 78-84, 2012.
- BARBOSA, F. S. **Resistência à seca em cana-de-açúcar para diferentes níveis de disponibilidade hídrica no solo**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, ESALQ, Piracicaba, 2010.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. **Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo**. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 3. 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 245-276;
- BARRETO, A. N.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, A. A. G. da. Eficiência do uso da água na agricultura irrigada. In: BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G. da.; BOLFE, E. L. Ed(s). **Irrigação e Drenagem na Empresa Agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. p. 205-239.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de;. **Boletim Agrometeorológico de 2015 para o Município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. 38p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 239).

- BATISTA, L. M. T. **Avaliação morfofisiológica da cana-de-açúcar sob diferentes regimes hídricos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Brasília. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2013. 125 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Universitária, 2008. 625 p.
- BERNARDO, S. Manejo da Irrigação na Cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. 2006, Goiás, GO. **Anais....** [Brasília, DF: ABID, 2006].
- BOLONHEZI, D.; PEREIRA, J. C. V. N. A. Plantio direto na Alta Mogiana. **O Agrônomo**, Campinas, v. 51, n.1, p. 12-15, 1999.
- BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: MIRANDA, L.L.D.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LENDELL, M.G.de A. Ed(s) **Cana-de-açúcar**. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 2008. p.205-218.
- CABRAL, O. M. R.; ROCHA, H. R.; GASH, J.; LIGO, M. A. V.; TATSCH, J. D.; FREITAS, H. C.; BRASILIO, E. Water use in a sugarcane plantation. **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, v.4, p. 555-565, 2012.
- CALDAS, C. **Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras**. Maceió: Sindicato da Indústria e do Alcool do Estado de Alagoas, 1998. 424p.
- CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; BRAGA, M. B.; PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; SOUZA, M. A. de; LIMA, J. A. Influência dos sistemas de irrigação na eficiência de uso da água da cana planta em solo argiloso. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 24, 2014, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: ABID, 2014, p. 1-6.
- CALGARO, M.; SIMÕES, W. L.; PINTO, J. M.; BRAGA, M. B.; SOARES, J. M.; SOUZA, M. A. de; LIMA, J. A. **Eficiência de uso da água de irrigação em dois sistemas de cultivo de cana-de-açúcar de segunda soca no Submédio São Francisco**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 23, 2013, Luís Eduardo Magalhães, BA. **Anais...** Bahia: ABID, 2013, p. 1-6.
- CAMPAGNOL, R. et al. Impactos do nível de irrigação e da cobertura do solo na cultura do tomateiro. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 345-357, 2014.
- CAPONE, A., LUI, J. J., SILVA, T. R., DIAS, M. A. R., MELO, A. V. Avaliação do comportamento de quinze cultivares de cana-de-açúcar na Região Sul do Tocantins. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n.3, p. 72-80, 2011.
- CARVALHO, C.M. de; AZEVEDO, H.M. de; DANTAS NETO, J.; FARIAS, C.H. de A.; SILVA, C.T.S. da; GOMES FILHO, R.R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.1, p.72-77, 2009.
- CARVALHO, C. M. de.; AZEVEDO, H. M. de; DANTAS NETO, J.; MELO, E. P. de; SILVA, C.T.S. da; GOMES FILHO, R.R. Resposta dos parâmetros tecnológicos da terceira folha de cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista**

**Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 337-342, 2008.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA-CTC, **Variedades CTC**. Disponível em: <http://www.ctcanavieira.com.br/melhoramentogenetico.html> Acesso em: 22 nov. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: Cana-de-açúcar**, V. 4- safra 2017/2018. N.4- Quarto levantamento, Abril de 2018. Brasília: Conab, 2018. 73p.

CONAGIN, A.; JORGE, J.P.N. Delineamento (1/5)(5x5x5) em blocos. Campinas – S.P. **Bragantia**, Campinas, v.41, n.16, p. 155- 168. 1982.

CORREIA, C. B. G.; AZEVEDO, H. M. DE; DANTAS NETO, J.; CARVALHO, C. M. DE; SILVA, L. L.; FEITOSA, S. DE O. Cana-de-açúcar: parâmetros tecnológicos em função de diferentes lâminas de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 1, p. 26-37, 2014.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 5. ed. Piracicaba, 2006. 112p.

COSTA, C. T. S. **Crescimento, produtividade e viabilidade econômica de cana-de-açúcar, sob diferentes lâminas de irrigação, na região de Penápolis- SP**. 102 f. 2012. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) -Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. DA R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.

COSTA, E. L.; MACÊDO, G. A. R.; SIMÃO, F. R.; DINIZ, R. S. Irrigação da cana-de-açúcar: métodos de irrigação. **Informe Agropecuário**, v.28, n. 239, p. 56-63, 2007.

CUNHA, F. N., SILVA, N. F. D., SOUSA, A. E., TEIXEIRA, M. B., SOARES, F. A., VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 9, p. 841-846, 2016.

CRUZ, S. J. S.; OLIVEIRA, S. S. C., CRUZ, S. C. S., MACHADO, C. G.; PEREIRA, R. G. Efeito da adubação fosfatada sobre o acúmulo de biomassa e teor de brix de duas variedades de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 2, p. 110-116, 2009.

CRUZ, T.M.L.; TEIXEIRA, A dos S.; CANAFÍSTULA, F.J.F.; SANTOS C.C. dos; OLIVEIRA, A.D.S. de; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p.33-45, 2010.



CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.1-10, 2005.

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. da C.; FARIAS, C.H.de A.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. de. Resposta da cana-de-acucar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n. 2, p.283-288, 2006.

DIAS, C. M. O.; CORSATO, C. E.; SANTOS, V. M.; SANTOS, A. F. S. Indicadores fitotécnicos, de produção e agroindustriais em cana de açúcar cultivada sob dois regimes hídricos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 58-65, 2012.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (E.d.) **Cana de açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool; Tecnologias e perspectivas**. Viçosa: UFV, 2010. 577p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.K. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306p.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H.R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no Litoral Paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.494- 506, 2008.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2008. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Areia, 2008.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da cana de açúcar**. Piracicaba, STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos, 2000, 193p.

FUESS, L.T.; GARCIA, M. L. Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 145, n. 1, p. 210-229, 2014.

FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, R. D.; BOTTREL, T. A. **Irrigação: tabelas completas.pdf**; 2008 Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Folegatti/.../Tabelas%20completas.p>.> Acesso em 18 de julho de 2018.

GAVA, G. J. de C.; SILVA, M. de A.; SILVA, R. C. da; JERONIMO, E. M.; CRUZ, J. C. S.; KÖLLN, 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**, Campina Grande, PB, v.15, n.3, p.250–255, 2011.

GASCHO, G. J.; SHIH, S. F. Sugarcane. In: TEERE, I.D., PEET, M.M. **Crop-water relations**. New York: A Wirley Interscience, 1983, p. 445-479.

GODINHO, A. M. M. **Parâmetros biométricos, tecnológicos e nutrientes foliares em cana-de-açúcar**. Presidente Prudente: Unoeste, 2007, 28 p.

GOMES, H. P. Prefácio. **Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa-PB: UFPB, 2013, 281p.

GORNAT, B.; NOGUEIRA, L.C. **Avaliação da economia de água com irrigação localizada convencional e subterrânea em fruteiras tropicais**, 2015. Disponível em: <<http://www.iica.org.uy/p2-4.htm>>. Acesso em 20 jun. 2018.

IANMAN-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.

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

LAVANHOLI, M. G. D. P. Qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. S. M.; LANDELL, M. G. A. (E.d) **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. p. 697-722.

LEAL, M. R. L. V.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, E. A. J.; WALTER, A.; OLIVERIA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, New York, v. 53, p. 11-19, 2013.

MAIA JÚNIOR, S. O.; SILVA, J. A. C.; SANTOS, K. P. O.; ANDRADE, J. R.; SILVA, J. V.; ENDRES, L. Caracterização morfológica e produtiva e suas correlações em cultivares de cana-de-açúcar. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v. 16, n. 1, p. 31-42, 2018

MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V. MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p.1575-1582, 2009.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011**. 2.ed. rev. - Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110p.

MANTOVANI, E, C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação - Princípios e Métodos. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355 p

MARQUES, M. O.; MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, T. A. Considerações sobre a qualidade da matéria-prima. **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: FUNEP, p. 9-16. 2008.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MELO, F. B.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; PESSOA, B.L.O. Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 47 p. (**Documentos / Embrapa Meio-Norte**, ISSN 0104-866X; 231).

MENESES, T. N.; RESENDE, R. S. Influência de épocas de plantio na eficiência do uso da água da chuva em cultivo irrigado de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Grandes Culturas, v.1, n. 1, p. 291-305, 2016.

MIRANDA, J. R. **História da cana-de-açúcar**. Campinas: Komedi, 2008. 167p.

NASCIMENTO, F. N. do. **Rendimento e qualidade da cana-de-açúcar sob doses de N e K<sub>2</sub>O via solo e fertirrigação por gotejamento subsuperficial**. 2017. 78p. Tese (Agronomia - Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, 2017.

NOGUEIRA, M.C.S. **Experimentação Agronômica I: conceitos, planejamento e análise estatística**. Piracicaba: M.C.S. Nogueira, 2007. 479p.

OLIVEIRA, A.R.,de; BRAGA, M. B.; SANTOS, B. L. S.; WALKER, A. M. Biometria de cultivares de cana-de-açúcar sob diferentes reposições hídricas no Vale do Submédio São Francisco. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n.1, p.48-58, 2016.

OLIVEIRA, F. M.; AGUILAR, P. B.; TEIXEIRA, M. F. F.; ASPIAZU, I.; MONÇÃO, F. P.; ANTUNES, A. P. S. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014.

OLIVEIRA, F. M. V.; PINHEIRO, I. O.; MAIOR, A. M. S.; MARTIN, C.; GONÇALVES, A. R.; ROCHA, G. J. M. Industrial-scale steam explosion pretreatment of sugarcane straw for enzymatic hydrolysis of cellulose for production of second generation ethanol and value-added products. **Bioresource Technology**, Essex, v. 130, p. 168-173, 2013.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F.; VIANNA, E. J. Avaliação tecnológica de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e supressões de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n.6, p. 832-840, 2012.

OLIVEIRA, F. M. de. **Avaliação das características agrotecnológicas de duas variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação**. 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) UNIMONTES, Janaúba-MG, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. de; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C. de; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T. da; CARVALHO, L. A. de. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.46, n.6, p.617-625, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M.; AQUINO, L. A. de. **Manejo de irrigação**. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.) Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Álcool – Tecnologias e perspectivas. Viçosa: UFV, p.217-244, 2010.

PAZ, V. P. da. S., TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos Hídricos, Agricultura irrigada e Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PINHEIRO, M. P. M. A.; CRUZ, R. L.; SIMÕES, W. L. Comportamento do teor de água num solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.4, p. 30-42, 2015

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008, 882p.

PRICE, C.; MALPAS, R.; QUICENO, R.; WANG, L.; WOODS, J. Economic and GHG emissions analyses for sugarcane ethanol in Brazil: looking forward. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Golden, v. 40, p. 571-582, 2014.

PROVENZANO, G.; RALLO, G.; GHAZOUANI, H. Assessing field and laboratory calibration protocols for the diviner 2000 probe in a range of soils with different textures. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Amsterdam, v.142, n.2, p.1-12, 2016.

RESENDE, R. S.; COSTA, J. V. T. da; AMORIM, J. R. A. de; MENESES, T. N. Estimativa do consumo de água de irrigação para diferentes épocas de plantio da cana-de-açúcar, utilizando o modelo cropwat. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 23., 2013, Luís Eduardo Magalhães, BA. **Anais...** Bahia: ABID, 2013, p. 1-6.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Censo Varietal Brasil-2016/2017**. <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>. Acesso em 18 de julho de 2018.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO (RIDESA). **Catálogo Nacional de Variedades “RB” de cana-de-açúcar**, Curitiba, 2010. 136 p.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. 1995. 101f. Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 1995.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; SILVA, N.F.; CUNHA, F.N.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES F.A.L.; RIBEIRO, P.H.P. Produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes reposições hídricas e nitrogênio em dois ciclos. **Irriga**, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, v. 1, n. 1, p.198-210, 2015.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, F. J.; MELO, L. J. O T. Correlações genéticas em alguns clones RB e em variedades de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 460-467, 2010.

SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol, Tecnologias e Perspectivas**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2011. 637 p.

SANTOS, R. M. **Calibração de sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry) para estimativa da umidade do solo**. 2005. 53p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2005.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT 14.1 User's Guide**. Cary, 2015. Disponível em: <<http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/68162/PDF/default/statug.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

SEGATO, S. V.; ALONSO, O.; LAROSA, G. Terminologias no setor sucroalcooleiro. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. p. 397-405. Piracicaba, 2006a.

SEGATO, S. V., PINTO, A. D. S., JENDIROBA, E., NÓBREGA, J. D. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 2006b, 19-36.

SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; PINCELLI, R. P.; SANTOS, C. M. dos; MOURA, P. C. S. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, v.1, n. 1, p. 160-177, 2015.

SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; GAVA, G. J. C.; KOLLN, O. T. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.3, p.241–249, 2014.

SILVA, V. de P. R. da; SILVA, B. B. da; ALBUQUERQUE, W. G; BORGES, C. J. R.; SOUSA, I. F. de; DANTAS NETO, J. Crop coefficient, water requirements, yield and water use efficiency of sugarcane growth in Brazil. **Agricultural Water Management**, v.128, p.102– 109, 2013.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA NUNES, J. P. da; SILVA, M. R. N. da. **Noções da Cultura da Cana-de-Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil, 2012, 105 p.

SILVA, T. H. G. F da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; JÚNIOR GOMES, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.12, p.1257–1265, 2011.

SILVA, F. L.; PEDROZO, C. A.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, P. M. A.; VIEIRA, M. S. Análise de trilha para os componentes de produção de cana-de-açúcar via blup. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, p. 308-314, 2009.

SILVEIRA, L. C. I.; BARBOSA, M. H. P.; OLIVEIRA, M. W. Manejo de variedades de cana-de-açúcar predominantes nas principais regiões produtoras de cachaça de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n.217, p.25-32, 2002.

SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; LIMA, D. S. C.; SOUZA, M. A. de; LIMA, J. A. Respostas de variáveis fisiológicas e tecnológicas da cana-de-açúcar a diferentes sistemas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 11-20, 2015.

SINGH, P.N.; SHUKLA, S.K.; BHATNAGAR, V.K. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. Hybrid complex) in subtropical India. **Agricultural Water Management**, v.90, p.95-100, 2007.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B.; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, Botucatu, v.18, n.4, p.597-606, 2013.

SUGAWARA, L. M.; RUDORFF, B. F. T. Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor Modis. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto- INPE, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** p. 0391.

SRIVASTAVA, A. K.; RAI, M. K. Review: sugarcane production: impact of climate change and its mitigation. **Biodiversitas**, Surakarta, v. 13, n. 4, p. 214-227, 2012.

TEJERA, N. A.; RODÉS, R.; ORTEGA, E.; CAMPOS, R.; LLUCH, C. Comparative analysis of physiological characteristics and yield components in sugarcane cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.102, n.1, p.64 - 72, 2007.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T.; Água e economia. In: \_\_\_\_\_. **Recursos Hídricos no século XXI**. ed. ampliada e atualizada. São Paulo: Oficina de Textos, 2011, Cap 9, p.209-220.

UEHARA, N.; SASAKI, N. AOKI, N. OHSUG, R. Effects of the temperature lowered in the daytime and night-time on sugar accumulation in sugarcane. **Plant Production Science**, v. 12, n. 4, p. 420-427, 2009.

VIEIRA, G. H. S; MANTOVANI, E. C; SEDIYAMA, G. C.; MONACO, P. A. V. LO. Lâminas de irrigação em cana-de-açúcar para diferentes condições de disponibilidade hídrica. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, v.1, n. 2, p. 137-148, 2015.

VIEIRA, G. H. S; MANTOVANI, E. C; SEDIYAMA, G. C.; DELAZARI, F. T. Indicadores morfo-fisiológicos do estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar em função de lâminas de irrigação. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 65-75, 2014.

ZHAI, Q.; RAHARDJO, H.; SATYANAGA, A. Effects of residual suction and residual water content on the estimation of permeability function. **Geoderma**, Amsterdam, v.303, p.165-177, 2017.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. rev. ampl. Brasília. DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 582p.